



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Solos e Engenharia Rural
Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo



**VARIABILIDADE ESPAÇO-SAZONAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E
BIOLÓGICOS EM TOPOSSEQUÊNCIA NO CARIRI PARAIBANO**

Marco Aurélio Barbosa Alves

AREIA- PB
FEVEREIRO DE 2019

MARCO AURÉLIO BARBOSA ALVES

**VARIABILIDADE ESPAÇO-SAZONAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E
BIOLÓGICOS EM TOPOSSEQUÊNCIA NO CARIRI PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Moreira Beirigo

Coorientador: Prof. Dr. Tancredo Augusto Feitosa de Souza

AREIA – PB

FEVEREIRO DE 2019

Catálogo na publicação Seção
de Catalogação e Classificação

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A474v Alves, Marco Aurélio Barbosa.

Variabilidade espaço-sazonal de atributos químicos,
físicos e biológicos em topossequência no Cariri
paraibano / Marco Aurélio Barbosa Alves. - João Pessoa,
2019.

83 f.

Orientação: Raphael Moreira Beirigo.

Coorientação: Tancredo Augusto Feitosa de Souza.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCA.

1. Caatinga, serviços ecossistêmicos, geoestatística.
I. Moreira Beirigo, Raphael. II. Augusto Feitosa de
Souza, Tancredo. III. Título.

UFPB/BC

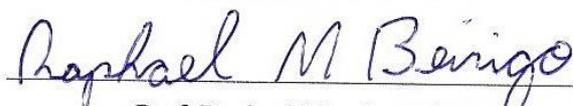
MARCO AURÉLIO BARBOSA ALVES

VARIABILIDADE ESPAÇO-SAZONAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E
BIOLÓGICOS EM TOPOSEQUÊNCIA NO CARIRI PARAIBANO

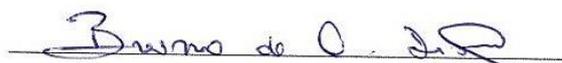
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Ecossistemas Agrícolas e Naturais. Linha de pesquisa: Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 22/02/2019

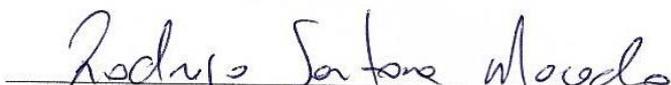
BANCA EXAMINADORA



Prof. Raphael Moreira Beirigo, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Orientador



Prof. Bruno de Oliveira Dias, Dr.
DSER/CCA/UFPB
Membro Interno



Rodrigo Santana Macedo, Dr.
INSA/MCTIC
Membro Externo

Aos meus pais, Darilza Barbosa de Oliveira e Mário Alves de Oliveira e ao meu irmão Mario Júnior, pelo amor incondicional e pelas lutas travadas em favor da minha educação.

DEDICO

Eu vim do interior, e carrego em mim orgulho e amor. Aprendi que por ser sertanejo, tenho meu próprio traquejo. Vó vivia a me falar, que nunca viu menino novo, morrer por um pouco trabalhar. E desde muito pequeno, sabendo que de onde vim, trabalho, garra e honestidade, é que fazem um bom homem prosperar. Mas não se pode deslembrar, da fé em nosso Deus, de todo dia agradecer, e na cabeça, pra onde quer que eu for, humildade e amor, jamais posso esquecer.

Matheus Boa Sorte

AGRADECIMENTOS

Á Deus por me conceder sabedoria, entendimento, ciência e discernimento para enfrentar os desafios e buscar os caminhos mais retos e honestos para chegar ao destino projetado.

Aos meus pais Mario Alves de Oliveira e Darilza Barbosa de Oliveira, que imprimiram em mim a essência de lutar de forma respeitável com o próximo e por tantas vezes sacrificarem seus sonhos em favor dos meus.

Ao professor Raphael Moreira Beirigo por ter sido o mestre orientador desta jornada científica, pelo companheirismo, pelos conhecimentos compartilhados, pelo apoio desde o início do mestrado e sobretudo pela amizade.

Aos meus avós: Teófilo Barbosa, Teodumira Barbosa, Martinho Alves e Marina Ramos, pelos mais lindos ensinamentos a mim transmitidos, e pelo amor incondicional.

Á meu irmão Mario Alves, agradeço pelo apoio, companheirismo, cuidado, amor incondicional desde o dia que Deus nos apresentou como irmãos, desde 1993 és meu protetor terreno, dono da minha inteira admiração.

Á tio Raimundo e tia Lourdinha, por terem me apresentado o mundo dos livros e derrubado as barreiras sociais e geográficas que me impediam de sonhar e sobretudo de realizar.

Aos tios, tias, madrinhas, padrinhos, primos, primas e amigos, por estarem sempre presentes.

Aos amigos: Safira Yara, Victor Brandão, Victor Potiguara, Felipe Marinho, Renato, Julião, Kaline, Maria Idaline, Anne Caroline, Sonária, Bruno Soares, Ailson, Ricardo, Robério, Alex Lopes, Alex, José Flavio, Joaquin, Carol, Raimundo, Denisvaldo e Cassio pela acolhida em Areia e bom convívio.

À UFPB pela infraestrutura e a CAPES pela bolsa de estudos ao longo o curso.

Ao PPGCS e departamento de Solos e Engenharia Rural pelo apoio e condições necessárias fornecidas para condução do curso de mestrado.

À dona Marielza e todos os funcionários de serviços gerais do departamento de Solos e Engenharia Rural da UFPB, por tornarem nosso ambiente de estudo limpo e agradável.

À RPPN-Fazenda Almas: Sr Arimatéia, Roberto Lima, Andinho, Lucas, Israel, Manu, Freire, Dona Dora, Sr. Edson, Wellington, pelos conhecimentos compartilhados, pela acolhida, pelo apoio nos trabalhos de campo.

Ao pesquisador do INSA e amigo Rodrigo Macedo, pela contribuição nas atividades de campo e na minha formação como mestre.

Ao grupo de estudos em “Gênese e Funções Ambientais de Solos”, Beatriz, Kaio, Rafael.

Ao Professor Pablo Vidal Torrado pela acolhida na ESALQ-USP, pelo bom convívio e conhecimentos compartilhados.

Ao professor Tancredo Augusto, coorientador desta pesquisa, muito grato pelas orientações, companheirismos e contribuição ao longo deste projeto.

Aos Laboratórios de Física e de Química do Solo da ESALQ-USP, pelas análises.

Ao Professor Flávio Pereira (laboratório de física – DSER), pela amizade e por toda contribuição nas análises e equipamentos.

Ao Professor Bruno e professora Vânia pelo apoio com os equipamentos e metodologias no laboratório de matéria orgânica – DSER.

Ao CENA/USP pelo apoio com os equipamentos e metodologias.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Brasil com as regiões em destaque, o Nordeste e localização do bioma Caatinga.	18
Figura 2. Mapa do Brasil, regiões, Nordeste e estado da Paraíba em destaque a localização da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano.	20
Figura 3. Período seco e chuvoso na RPPN Fazenda Almas no Cariri Ocidental da Paraíba.	23
Figura 4. Modelo esquemático de semivariograma esférico proposto por Vieira (2000). ..	27
Figura 5. Mapa de krigagem, obtido pela interpolação de dados do grid amostral utilizado para confecção do semivariograma.....	28
Figura 6. Mapa de localização da fazenda Almas, na microrregião do Cariri Ocidental, Paraíba, Brasil.....	40
Figura 7. Malha amostral em topossequência de Neossolos do Cariri paraibano.	42
Figura 8. Distribuição de trincheira para coletas nos períodos seco e chuvoso em topossequência de Neossolos do Cariri paraibano.....	42
Figura 9. Imagem aérea da área de estudo. Distribuição dos afloramentos rochosos, da vegetação e canal de drenagem.....	48
Figura 10. Modelo de elevação do terreno. Vegetação (F = floretal - árvores, T = transicional - árvores e arbustos; A = arbustiva - arbustos), isolinhas e topossequência. ...	49
Figura 11. Mapa de krigagem de serapilheira em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano.....	52
Figura 12. Mapas de krigagem do horizonte A em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) AT; (D) Estoque de Carbono.....	52
Figura 13. Mapas de krigagem do horizonte C1 em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) AT; (D) Estoque de Carbono.....	53
Figura 14. Mapas de krigagem do horizonte Cr em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) Areia Total; (D) Estoque de Carbono.....	53
Figura 15. Mapas de krigagem do horizonte C2 em Neossolo do Cariri paraibano. (A) Argila ; (B) Silte; (C) AT ; (D) Estoque de Carbono.....	54

Figura 16. Efluxo de CO ₂ e umidade gravimétrica. (A): Ombro; (B): Terço médio; (C): Terço inferior.	59
Figura 17. Localização da área experimental, Reserva Particular do Patrimônio Natural, Fazenda Almas, Cariri Ocidental, Paraíba, Brasil.	70
Figura 18. Curva de rarefação da riqueza acumulada de Ordens de macroartrópodes edáficos em função de cada posição do relevo (i.e., ombro, terço médio e terço inferior) de solos arenosos da Fazenda Almas, RPPN, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil. Barras representam 95% de intervalo de confiança.	72
Figura 20. Análise dos componentes principais dos atributos edáficos das três posições do relevo em Neossolos do Cariri Paraibano. EC- Estoque de carbono; PT - Porosidade total; T°C - Temperatura do solo; SR – Deposição de serrapilheira; Umid. - Umidade do solo; P - Fósforo; Mg - Magnésio; K - Potássio; e N - Nitrogênio. Pontos brancos, cinzas e escuros representam as amostras do ombro, terço médio e terço inferior, respectivamente. Os dois eixos representam 85,35 % da variação presente nas amostras.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação de Neossolos Litólicos em topossequência pelos sistemas de brasileiro classificação (SiBCS) e o americano (Soil Taxonomy) e descrição morfológica	41
Tabela 2. Estatística descritiva de atributos do solo e da serapilheira em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano	46
Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas de atributos de Neossolos em topossequência no Cariri paraibano	49
Tabela 4. Atributos químicos de Neossolos em topossequência nos dois períodos seco e chuvoso, em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano	55
Tabela 5. Teste T pareado dos atributos químicos de Neossolos em topossequência nos dois períodos de estudo (seco e chuvoso)	56
Tabela 6. Parâmetros do solo avaliados durante 7 meses em topossequência de Neossolos do Cariri Paraibano	58
Tabela 7. Riqueza de Ordens/Famílias e índices ecológicos (médias \pm desvio padrão, $N = 30$) da comunidade de macroartrópodes edáficos em função das posições de relevo de uma topossequência em solos arenosos, Fazenda Almas, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil	73
Tabela 8. Frequência de ocorrência (F_{oi} , %) das Ordens de macroartrópodes identificados nas três posições do relevo em Neossolos do Cariri paraibano, Fazenda Almas, Paraíba, Brasil (médias, $N = 30$)	73
Tabela 9. Propriedades do solo e serapilheira (média \pm desvio padrão, $N = 30$) em diferentes posições de relevo de uma topossequência em solos arenosos, Fazenda Almas, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil	75

SUMÁRIO

RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
1.1. Terras secas	17
1.2. Caatinga.....	17
1.2.1 Cariri Paraibano.....	19
1.3. Neossolos Litólicos e Regolíticos	20
1.4. Variabilidade espaço-sazonal dos atributos do solo.....	21
1.5. Serviços ecossistêmicos do solo.....	23
1.6. Macrofauna.....	24
1.7. Geoestatística e krigagem.....	26
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO I	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
1. INTRODUÇÃO	38
2. MATERIAIS E MÉTODOS	39
2.1. Descrição da área.....	39
2.2. Topossequência	41
2.3. Amostragem	41
2.4. Análises dos atributos dos solos	44
2.5. Estatística e Geoestatística	44
2.6. Krigagem	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.2. Variação sazonal.....	54
4. CONCLUSÕES	59
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
CAPÍTULO II.....	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	67

1. INTRODUÇÃO	68
2. MATERIAL E MÉTODOS	69
2.1 Descrição da área	69
2.2. Amostragem e análises dos atributos do solo.....	70
2.3. Macrofauna edáfica.....	71
3.4. Estatística	71
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5. CONCLUSÕES	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

RESUMO

Alves, M. A. B. **Variabilidade espaço-sazonal de atributos químicos, físicos e biológicos em topossequência no Cariri Paraibano.** Areia-PB: UFPB, fevereiro de 2019. 82 p. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Raphael Moreira Beirigo.

Recursos naturais ligados ao solo em ambientes de terras secas, como na Caatinga vêm sofrendo impactos de deterioração em função da ausência de práticas conservacionistas atrelada ao uso inadequado do solo, sem levar em consideração a variabilidade espaço-sazonal de atributos que são variáveis em função do tempo e do espaço. Objetivou-se avaliar a variabilidade espaço-sazonal de atributos, físicos, químicos e biológicos em uma topossequência de Neossolos do Cariri paraibano. A geoestatística aliada a krigagem podem identificar e mapear zonas de manejo específico por modelos matemáticos capazes de mostrar o grau de dependência espacial e interpolação de dados sem tendência em pontos não amostrado para confecções de mapas de isolinhas. Coletas de solos em diferentes épocas do ano levando em consideração a sazonalidade das chuvas (período seco e período chuvoso) pode ser uma metodologia eficaz na determinação da variabilidade sazonal dos atributos. Para estudos de diversidade de organismo edáficos a determinação de índices ecológicos como: Riqueza, Shannon, Simpson e Pielou são essenciais para compreensão da influência destes na fertilidade do solo e a relação com temperatura e umidade. O estudo foi realizado em uma topossequência compartimentada em três posições: Ombro, Terço Médio e Terço Inferior, na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), Fazenda Almas, no Cariri da Paraibano. Os atributos do solo apresentaram variabilidade espaço-sazonal nas posições de Ombro, Terço Médio e Terço Inferior. O efluxo de CO₂ foi influenciado apenas pela umidade do solo, uma vez que a temperatura do solo foi constante com a sazonalidade das chuvas. Os Neossolos do Cariri Paraibano apresentam uma alta diversidade de macroartrópodes edáficos que possuem sua composição da comunidade influenciada diretamente pelas posições do relevo.

Palavras-chave: Caatinga, serviços ecossistêmicos do solo, geoestatística, krigagem.

ABSTRACT

Alves, M. A. B. **Spatial and spatial variability of chemical, physical and biological attributes in toposequence in Cariri Paraibano.** Areia-PB: UFPB, February 2019. 82 p. (Master's Dissertation in Soil Science). Graduate Program in Soil Science. Advisor: Raphael Moreira Beirigo.

Soil-related natural resources in dryland environments, such as the Caatinga, have suffered from deterioration impacts due to the absence of conservation practices coupled with inadequate soil use, without taking into account the spatiotemporal variability of attributes that are variable as a function of time and space. The objective of this study was to evaluate the spatial-seasonal variability of physical, chemical and biological attributes in a toposequence of Carrossian Neosols of Paraíba. The geostatistics allied to kriging can identify and map specific management zones by mathematical models capable of showing the degree of spatial dependence and interpolation of data with no trend in non-sampled points for confection of isoline maps. Soil collections at different times of the year taking into account the seasonality of the rains (dry period and rainy season) can be an effective methodology in determining the seasonal variability of the attributes. For studies of diversity of edaphic organisms the determination of ecological indices such as: Wealth, Shannon, Simpson and Pielou. The study was carried out in a compartmentalized toposequence in three positions: shoulder, middle third and lower third, in the Private Reserve of Natural Patrimony (RPPN), Fazenda Almas, in Cariri da Paraibano. Soil attributes presented spatiotemporal variability in the positions of Shoulder, Middle and Lower Thirds. The CO₂ flux was influenced only by soil moisture, since the soil temperature was constant with the seasonal rainfall. The Neosols of Cariri Paraibano show a high diversity of edaphic macroarthropods that have their composition of the community influenced directly by the relief positions.

Keywords: Caatinga, carbon stock, macrofauna, geostatistics.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Em ecossistemas de climas áridos e semiáridos, recursos naturais ligados ao solo, como água, nutrientes e biomassa apresentam picos de abundância e de escassez controlados pela sazonalidade das chuvas (Schwinning e Sala, 2004). No Brasil a região semiárida tem precipitação mal distribuída no tempo e no espaço, com chuvas concentradas em poucos meses do ano, geralmente em fevereiro, março e abril com nove meses de estiagem.

A Caatinga se destaca com sazonalidade da produção de biomassa, com potencial para a conservação de serviços ecossistêmicos, bioprospecção e uso sustentável (Gariglio et al., 2010) com alta variabilidade de classes de solos, com aproximadamente 3000 espécies de plantas e mais de 1500 de animais e ocorrência de muitas espécies endêmicas (Zappi et al., 2015; Silva et al., 2017). Porém, há poucos estudos sobre a variabilidade espaço-temporal dos solos e da influência desta nos serviços ecossistêmicos (SE) na Caatinga, sobretudo na microrregião do Cariri Ocidental da Paraíba, uma das regiões mais secas do Brasil.

Neste sentido, acredita-se, que em uma topossequência a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é influenciada apenas por variações no relevo (Chesworth, 2008), enquanto a variação sazonal dos atributos químicos e biológicos está ligada a mudanças de umidade no solo do período seco para o úmido (Silva et al., 2017). Os organismos edáficos variam no espaço e no tempo de acordo com o princípio da redundância funcional, onde espécies são alteradas em função das modificações no ecossistema (Souza, 2018). Variação na temperatura e umidade do solo pode revelar mudança nos teores de carbono estocado no solo (Araújo Filho, et al. 2017; Silva et al., 2017). Pacchioni et al., (2014), afirmam que mudança no estoque de carbono no solo pode ser indicada pela alteração no comportamento das comunidades microbianas.

Para avaliação da variabilidade espacial, a geoestatística vem se destacando com capacidade de identificar a distribuição espacial dos atributos do solo (Cambardella et al., 1994; Vieira, 1997, 2000). Com relação à variabilidade sazonal, coleta de solos em períodos de picos de seca e de umidade do solo, demonstra variação nos serviços ecossistêmicos do solo em função de temperatura e umidade (Burns et al., 2013; Baldrian et al., 2013; Crowther et al., 2015). E para estudo de organismos edáficos como indicadores de equilíbrio do ecossistema, o planejamento de coleta aliado a conservação dos organismos para identificação das espécies pode ser uma metodologia eficaz de investigação da relação destes com serviços ecossistêmicos do solo.

Para este estudo seguiu duas hipóteses gerais, (a) a variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e biológicos dos Neossolos do Cariri paraibano é influenciada por variações na topografia e pela interação entre os fatores de formação do solo e (b) a variabilidade temporal dos atributos químicos e efluxo de CO₂ dos Neossolos do Cariri paraibano está diretamente relacionada com umidade solo. Portanto, estudos que avaliem a variabilidade espaço-sazonal é necessário para conservação de ecossistemas naturais, pois esta pode influenciar nos atributos do solo, que afetam os serviços ecossistêmicos que sustentam os meios de subsistência da humanidade. Objetivou-se avaliar a variabilidade espaço-sazonal de atributos, físicos, químicos e biológicos em uma topossequência de Neossolos do Cariri paraibano.

1.1. Terras secas

As terras secas podem ser definidas como regiões de baixa precipitação e alta evapotranspiração potencial anual, apresentando índice de aridez (relação entre precipitação e evapotranspiração) menor ou igual que 0,65 (Middleton; Thomas, 1997). No mundo as terras secas ocupam aproximadamente 41,5 % da superfície terrestre (Sorensen, 2009). As terras secas no mundo estão distribuídas em maior proporção nos países: Austrália, Estados Unidos, Rússia, China, Cazaquistão, Índia, Sudão, Canadá, Argentina, Irã, México, Brasil, Mongólia e Mali (Bastin et al., 2017).

No Brasil a maioria das terras secas está localizada na região Nordeste com predominância de clima semiárido, onde o bioma Caatinga é classificada por Pennington, et al. (2009), como floresta tropical. Porém, o uso inadequado dos recursos naturais nas terras secas, principalmente a má gestão da água, ausência de práticas conservacionistas dos solos agrícolas e ausência de manejo sustentável das florestas causam a degradação e aumentam o risco de desertificação no bioma Caatinga. No Cariri Paraibano, a degradação é resposta à falta de práticas de conservação dos solos e da água por parte dos agricultores, ligada a ausência de políticas públicas de conscientização sobre o uso de recursos naturais (Souza et al., 2007).

1.2. Caatinga

A Caatinga é definida como bioma, cuja cobertura vegetal é de plantas tolerantes as condições semiáridas, com características peculiares que tornam este bioma exclusividade no mundo, por sua dinâmica de funcionamento e auto sustentabilidade quando está em condições de conservação (Gariglio et al., 2010; Santos et al., 2011). Além disso, forma um ecossistema em contraste com a maioria dos SDTFs da América do Sul (Santos et al., 2012). O bioma Caatinga é caracterizado pela baixa precipitação pluviométrica, chuvas

irregulares e concentradas em poucos meses do ano (Pereira Filho e Bakke, 2010), com condições ambientais distintas, baixa precipitação anual, solos com baixos teores de N e P na camada superficial (0-20 cm), e C em torno de 9.3 g kg^{-1} , temperatura média anual alta, umidade relativa baixa e conseqüentemente alta evapotranspiração potencial, o que leva a balanços hídricos negativos na maior parte do ano (Menezes et al., 2012). Abrange uma área de cerca de $850\,000 \text{ km}^2$ da região Nordeste, que representa aproximadamente 11% do território brasileiro (IBGE, 2004). A Caatinga está inserida na zona tropical e terras secas do Nordeste e uma pequena parte no Norte de Minas Gerais no Sudeste (**Figura 1**).

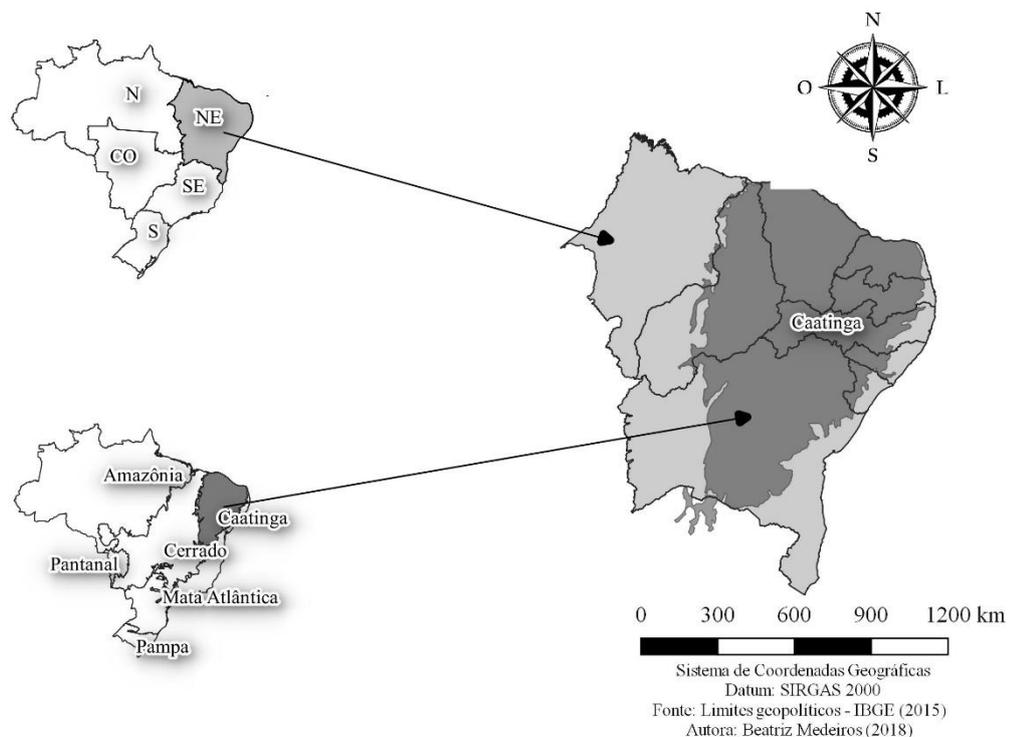


Figura 1. Mapa do Brasil com as regiões em destaque, o Nordeste e localização do bioma Caatinga.

Aspectos climáticos como baixa umidade e temperaturas elevadas tornam a Caatinga uma formação complexa do ponto de vista espacial, onde suas fitofisionomias variam dentro do semiárido brasileiro (Alves, 2009). A variabilidade espaço-sazonal existente na caatinga é resultado da variabilidade temporal e espacial da chuva que é uma característica marcante da região (Reddy, 1983). Com relação aos solos, os Neossolos ocorrem com frequência, estes apresentam afloramento rochoso na superfície e ausência de horizonte B diagnóstico, sendo a classe predominante no Cariri Ocidental Paraibano (Brasil, 1972). Considerada como florestas sazonalmente seca (SDTF), a caatinga é o quarto maior bioma brasileiro (Silva et al., 2017). Este bioma ocorre na região semiárida mais populosa do mundo com mais de 20 milhões de pessoas. A alta densidade populacional atrelada a falta de políticas que visem a conservação dos serviços

ecossistêmicos prestados pela Caatinga é responsável pela deterioração dos recursos naturais como solo e água (Souza et al., 2007).

Mediante a isso, nota-se a necessidade de práticas conservacionistas e criação de áreas de referência para estudos dos serviços ecossistêmicos prestados à população pela Caatinga, pois este bioma tem potencial para a conservação de serviços ambientais, uso sustentável e bioprospecção que, se bem explorado, será decisivo para o desenvolvimento da região e do país. Neste sentido, as unidades de conservação (UC) como Reservas Particulares do Patrimônio Natural são essenciais para preservação dos recursos naturais e podem ser utilizadas como áreas de referências para monitoramento de impactos ambientais em áreas manejadas para uso agropecuário. Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), são UC de domínio privado, gravada com perpetuidade na matrícula do imóvel, com o objetivo de conservar a diversidade biológica (ICMBio, 2012).

No bioma Caatinga do estado da Paraíba existem RPPNs, cujas áreas variam de 170 ha na Fazenda Pedra de Água a 3.505,00 ha na Fazenda Almas que está localizada no Cariri paraibano (Melo et al. 2004). A fazenda Almas é a quarta maior RPPN do Nordeste e a maior do estado da Paraíba, localiza-se nos municípios de Sumé e São José dos Cordeiros, na mesorregião da Borborema, microrregião do Cariri Ocidental (PMFA, 2015).

Em unidades de conservação como RPPNs, a fauna e flora conservadas juntamente com outros recursos naturais como água e solo favorecem o equilíbrio dos serviços ecossistêmicos como benefício para sociedade. Portanto, pesquisas realizadas em áreas de conservação e publicadas em periódicos de grande impacto nacional e internacional é uma ferramenta de planejamento para utilização de recursos naturais da Caatinga com foco nos serviços ecossistêmicos do solo.

1.2.1 Cariri Paraibano

O Cariri Ocidental Paraibano é considerado a região mais seca do Brasil com baixos índices pluviométricos e chuvas concentradas nos meses de fevereiro, março e abril (**Figura 2**). O Cariri paraibano é uma região semiárida que se situa na parte central do Planalto da Borborema, sendo a área mais afetada pelo evento Cariris Velhos. Segundo Mabesoone & Neumman (1995), este evento Cariris Velhos foi uma intensa dissecação entre o Albiano e o Pleistoceno acompanhada da instalação do clima semiárido atual, que culminaram em duas superfícies. Marques et al., (2017) identificaram que esta região faz parte da Mofoestrutural Depressão Intraplanáltica paraibana, sob influência do lineamento de Patos e zona transversal, constituída por compartimentos planos limitados por maciços remolizados e Suítes intrusivas dissecadas.

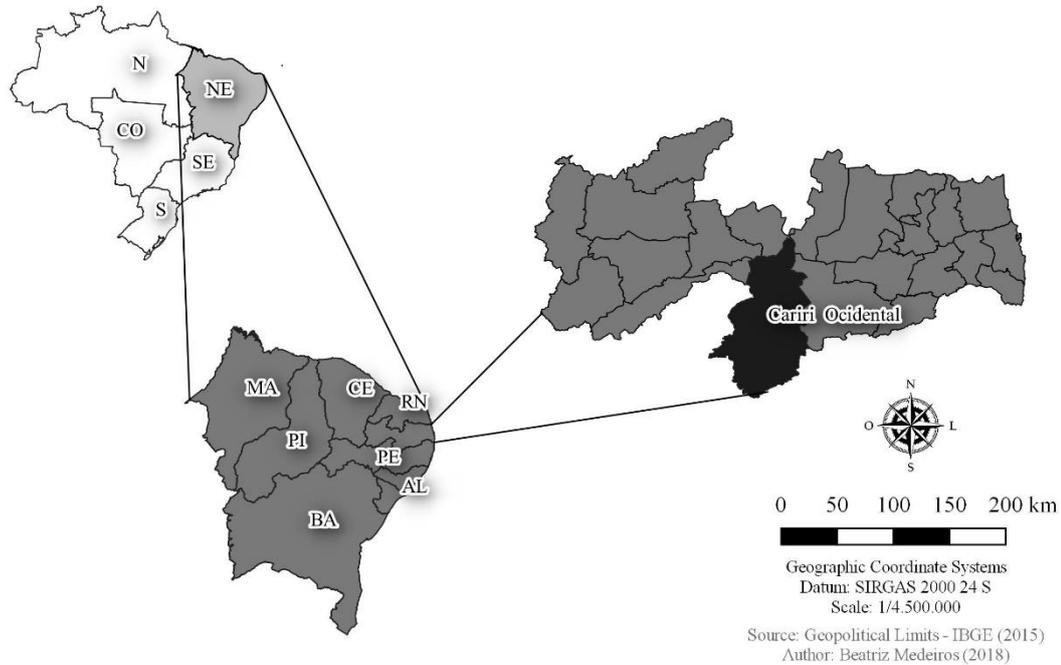


Figura 2. Mapa do Brasil, regiões, Nordeste e estado da Paraíba em destaque a localização da microrregião do Cariri Ocidental Paraibano.

A RPPN fazenda Almas está localizada no município de São José dos Cordeiros e Sumé. São José dos Cordeiros está na área de predomínio da Morfoescultura Maciços residuais, e Sumé numa transição sob predomínio da Depressão Intermontana. O maciço residual utilizado para estudar a topossequência localiza-se na fazenda Almas faz parte da Morfoescultura de Maciços residuais.

A fazenda Almas está localizada no planalto da Borborema com maciços setentrionais com geologia constituída por formação que data do pré-cambriano, onde relata a ocorrência de granito e gnaiss com feições geomorfológicas: topografia do modelo cristalino, superfícies de pediplanação, maciços residuais e vales (PMFA, 2015).

1.3. Neossolos Litólicos e Regolíticos

Os Neossolos são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018; NRCS, 2014). Apresentam ampla expressão geográfica no semiárido brasileiro, ocupando aproximadamente 35% da área de domínio da Caatinga (Jacomine, 1996). São subdivididos em quatro subordens: Neossolos Litólicos, Flúvicos, Regolíticos e os Quartzarênicos.

Os Neossolos Litólicos são solos com horizonte A ou hístico ausente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm

(cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2018). Em geral esses solos são formados a partir de qualquer tipo de rocha, associado comumente a um relevo movimentado, apresentando nítido predomínio de minerais herdados do material de origem e sequência de horizontes do tipo: A – R, O – R, H-R ou A – CR (EMBRAPA, 2018). Na região do Cariri no estado da Paraíba, estes solos apresentam afloramentos rochosos nas posições de relevo acidentado como na frente do Planalto da Borborema, sendo proveniente da decomposição de gnaisses do Pré-Cambriano, além de granitos de natureza e composições variadas (Brasil, 1972).

Por outro lado, os Neossolos Regolíticos são solos com contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm e horizonte A sobrejacente a horizonte C ou Cr, admitindo horizonte Bi com menos de 10 cm de espessura, apresentando ao menos um dos seguintes requisitos: i) 4% ou mais de minerais primários alteráveis na fração areia total e/ou cascalho em algum horizonte dentro de 150 cm da superfície do solo; ii) 5% ou mais do volume da massa do horizonte C ou Cr, dentro de 150 cm de profundidade, apresentando fragmentos de rocha semi-intemperizada, saprolito ou fragmentos formados por restos de estrutura orientada da rocha (EMBRAPA, 2018; NRCS, 2014). Os Neossolos Regolíticos na região do Cariri paraibano são formados em sua maioria a partir da alteração de gnaisses e granitos, podendo ainda ter como material de origem outras rochas como quartzito e calcário, estes solos possuem sequência de horizontes A-C, ocorrem em relevos variando de plano a ondulado, apresentam mineralogia da fração areia e silte composta por quartzo, feldspatos e mica e contêm baixos teores de carbono total e P (Brasil, 1972).

Os Neossolos Litólicos e Regolíticos tem grande importância econômica, social e política no Cariri Ocidental da Paraíba, por tanto, para a compreensão da variabilidade espaço-sazonal destes solos é indispensável para o acompanhamento das mudanças que podem ocorrer nos serviços ecossistêmicos.

1.4. Variabilidade espaço-sazonal dos atributos do solo

A variabilidade espaço-sazonal em solos é resultado de mudanças que ocorrem no espaço e no tempo em função de modificações dos fatores e processos de formação dos solos. Sendo que a variabilidade sazonal é mais influenciada pelos componentes do clima, como a precipitação e a temperatura. Em ecossistemas com predominância de clima árido ou semiárido recursos essenciais a vida como, água, nutrientes do solo e biomassa vegetal, geralmente apresentam picos de alta e baixa abundância, sendo curto o período de maior

abundancia em função das chuvas concentrada em poucos meses do ano (Schwinning e Sala 2004).

Estudos sobre mapeamento da retenção de umidade do solo utilizando técnicas geoestatísticas em diferentes países do Mediterrâneo sob diferentes climas, úmido, seco (com precipitação abaixo de 400mm e temperatura em torno de 16°C) e semiárido, foi observado que a topografia é o fator chave para variação da umidade do solo mostrados mapas de co-krigagem (Martínez et al., 2017). Com relação aos atributos químicos do solo em topossequência, o micro relevo influencia na direção do fluxo de água induzindo variabilidade espacial destes de acordo com a topografia (Artur et al., 2014). Além da variabilidade espacial os atributos químicos podem variar no tempo em função dos períodos de chuvas e de seca. Shahbazi et al., (2013), confirmam eficiência da geoestatística na identificação da variabilidade espacial de atributos microbiológicos do solo como respiração basal induzida e carbono da biomassa microbiana.

As formas de relevo côncava ou convexa, interfere no fluxo de água e na distribuição, em função da energia adquirida. Na forma côncava a energia é menor em função da menor inclinação do relevo ao contrário da forma convexa. Segundo Artur et al. (2014) as formas das superfícies que compõem o relevo (convexas, retilíneas e côncavas) influenciam também na exposição do material de origem e conseqüentemente na variação da mineralogia (Artur et al., 2014). Portanto, a variação dos minerais em diferentes formas de relevo pode estar relacionada com a dinâmica da água no solo, podendo ser alterados pelo intemperismo e, ou erosão transportados para outras regiões.

Por outro lado, a variabilidade sazonal diz respeito às mudanças que ocorrem dentro de um período ou entre diferentes épocas, como as alterações na fisionomia vegetação com ausência de água disponível, assim como inibição da atuação da fauna edáfica (Silva et al., 2017). Na Caatinga, a concentração das chuvas em determinadas épocas do ano e ausência em outras torna este bioma com fisionomia específica com abundância de extrato vegetal no pico de chuvas e déficit no pico de seca (**Figura 3**). Nas diferentes estações do ano, as variações da temperatura do solo promovem alterações moderadas na umidade que afetam fortemente na decomposição da matéria orgânica do solo (Baldrian et al., 2013). Em regiões semiáridas quentes e secas a atuação dos microrganismos do solo na decomposição da matéria orgânica é afetada principalmente pela umidade (Burns et al., 2013). Mas vários outros processos e serviços ecossistêmicos do solo são controlados pelas variações umidade.



Figura 3. Período seco e chuvoso na RPPN Fazenda Almas no Cariri Ocidental da Paraíba.

A sazonalidade de produção de biomassa pela vegetação em regiões semiáridas está relacionada com as épocas chuvosas e de estiagem (Silva et al., 2017). Com forte variabilidade dos serviços ecossistêmicos do solo, devido a disponibilidade o recurso água no Cariri paraibano a produção de biomassa vegetal é dependente exclusivamente da água disponível para as plantas. Em virtude dos solos serem Eutrófico, a alta luminosidade e temperatura média anual acima de 20 °C. Sendo que a água é o fator capaz de disponibilizar os nutrientes essenciais, e mudanças na umidade do solo altera a disponibilidade de carbono lábil e de nutrientes para fungos, bactéria e actinomicetos. A variação sazonal interfere na variabilidade da comunidade microbiana do solo em geral (Pathan et al., 2017). Os fungos apresentam uma ligeira redução, especialmente em períodos com menor precipitação (Castaño et al., 2017), desta maneira influenciando no efluxo de CO₂.

1.5. Serviços ecossistêmicos do solo

O solo é responsável pela regulação dos processos biogeoquímicos que desempenham vários serviços ecossistêmicos (SE), essenciais para manutenção da vida. Os ES do solo são definidos como benefícios que a sociedade obtém a partir de processos que ocorrem no solo (Dominati et al., 2010). *Millennium Ecosystem Assessment* classifica em quatro categorias os ES: provisionamento, regulação, culturais e funções de suporte (MEA, 2005). Dentre os ES do solo, os principais são o tamponamento e regulação do ciclo hidrológico, suporte físico para as plantas, retenção e fornecimento de nutrientes para as

plantas, deposição de resíduos e matéria orgânica (estoques de carbono), renovação da fertilidade do solo e regulação dos principais ciclos de elementos, como o carbono (MEA, 2005; TEEB, 2010). A capacidade dos solos em estocar carbono favorece a regulação de vários ciclos biogeoquímicos que o carbono participa além da redução de poluição atmosférica e danos na camada de ozônio.

O entendimento do funcionamento dos solos na paisagem é indispensável para estudos ambientais como planos de manejo, de gestão e monitoramento ambiental (Demattê et al., 2017).

O conhecimento das funções do solo relacionadas com a variabilidade espaço-temporal de atributos do solo ao longo de uma topossequência, é imprescindível para entendimento das variações dos serviços ecossistêmicos dos mesmos. Sendo a base para a seleção de indicadores, índices, avaliação da qualidade do solo e valoração dos serviços ecossistêmicos destes solos na região do Cariri paraibano. Neste sentido, investigação de comportamento das comunidades de organismos edáficos é útil para complementar estudos de serviços ecossistêmicos do solo.

1.6. Macrofauna

Organismos edáficos são definidos como comunidade de invertebrados que vivem permanentemente no solo ou que passam nele um ou mais ciclos de vida (Assad, 1997). Na decomposição de material vegetal os organismos do solo atuam com fragmentação, decomposição e ciclagem de nutrientes (Abreu et al. 2014). A manutenção da qualidade do solo só é possível com organismos edáficos agindo em diversas funções vitais, como ciclagem de nutrientes, decomposição de material vegetal e de animais, simbiose com plantas e estruturação do solo (Anslan et al., 2018). Além disso, as comunidades microbianas e faunísticas do solo e suas interações contribuem com a gênese do solo pelo intemperismo biológico e pela movimentação de material e na regulação do microclima (Crowther et al., 2015).

A função dos invertebrados no solo depende principalmente de seus hábitos alimentares, morfologia, fisiologia, caracteres comportamentais e bioquímicos ou mesmo por alterações ambientais e caracteres taxonômicos (Setälä et al., 1998). Neste sentido, Brusaard (1998), Swi et al. (2010), Souza et al., (2018), organizam os grupos funcionais do organismos do solo em: decompositores, engenheiros do ecossistema, herbívoros, transformadores de serapilheira, micro reguladores, patógenos, predadores, produtores primários, transformadores procariontes, reguladores, saprófagos e simbiontes (Quadro 1).

Os invertebrados do solo, além de serem responsáveis por uma série de processos vitais no ambiente onde vivem, estão localizados em posição de ponte com processos microbianos básicos realizados por colônias e biofilmes, onde os serviços ecossistêmicos são gerados continuamente (Lavelle et al., 2006). Fazem interações benéficas, complexas e íntimas com outros organismos do solo para formar sistemas auto organizados que regulam os fluxos de diferentes tipos de ecossistemas, tornando o ecossistema mais resistente e ao mesmo tempo resiliente (Lavelle et al. 2006).

Quadro 1. Grupos funcionais e funções no ecossistema da macrofauna

Grupo funcional	Funções no ecossistema
Decompositores	Produzem enzimas capazes de degradar substratos complexos e enzimas mais simples para obtenção de energia
Engenheiros do ecossistema	Atuam na estruturação do solo pela formação de galerias, com forte influência nas propriedades físicas do solo
Herbívoros	Consumem e digerem tecidos de plantas vivas
Transformadores de serapilheira	Alimentam e moem matéria orgânica, deixando-a mais palatável para os decompositores
Reguladores	Controlam populações de herbívoros, patógenos, predadores e outros organismos do solo pelo controle biológico
Micro reguladores	Atuam na regulação dos ciclos biogeoquímicos
Patógenos	Transmitem doenças para outros organismos
Predadores	Regulam o tamanho da população de outros organismos do solo por predação
Produtores primários	Produzem seu próprio alimento e está na base da cadeia alimentar
Transformadores procariontes	Executam transformações nos ciclos de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre
Saprófagos	Alimentação à base de material orgânico morto e em decomposição no solo
Simbiontes	Mantém bom relacionamento mutualista

Adaptado do Brussard (1998) e Swift et al., (2010).

Os organismos do solo são bioindicadores de qualidade do solo por responderem rápido a qualquer modificação no ecossistema, por isso são intensificadas cada vez mais

estudos com organismos do solo como fungos, bactérias e macrofauna (Martins et al., 2010; Baldrian et al., 2013; Crowther et al., 2015; Silva et al., 2017).

Portanto, a perda ou redução da biodiversidade de organismos no solo pode acarretar grandes prejuízos para os ecossistemas, pois levará a simplificação da diversidade e decomposição de plantas e conseqüentemente diminui a retenção e ciclagem de nutrientes (Wagg et al. 2014). Para monitorar as interações dos organismos com os ecossistemas é necessário ter um conhecimento profundo sobre a distribuição espacial e temporal das espécies-chave de um ambiente, características funcionais da maioria dos grupos taxonômicos e suas interações (Roy et al., 2018).

No solo a distribuição dos organismos edáficos pode ser influenciada pela variabilidade espacial de atributos do solo como areia, silte, argila. Portanto, o entendimento de técnicas como geoestatística e krigagem para estudo da variabilidade dos atributos do solo é útil para compreensão da distribuição de grupos funcionais dos organismos edáficos.

1.7. Geoestatística e krigagem

O surgimento da geoestatística foi na África do Sul, ocorreu quando o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel em 1951 desenvolveram de forma empírica a técnica de estimativa para o cálculo de reservas de minério (ouro), posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, nos início dos anos 60, na França com o nome geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial (Landim, 2006; Matheron, 1967). Com o interesse na avaliação da variabilidade espacial dos atributos do solo de maneira quantitativa, esta ferramenta vem sendo bastante utilizada na ciência do solo (Vieira, 2000).

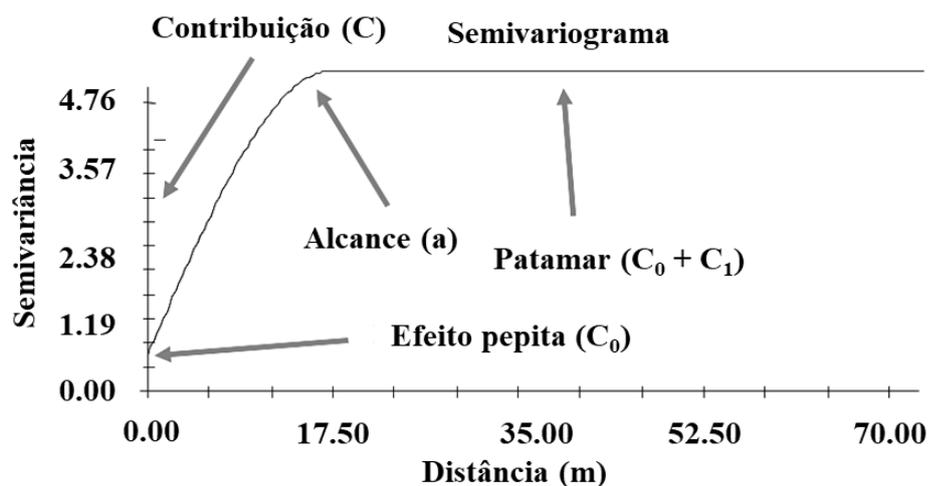
A geoestatística é uma ferramenta que aliada a krigagem é útil para avaliação da variabilidade do solo e auxiliar no monitoramento mais eficiente em unidades de conservação. O uso desta técnica possibilita a interpretação dos resultados com base em valores obtidos com modelos matemáticos e confecção de gráficos como semivariogramas (Yamamoto & Landim, 2015). Os semivariogramas detalham distância de dependência entre os pontos no espaço e o grau de dependência espacial além de servir de base para confecções de mapas temáticos através da krigagem. A krigagem permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço a partir de interpolação de dados para pontos não amostrados sem tendência (Huijbregts, 1975).

Na geoestatística o grau de dependência espacial é analisado por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})]^2$$

(Equação 01)

em que $N(\mathbf{h})$ é o número de pares experimentais de observações $Z(\mathbf{x}_i)$ e $Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ são separados por uma distância \mathbf{h} . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(\mathbf{h})$, versus \mathbf{h} . Os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma são o efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, (a) (Figura 4).



Modelo Esférico ($C_0 = 1.00$; $C_0 + C = 4.679$; $A_0 = 17.30$; $r^2 = 0.981$; $SQR = 0.298$)

Figura 4. Modelo esquemático de semivariograma esférico proposto por Vieira (2000).

O grau de dependência espacial é obtido através da relação do efeito pepita como patamar e classificada em fraca quando acima de 75%, moderada de 25 a 75% e forte abaixo de 25% (Cambardela et al.,1994). Em estudos com geoestatística na ciência dos solos, os modelos mais utilizados são: esférico, exponencial, linear e gaussiano. Posteriormente, tais modelos são usados no desenvolvimento de mapas de isolinhas utilizando a técnica de krigagem que faz interpolação de dados gerando valores dos pontos não amostrados sem tendência (Figura 5).

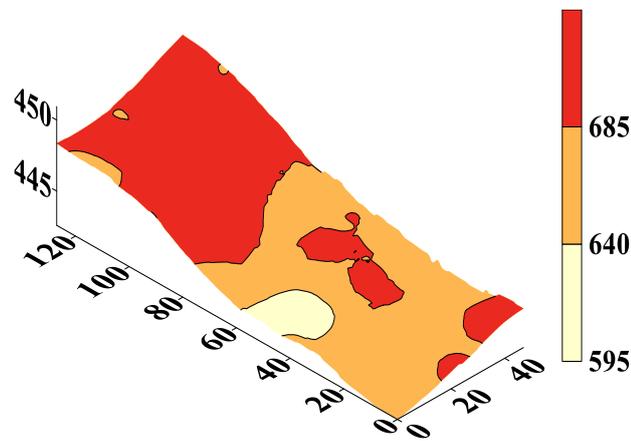


Figura 5. Mapa de krigagem, obtido pela interpolação de dados do grid amostral utilizado para confecção do semivariograma.

Com a utilização da geoestatística, notadamente por meio da técnica de interpolação de krigagem, é possível quantificar o grau de variabilidade espacial dos atributos físicos do solo (Souza et al., 2010), químicos (Bitencourt et al., 2016), biológicos (Martínez et al., 2017) e mineralógicos (Camargo et al., 2008), gerando mapas de variabilidade espacial baseados em modelos matemáticos, sem tendência e com variância mínima.

As terras secas podem ser melhor compreendidas, sobretudo na Caatinga com exploração de estudos do solo lançando mão de técnicas como geoestatística, krigagem, coletas de solos em diferentes épocas do ano e investigação da dinâmica dos organismos edáficos, pois a medida que o estudo da variabilidade espacial atrelado a estudos de variabilidade sazonal e comportamento dos organismo edáficos em função do relevo formarem um levantamento complexo de dinâmica dos atributos químicos, físicos e biológicos em função do relevo, será compreendido, também, o funcionamento dos serviços ecossistêmicos formados pelos solos a partir de mapeamento.

Diante do exposto, compreende-se que a Caatinga é a região de terras secas mais populosa do mundo e com ausência de planejamento para manejo de recursos naturais como solo, água e vegetação leva a redução e, ou, perda dos serviços ecossistêmicos, portanto para a manutenção dos ambientes de subsistência e produção agropecuária, é necessário identificação de áreas de referências para monitoramento dos recursos naturais.

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, R. R. L.; Lima, S. S.; Oliveira, N. C. R.; Leite, L. F. C. (2014). Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar1. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44:409-416pp.
- Alves, J.J.A. (2009). Caatinga do Cariri Paraibano. *Geonomos* v.17: 19 – 25pp.
- Anslana, S.; Bahrama, M.; Tedersooc, Leho. (2018). Seasonal and annual variation in fungal communities associated with epigeic springtails (Collembola spp.) in boreal forests *Soil Biology and Biochemistry* v.116:245–252pp.
- Araújo Filho, R.N.; Freirea, M.B.G.S.; Wilcox, B.P.; West, J.B.; Freirea, F.J.; Marques, F.A. (2017). Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.002>
- Artur, A.G.; Oliveira, D. P.; Costa, M. C.; Romero, R. E.; Silva, M. V.; Ferreira, T. O. (2014). Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, n.18.v2. <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n2/a03v18n2.pdf>
- Assad, M.L.L. (1997). Fauna do solo. In: Vargas, M.A.T.; Hungria, M., (eds.) *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC. p.363-443.
- Baldrian, P.; Snajdr, J.; Merhautov V.; Dobi P.; Cajthaml, T. (2013). Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. *Soil Biology and Biochemistry* v.56:60-68pp.
- Bastin, J. F.; Berrahmouni, N.; Grainger, A.; Maniatis, D.; Mollicone, D.; Moore, R.; Patriarca, C.; Picard, N.; Sparrow, B.; Abraham, E, M.; Aloui, K.; Atesoglu, A.; Attore, F.; Bassüllü, C.; Bey, A.; Garzuglia, M.; García-Montero, L. G.; Groot, N.; Guerin, G.; Laestadius, L.; Andrew J.; Lowe.; Bako Mamane, B.; Marchi, G.; Paul Patterson, P.; Rezende, M.; Ricci, S.; Salcedo, I.; Diaz, A. S. P.; Stolle, F.; Surappaeva, V.; Castro, R. (2017) The extent of forest in dryland biomes. *Forest Ecology, Science*, v356:635–638pp.
- Bitencourt, D.G.B.; Barros, W.S.; Timm, L. C., She, D.; Penning, L. H.; Parfitt, J. M. B.; & Reichardt, K. (2016). Multivariate and geostatistical analyses to evaluate lowland soil

levelling effects on physico-chemical properties. *Soil and Tillage Research*. v.156:63-73pp.

Brussaard L. (1998). Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Appl Soil Ecol* v. 9:123–135pp.

Brussaard, L. (1998). Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Appl Soil Ecol* 9:123–135pp

Burns, R.G.; Forest, J.L.; Marxsen, J.; Sinsabaugh, R.L.; Stromberger, M.E.; Wallenstein, M.D.; Weintraub, M.N.; Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry* v.58:216-234pp.

Camargo, L. A; Marques J. R., J.; Pereira, G.T; Horvat, R.A. (2008). Variabilidade espacial de Atributos mineralógicos de um Latossolo Diferentes Formas de relevo. I - Mineralogia da Fração argila. *Revista Brasileira de Ciência do solo Solo*. v.32:2269-2277pp.

Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A. (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v.58:1501-1511pp.

Castaño, C.; Alday, J.G.; Parlad, J.; Pera, J. Martínez, J.; Bonet, A. (2017). Seasonal dynamics of the ectomycorrhizal fungus *Lactarius vinosus* are altered by changes in soil moisture and temperature. *Soil Biology & Biochemistry*. v.115:253-260pp.

Chesworth W. (2008). *Encyclopedia of soil science, Encyclopedia of earth sciences series* Dordrecht, The Netherlands Springer xxvi, 902 p.

Crowther, T.W.; Thomas, S.M.; Maynard, D.S.; Baldrian, P.; Covey, K.; Frey, S.D.; Diepen, L.T.A.; Bradford, M.A. (2015). Biotic interactions mediate soil microbial feedbacks to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* v. 112:7033–7038pp.

Demattê, J.A.M. Terra, H Beirigo, R.M.; Terra, F.D.S.; Marques, K.P.P.; Fongaro, C.T.; Silva A.C.; Vidal-Torrado P. (2017). Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. *Journal of Environmental Management*. v.19:750-62pp.

Dominati, E.; Patterson, M.; Mackay, A. (2010). A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological Economics* v. 69:1858–1868pp.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª.ed. Brasília. 590p.

Gariglio, M.A.; Sampaio, E.V.S.B.; Cestaro, L.A.; Kageyama, P.Y. (2010). Uso sustentável e conservação Dos Recursos Florestais Da Caatinga. Serviço Florestal Brasileiro-SFB. 368p.

Huijbregts, C.J. (1975). Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data. In.: Davis, J.C.; Mc Cullagh, M.J. (eds). *Display and analysis of spatial data*. New York: John Wiley. 38-53pp.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Ministério do meio Ambiente (BGE/MMA). (2004). Primeira aproximação. Acesso a 01 de fevereiro de 2019 em <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>.

Instituto Nacional Chico Mendes-ICMBio. (2012). Perguntas sobre reserva particular do patrimônio natural. Souza, J.L.; Corte, A.A.; Ferreira, L.M. Brasília, 75p.

Jacomine, P.K.T. (1996) Solos sob caatingas: características e uso agrícola. In: Alvarez V., V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável*. Viçosa, SBCS-UFV. 930p.

Keys to Soil Taxonomy. (2014). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 372p.

Landim, P. M. B. (2006). Sobre Geoestatística e mapas. *Terrae Didatica*, v. 2:19-33pp.

Lavelle, P.; Decaënsb, T.; Aubertb, M.; Barota, S.; Blouina, M.; Bureaub, F.; Margerieb, P.; Moraa, P.; Rossic, J.P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. v.4:2S3–S15pp.

Mabesoone, J.M.; Neumann, V.H.M.L. (1995). Mapa geomorfológico de Pernambuco. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16, Recife, Anais, p.250-253.

- MAPA, BRASIL. (1972). Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - I. Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos da Paraíba. Rio de Janeiro, Brasil. Ministério da Agricultura. EPE. EPFS. Boletim Técnico, 15. Brasil. SUDENEDRN. Série Pedologia, 8.
- Marques, A. L.; Silva, J. B.; Moura, D. C.; Silva, D. G. (2017). Characterization morphostructural and morphoescultural of cariri paraibano. *Acta geográfica*. v.11:231-242pp.
- Martínez, M.; J. F.; González, H. P.; Sinoga, R.J. D. (2017). Topsoil moisture mapping using geostatistical techniques under different Mediterranean climatic conditions. *Science of the Total Environment*, v.595:400-412pp.
- Martins, C. M.; Galindo, L. I. C. D.; Souza, E. R. D.; Poroca, H. A. (2010). Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34:1883-1890pp.
- Matheron, G. (1967). "Kriging or polynomial interpolation procedures? A contribution to polemics in mathematical geology." *Canadian Mining and Metallurgical Bulletin*, v.60: 33-58pp.
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystem and Human Well-being: A Framework for Assessment. Island Press Washington, DC.
- Melo, S. T.; Lins, J. R. P.; D. C. Cisneiros; J. E. S. Bezerra; L. C. Ferreira & J. R. Pontes. (2004). Atualização do mapeamento da cobertura vegetal nativa lenhosa do estado da Paraíba e diagnóstico florestal. Pp.83-152 in: SUDEMA, 2004 (eds.) Atualização do diagnóstico florestal do estado da Paraíba, 2004. SUDEMA, João Pessoa.
- Menezes, R.S.C.; Sampaio, E.V.S.B.; Giongo, V.; Marin, P.A.M. (2012). Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. *Braz. J. Biol.* v.72:643-653pp.
- Pacchioni, R.G.; Carvalho, F.M.; Thompson, C.E.; Faustino, A.L.; Nicolini, F.; Pereira, T.S.; Agnez-Lima, L.F. (2014). Taxonomic and functional profiles of soil samples from Atlantic forest and Caatinga biomes in Northeastern Brazil. *Microbiol. Open*. v.3:299–315pp.

- Pathan, L.Z.; Ceccherini, M. T.; Pantani, O.L.; Baldrian, P. T. (2017). Seasonal variation and distribution of total and active microbial community of b-glucosidase encoding genes in coniferous forest soil *Soil Biology & Biochemistry* v.105:71-80pp.
- Pathan, S.I.; Zif, L.; Ceccherini, M.T; Pantani, O.L.; Vetrovský, L.; Baldrian, P. (2017). Seasonal variation and distribution of total and active microbial community of b-glucosidase encoding genes in coniferous forest soil *Soil Biology & Biochemistry*. v.105:71-80pp.
- Pennington, R. T.; Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. (2009). Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v.40:437-457pp.
- Pereira Filho, J.; Bakke, O. (2010). Produção de Forragem de espécies herbáceas Da Caatinga. Uso sustentável e conservação Dos Recursos Florestais Da Caatinga. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília. 159pp.
- Reddy, S.J. (1983). Climatic classification: the semi-arid tropics and its environment - a review. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. n.18:23-847pp.
- Roy, S.; Roy, M. M.; Jaiswal, A. K.; A. Baitha, A. (2018). Soil Arthropods in Maintaining Soil Health: Thrust Areas for Sugarcane Production Systems. DOI: 10.1007/s12355-018-0591-5.
- Santos, R. M., Oliveira-Filho, A. T., Eisenlohr, P. V., Queiroz, L. P., Cardoso, D. B. O. S., & Rodal, M. J. N. (2012). Identity and relationships of the Arboreal Caatinga among other floristic units of seasonally dry tropical forests (SDTFs) of north-eastern and Central Brazil. *Ecology and Evolution*, v.2n.2:409- 428pp.
- Santos, R.S.; Costa, L.C.; Sedyama, G.C.; Leal, B.G.; Oliveira, R.A.; Justino, F.B. (2011). Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. *Rev. Bras. Meteorol.* v.26:313–321pp.
- Schwinning, S.; Sala O. E. (2004). Hierarchy of responses to resource pulses in arid and semi-arid ecosystems. *Oecologia*.v.141:211-220 pp.
- Setälä H.; Laakso J.; Mikola J.; Huhta V. (1998). Functional diversity of decomposer organisms in relation to primary production. *Appl Soil Ecol* v.9:25–31pp.

Shahbazi, F.; Aliasghar zad, N.; Ebrahimzad, S. A.; Najafi, N. (2013). Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. *European Journal of Soil Biology*. v.55:20-27pp.

Silva, J.M.C.; Leal I.R.; Tabarelli, M. (2017) *Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America*. Cham: Springer.

Silva, P.F.; Lima, R.S.; Antonio C. D.; Souza, R.; Souza, E. S.; Silva, J. R.I.A.; Alves, E.M. (2017). Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid Environments*. 12p.

Sorensen L., *A Spatial Analysis Approach to the Global Delineation of Dryland Areas of Relevance to the CBD Programme of Work on Dry and Sub-Humid Lands (UNEP World Conservation Monitoring Centre, 2009)*.

Sousa, F.R.; Barbosa, M.P.; Terceiro Neto, C.P. C.; Morais Neto, J.M.; Sousa Junior, S. P. (2007). Estudo da degradação das terras do município de Boa Vista-Paraíba. *Engenharia Ambiental*, v.4n.2:005-013pp.

Souza, T.A.F.; Freitas, H. (2018). Long Term effects of fertilization on soil organismo diversity, in: Lichtfouse, E. teal. (eds). *Sustainable Agriculture Reviews 28*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5-7>.

Souza, Z.M.; Cerri, D.G.P.; Colet, M. J.; Rodrigues, L.H.A.; Magalhães, P.S.G.; Mandoni, R. J. A. (2010). Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura de cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*. v. 40 n.4:840-847.

Swift MJ, Bignell D, Souza FM, Huising J. (2010). O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE (eds) *Manual de biologia dos solos tropicais: Amostragem e caracterização da biodiversidade*. Editora UFLA. 23–41pp.

Swift, M.J.; Bignell, D.; Souza, F.M.; Huising, J. (2010). O inventário da diversidade biológica do solo: conceitos e orientações gerais. In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE (eds) *Manual de biologia dos solos tropicais: Amostragem e caracterização da biodiversidade*. Editora UFLA, 23–41pp.

TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations. UNEP/Earthprint.

Vieira, S.R. (1997). Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). *Bragantia*, Campinas, v.56n.1:181-190pp.

Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, P.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G.R. (2000). Tópicos em ciência do solo, Viçosa: SBCS, v.1:1-54pp.

Wagg, C.S.F. Bender, F. Widmer, and M.G.A. van der Heijden (2014) Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *PNAS*. v.111: 5266–5270pp.

Yamamoto, J.K., & Landim, P.M.B. (2015). Geoestatística: conceitos e aplicações. Oficina de Textos. 215p.

Zappi, D. C.; Filardi, F. L. R.; Leitman, P.; Souza, V. C.; Walter, B. M. T., Pirani, J. R; Zickel, C. S. (2015). Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. *Rodriguésia*, v.66:1085-1113pp.

CAPÍTULO I

RESUMO

Alves, M. A. B. **Variabilidade espaço-sazonal de Neossolos em topossequência no Cariri paraibano.** Areia-PB: UFPB, fevereiro de 2019. p. 21-49. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Raphael Moreira Beirigo.

No Brasil está localizada a Caatinga, região semiárida mais populosa do mundo, com cerca de 20 milhões de habitantes. No entanto, recursos naturais ligados ao solo vêm sofrendo impactos que causam deterioração em função da ausência ou ineficácia das práticas de manejo e conservação, que não levam em consideração a variabilidade espaço-sazonal do solo. Para mitigar tais impactos é indispensável estudos sobre a variabilidade e o funcionamento dos solos nos ecossistemas naturais como em unidades de conservação, com destaque as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN). Identificar a variabilidade espaço-sazonal dos atributos físicos e químicos de Neossolos em topossequência no Cariri Paraibano. O estudo foi realizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas, no Cariri Ocidental do estado da Paraíba, Brasil em uma topossequência com um sistema pedológico de Neossolos. A maioria dos atributos do solo apresentaram variabilidade espacial em topossequência, em todos os horizontes estudados confirmada pela krigagem que evidencia maior quantidade de carbono estocado no ombro, onde também foi observado em campo maior diversidade de organismos. Dos atributos químicos avaliados, apenas o P e K não variaram com a sazonalidade das chuvas, enquanto o Ca^{2+} e Mg^{2+} reduziram no período chuvoso, e no espaço os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram encontrados no ombro evidenciando maior fertilidade do solo, também indicada pela diversidade de organismos edáficos e plantas. A variabilidade espaço-sazonal das funções realizadas pelos os solos têm relação direta com o tipo e intensidade os serviços ecossistêmicos, como o de retenção de água e de estoque de carbono. O relevo (posição) foi um dos fatores de formação que mais influenciou na variabilidade espacial do serviço ecossistêmico de estoque de carbono dos Neossolos do Cariri paraibano. O sistema pedológico não se trata de uma topossequência, e sim de uma biotopossequência.

Palavras-chave: caatinga, serviços ecossistêmicos, cariri paraibano, geoestatística

ABSTRACT

Alves, M. A. B. **Spatial-seasonal variability of Neosols in toposequence in Cariri Paraíba.** Areia-PB: UFPB, February 2019. p. 21-49. (Master's Dissertation in Soil Science). Graduate Program in Soil Science. Advisor: Raphael Moreira Beirigo.

In Brazil is located the Caatinga, the most populous semi-arid region in the world, with about 20 million inhabitants. However, soil-related natural resources have been impacted by deterioration due to the absence or ineffectiveness of management and conservation practices, which do not take into account the spatial-seasonal soil variability. In order to mitigate such impacts, studies on the variability and the functioning of soils in natural ecosystems as well as on conservation units are indispensable, especially Natural Reserves of Natural Heritage (RPPN). To identify the spatial-seasonal variability of the physical and chemical attributes of Neosols in toposequence in Cariri Paraibano. The study was carried out in the Fazenda Almas Natural Heritage Private Reserve, in the Western Cariri of the State of Paraíba, Brazil, in a toposequence with a pedological system of Neosols. Most of the attributes of the soil presented spatial variability in toposequence, in all the horizons studied, confirmed by kriging that evidences a greater amount of carbon stored in the shoulder, where it was also observed in the field greater diversity of organisms. Among the chemical attributes evaluated, only P and K did not vary with rainfall seasonality, while Ca^{2+} and Mg^{2+} decreased in the rainy season, and in space the highest levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} were found in the shoulder showing higher soil fertility, also indicated diversity of edaphic organisms and plants. The spatiotemporal variability of the functions performed by soils is directly related to the type and intensity of ecosystem services, such as water retention and carbon stock. The relief (position) was one of the training factors that most influenced the spatial variability of the ecosystem service of carbon stock of the Neosolos do Cariri Paraíba. The pedological system is not a toposequence, but a biotoposequence.

Key words: caatinga, ecosystem services, paraíba cariri, geostatistics

1. INTRODUÇÃO

No Brasil as principais florestas sazonalmente secas são conhecidas como Savana Estépica “Caatinga”, rica em biodiversidade que corresponde 11% do território nacional, sendo a maior parte no Nordeste brasileiro (Pennington et al., 2009; IBGE/MMA, 2004). A Caatinga tem característica peculiar de resiliência da vegetação no período chuvoso após estiagem longa de oito a nove meses (Dilma et al., 2007) com predominância de solos pouco evoluídos como os Neossolos. Os Neossolos estão entre as principais classes do Bioma, embora considerados solos pouco evoluídos, sob o manejo adequado ou em unidades de conservação, podem ser bom prestador do serviço ecossistêmico, sendo os principais estoque de carbono (Gomes et al., 2019), retenção de água, disponibilidade de nutrientes, diversidade de organismos edáficos e produção de biomassa. Porém, ainda é escasso na literatura, estudos que tratam da investigação de serviços ecossistêmicos do solo (SES).

Na mesorregião da Borborema na Paraíba, os recursos naturais como solo e água vêm sofrendo impactos por conta do uso inadequado e ausência ou ineficiência de práticas conservacionistas (Souza et al., 2007). Na Caatinga a agropecuária intensiva é uma das principais causas da redução de estoque de carbono, além da mitigação de nutrientes essenciais ao crescimento das plantas (Schulz et al., 2016). Em um estudo sobre estoque de carbono em diferentes usos de solos na Espanha, Martín et al. (2016) concluíram que as menores quantidades de carbono estocado em solos agrícolas estão relacionadas ao manejo inadequado. Além disso, o estoque de carbono apresenta variabilidade espacial que é influenciada pela classe de solo, profundidade, densidade, água e o relevo (Sánchez et al., 2016; Mingjun et al., 2017), e por outro lado, o estoque de carbono em solos da Caatinga podem variar sazonalmente em função das precipitações pluviométricas concentradas e mal distribuídas no tempo e no espaço, assim como o efluxo de CO₂ (Ferreira et al., 2018) e nutrientes essenciais como Ca²⁺, Mg²⁺, P e K⁺ (Martins et al., 2009).

Em uma topossequência a variabilidade dos atributos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e biológicos está relacionada com variação da topografia e forma do relevo (Chesworth, 2008; Pinheiro Junior et al., 2018), pois estes influenciam nos fluxos de água que governam a maioria dos processos de formação do solo e dinâmica de nutrientes, além disso, o relevo controla temperatura e umidade do solo, o que pode gerar conforto ou desconforto para organismos edáficos.

De acordo com Pan et al. (2015) a textura do solo tem forte influência na dinâmica de retenção da água no solo, por outro lado, o estoque de carbono também é afetado, o

mesmo foi observado por Schulz et al. (2016), em áreas de Caatinga no Nordeste brasileiro. Solos com maior quantidade de argila estocam mais carbono orgânico devido à proteção física e química e pela maior retenção de água para as plantas (Powers et al., 2011). Portanto, estudar a variabilidade da granulometria é indispensável para compreensão da variabilidade espacial do estoque de carbono orgânico no solo (Ceddia et al., 2015).

Na literatura, autores relatam o uso da geoestatística para identificação de estrutura de dependência espacial dos atributos do solo (Ceddia et al., 2015; Mingjun et al., 2016; Liu e Leung 2018) e está ainda pode ser aliada a krigagem para interpolação de dados de pontos não amostrados. O mapeamento pela krigagem identifica manchas com zonas de manejo específico e potencializam tomadas de decisões que visem a manutenção e preservação dos serviços ecossistêmicos do solo (Wadoux et al., 2018).

Para monitoramento dos estoques de carbono e dos nutrientes do solo com relação à variabilidade espacial e sazonal é necessário áreas de referências como solos em unidades de conservação como em Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), para identificação e caracterização dos atributos do solo com pouca ou nenhuma intervenção antrópica, para possíveis correlações com diferentes usos do solo, enquanto a isso são raros os estudo em ambientes naturais conservados com viés científico em periódicos de grande impacto. Por tanto, foi realizado o estudo em topossequência em RPPN, por ser possível analisar as propriedades do solo e suas interligações ao longo de uma vertente. A sazonalidade é importante por avaliar períodos distintos de dinâmica de atributos do solo com relação a temperatura e umidade do solo. A krigagem é uma técnica promissora que possibilita visualizar os dados de forma mais clara através de imagens.

Diante disso, objetivou-se identificar a variabilidade espaço-sazonal dos atributos do solo físicos, químicos e biológicos de Neossolos em diferentes posições de uma topossequência e a influência do relevo nos serviços ecossistêmicos de Neossolos no Cariri paraibano.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição da área

O trabalho foi conduzido na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), fazenda Almas, localizada nos municípios de Sumé e São José dos Cordeiros, microrregião do Cariri ocidental na Paraíba, entre as coordenadas geográficas 7°28'45" S e 36°54'18" W (**Figura 6**). A formação geológica é composta por rochas do embasamento cristalino do

Pré-Cambriano, com predomínio de granitos e gnaisses (Santos et al., 2002). O relevo é ondulado e forte ondulado com ocorrência de serras. A altitude varia entre 580 e 740 metros. O Cariri Ocidental é a microrregião mais seca do Brasil, com clima do tipo BSh-semiárido quente segundo a classificação de Köppen, com precipitação média anual em torno de 553 mm com chuvas concentradas nos meses de fevereiro, março e abril e temperatura média anual próximo a 24°C (Alvares et al., 2013). As classes de solos da Fazenda Almas são Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico, Luvisolo Crômico e Planossolo Háptico (PMFA, 2015). O regime hídrico e térmico dos Neossolos é arídico e hipertérmico (Silva, 2018).

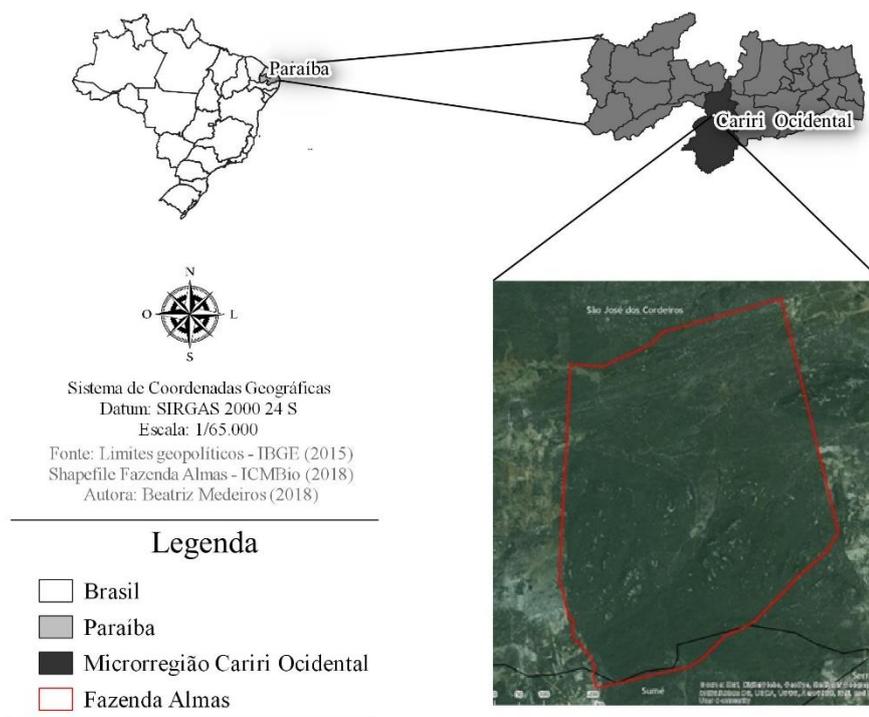


Figura 6. Mapa de localização da fazenda Almas, na microrregião do Cariri Ocidental, Paraíba, Brasil.

A fazenda Almas é a quarta maior RPPN do Nordeste e a maior do estado da Paraíba, com mais de 40 anos de conservação de recursos naturais como solo, água, flora e fauna, (PMFA, 2015). A vegetação da fazenda Almas é em sua maioria composta por Savana Estépica (caatinga hiperxerófila) com cerca de 18% de espécies endêmicas do Bioma Caatinga, sendo que as famílias mais abundantes são Fabaceae (16,38% das espécies), Convolvulaceae (6,14%), Euphorbiaceae (6,14%), Cyperaceae (5,12%), Poaceae (4,78%), Rubiaceae (4,44%), Malvaceae (3,75%), Apocynaceae (3,07%), Malpighiaceae (2,73%) e Bignoniaceae (2,39%) (Lima e Barbosa, 2014).

2.2. Topossequência

A topossequência ocorre em área com relevo forte ondulado, com desníveis fortes, onde a declividade é > 45%. As posições são topo, ombro, terço médio e terço inferior (ou sopé coluvial). O sistema pedológico é composto por Afloramento Rochoso no topo e uma sequência de Neossolos no ombro, terço médio e terço inferior (**Tabela 1**). As formas do relevo são convexo-convexo; côncavo-convexo e côncavo-côncavo (Silva, 2018).

Tabela 1. Classificação de Neossolos Litólicos em topossequência pelos sistemas de brasileiro classificação (SiBCS) e o americano (Soil Taxonomy) e descrição morfológica

Horizontes	Profundidade		Cor		Estrutura	Transição
	cm	classe	seca	úmida		
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário (<i>Lithic Torriorthents</i>) – Ombro						
A	0 - 16		10 YR 5/3	10 YR 2/2	mod mg blsub	pl cl
Cr	16 - 48	raso	10 YR 5/4	7,5YR 3/3,	fr g mg blsub	pl ab
R	48+		***	***	***	***
Neossolo Regolítico Eutrófico léptico (<i>Typic Torriorthents</i>) – Terço médio						
A	0 - 10		10 YR 5/3	7,5 YR 3/3	mod mg blsub	pl cl
C1	10 - 55	profundo	10 YR 6/4	7,5 YR 4/4	mod g blsub	pl cl
Cr	55 - 110		7,5YR 5/6	7,5 YR 4/6	mç	***
R	110+		***	***	***	***
Neossolo Regolítico Psamítico típico (<i>Typic Torripsmamments</i>) – Terço inferior						
A	0 - 18		10 YR 6/2	10 YR 2/2	fr mod mg gra	pl cl
C1	18 - 80	profundo	10 YR 7/2	10 YR 5/3	mod med g blsub	pl cl
C2	80 - 130+		10 YR 8/2	10 YR 7/3	mod mg blsub	***

(f - forte; mod - moderada; fr - fraca; mg - muito grande; g - grande; med - média; gra - granular; blsub - blocos subangulares; mç - maciça; pl - plana; cl - clara; ab - abrupta) (SILVA, 2018).¹(EMBRAPA, 2017); ²(NRCS, 2014)

2.3. Amostragem

2.3.1. Variabilidade espacial

A avaliação da variabilidade espacial foi realizada em uma malha amostral com pontos aleatórios caracterizando-se como amostragem aleatória simples (**Figura 7**). Em cada ponto georreferenciado da malha amostral foi aberta uma trincheira de 0,5 x 0,5 m e coletado amostras nos horizontes A e Cr do ombro, horizontes A, C1 e Cr do Terço Médio e horizontes A, C1 e C2 do Terço Inferior para as análises físicas e o carbono orgânico total, em um total 75 pontos, sendo 25 amostras em cada posição do relevo, totalizando

200 amostras deformadas. Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas, e passadas em peneira de malha de 2 mm (TFSA).

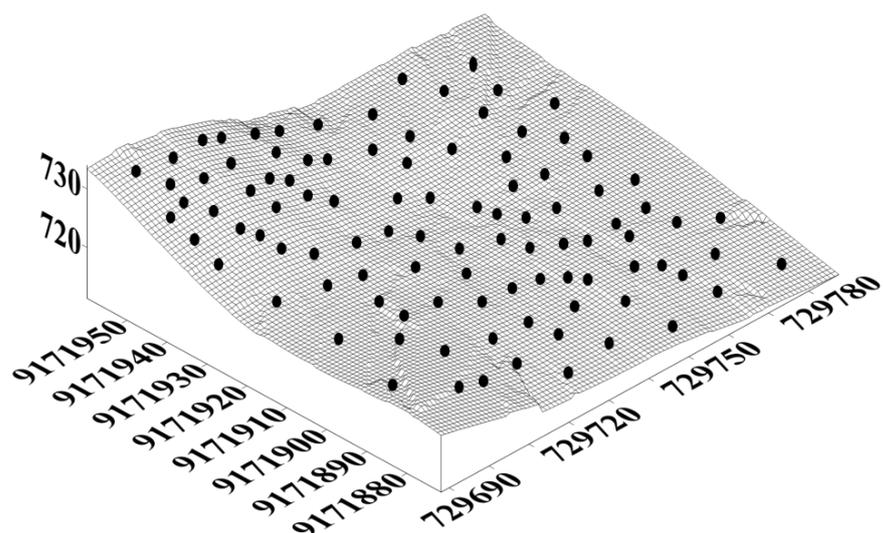


Figura 7. Malha amostral em topossequência de Neossolos do Cariri paraibano.

Também foram coletadas amostras dos horizontes superficiais O (serapilheira) da malha amostral. Procedeu-se a coleta com utilização de um molde de madeira com dimensões de 21 cm x 29,7 cm. As amostras do horizonte O foram secas em estufa com circulação à 65°C por 72 horas, e o peso seco obtido em g m^{-2} foi convertido em Mg há^{-1} .

2.3.2. Variabilidade sazonal

Foram coletadas amostras em cada horizonte dos solos em dois períodos, sendo uma no pico do período seco (novembro) e outra no chuvoso (março). Em cada posição do relevo (ombro, terço médio, terço inferior) totalizando 48 amostras, nestas foram realizadas as análises químicas (**Figura 8**).

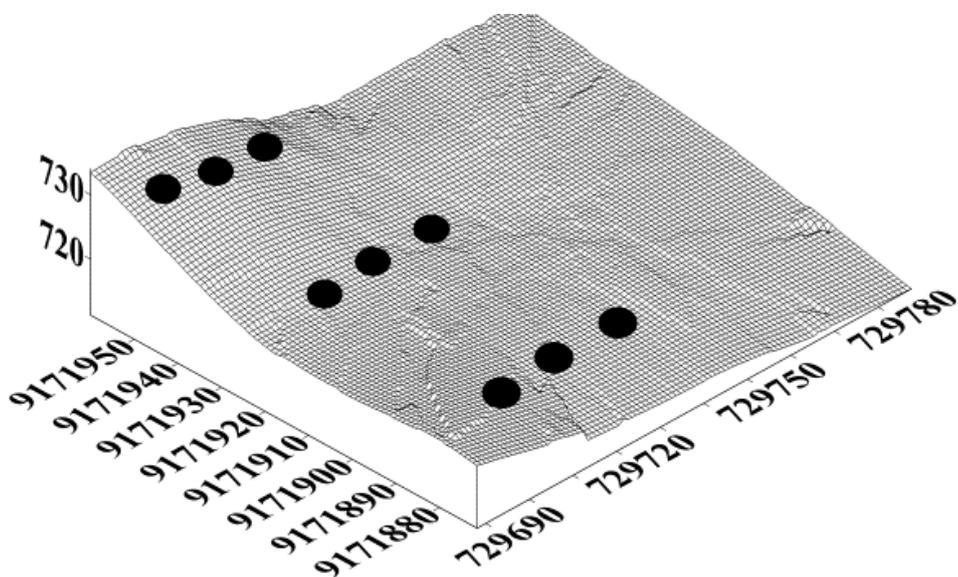


Figura 8. Distribuição de trincheira para coletas nos períodos seco e chuvoso em topossequência de Neossolos do Cariri paraibano.

A escolha dos pontos amostrais foi realizada de acordo com as posições do relevo, observando locais na posição que que não fosse transição de Classes de solos, utilizando três repetições.

A captura do CO₂ em campo foi realizada seguindo o método de Ivo e Salcedo (2012). Em nove pontos, três em cada posição do relevo. Foi distribuído recipientes de vidro com 20 ml NaOH 0,5 mol L⁻¹ e sobre estes foi colocado um pote de vidro com formato cilíndrico. Ao cobrir os copinhos, as bordas dos potes foram enterradas em aproximadamente 2 cm, para evitar trocas gasosas com o meio externo. Em cada posição do relevo foi colocado uma prova em branco em pote hermeticamente fechado. Após 24 a solução foi transferida para vidros com capacidade de 30ml, e estes colocados em isopor com gelo a ≤ 4°C.

O CO₂ foi determinado por titulação com 0,5 mol L⁻¹ de HCl usando fenolftaleína a 1% como indicado pH seguindo a metodologia de Jenkinson e Powlson, (1976) sendo o valor de ECO₂ obtido em mg CO₂ m⁻² h⁻¹ pela equação:

$$CO_2 = \frac{(V_b - V_a) \times N(HCL) \times Eq\ CO_2}{A \times 24}$$

(Equação 01)

Onde,

CO₂ = quantidade de CO₂ capturado (mg m⁻² h⁻¹);

V_b = volume de ácido clorídrico utilizado na titulação em branco (mL);

V_a = volume de ácido clorídrico utilizado na titulação da amostra (mL);

N (HCL) = normalidade do ácido clorídrico = 0,5;

EqCO₂ = grama equivalente de CO₂ = 22;

A = área do pote de vidro = 0,011 m²;

24 = horas de captura.

A captura de CO₂ foi realiza do mês de novembro de 2017 a maio de 2018, e em cada mês foram avaliadas temperatura e umidade do solo. A temperatura no solo em condições de campo (método indireto) foi mensurada, por meio de sensores MPS-2, Decagon Devices[®], com capacidade de determinação de temperaturas de - 40°C à 50°C (precisão ± 1°C). A umidade gravimétrica foi determinada por termogravimetria utilizando o equipamento WP4.

2.4. Análises dos atributos dos solos

2.4.1. Atributos Físicos

A granulometria foi determinada pelo método do densímetro, utilizando-se solução de NaOH e Hexametáfosfato de sódio com agitação mecânica por 16 horas, com base no princípio da lei de Stooks descrito em Gee e Or, (2002), sendo a argila determinada pelo densímetro, areia por peso da amostra seca e silte por diferença. A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro por meio de amostras indeformadas, em laboratório as amostras foram secas em estufa a 105 °C e posteriormente pesadas (Grossman e Reinsch, 2002). O teor de água no solo foi obtido pelo método gravimétrico em amostras deformadas (Topp, 2002).

2.4.2. Atributos Químicos

O pH do solo foi determinado em água; cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+}) foram extraídos com solução de KCl 1 mol l⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica; K^+ , Na^+ trocáveis e P disponível extraídos por solução de Mehlich⁻¹ e determinados por fotometria de chama e calorimetria, respectivamente; acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}^{3+}$) extraída com acetado de cálcio a pH 7 e determinada por titulometria, conforme descrito em Embrapa (2017).

O carbono orgânico total foi quantificado pelo método de Walkley e Black, (1934) e o estoque de carbono foi calculado pela equação (Veldkamp, 1994):

$$EC = \frac{COT \times Ds \times e}{10}$$

(Equação 02)

Onde,

EC = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg ha⁻¹);

COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo da profundidade (kg dm⁻³);

e = espessura da camada considerada (cm).

2.5. Estatística e Geoestatística

Os atributos, argila, silte, areia e o estoque de carbono foram submetidos a estatística descritiva, sendo calculados a média, mediana, máximo, mínimo, coeficiente de variação, assimetria e curtose. A normalidade foi testada por Shapiro-Wilk. A dependência espacial dos atributos do solo foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

(Equação 03)

, em que $N(\mathbf{h})$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + \mathbf{h})$ são separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$, versus h . Os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, foi utilizado a classificação de Cambardella et al. (1994). Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, exponencial e o gaussiano, ajustados por com o Software GS+ (versão 7.0) (Gamma Design Software, 2004). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, foi considerado o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada.

Para comparação dos atributos químicos do solo e estoque de carbono do período seco e chuvoso foi realizado teste T pareado para variáveis dependentes pelo software SAS University Edition (SAS, 2016).

2.6. Krigagem

Foram gerados mapas por horizontes, por entender que desta maneira fica mais claro a variabilidade espacial dos atributos do solo na topossequência estudada. Para isso, agrupou-se os grids amostrais de horizontes em comum de diferentes posições gerando um único mapa. Em caso de Efeito Pepita Puro na geoestatística, não comprometeu a confecção dos mapas, pois, o ajuste dos pontos amostrais de posições com horizontes em comum aumentou o número de amostras, sendo suficiente para gerar um grid com dependência espacial. Para elaboração dos mapas de krigagem, foi utilizado o programa Surfer 9.0 (Golden Software, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estatística descritiva

A média e mediana da granulometria, serapilheira e estoque de carbono estão próximas, assim como a maioria dos coeficientes de assimetria e curtose encontram-se próximos de zero, indicando distribuição simétrica dos dados e curtose positiva. De acordo com a classificação de Warrick & Nielsen, (1980) o coeficiente de variação foi médio para maioria dos atributos, sendo o mais alto do estoque de carbono no horizonte Cr do ombro, Cr no terço médio e C2 no terço inferior. O teste Shapiro Wilke indicou normalidade para

maioria das variáveis, por outro lado, segundo Camargo et al. (2008), em se tratando de dados obtidos na natureza para avaliação do grau de dependência espacial não é necessária, portanto, a normalidade dos dados estatísticos para estes serem submetidos à geoestatística, porém, em dados não normais os semivariogramas podem apresentar caudas alongadas e patamares não definidos (**Tabela 2**).

No Neossolo Litólico da posição do ombro, a argila apresentou maior conteúdo no horizonte A (142,62 g kg⁻¹) com relação ao Cr (130,69 g kg⁻¹). Por outro lado, no Neossolo Regolítico do terço médio os teores de argila tem um aumento suave e são diferentes do Neossolo Litólico do ombro uma vez que o conteúdo de argila aumenta gradativamente com a profundidade do solo, 101,68 g kg⁻¹ (horizonte A); 100,60 g kg⁻¹ (horizonte C1); 122,11 g kg⁻¹ (horizonte Cr) respectivamente. Já no Neossolo Regolítico do terço inferior os teores de argila são os menores ao longo da topossequência.

Tabela 2. Estatística descritiva de atributos do solo e da serapilheira em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano

Atrib.	Hor.	Esp. (cm)	Média	Med.	Min.	Max.	DP	CV (%)	Cs	Ck	W
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário – Ombro											
SR	---	----	82,52	68,16	37,81	148,7	35,40	42,89	0,44	-1,04	*
Arg.	A	0-16	142,62	140,69	100,60	205,44	30,73	21,03	0,67	0,01	*
	Cr	16-48	130,69	126,84	75,58	229,59	31,06	23,76	1,37	3,40	*
Silt.	A	0-16	157,49	166,49	22,58	222,35	48,39	30,72	-1,00	1,11	ns
	Cr	16-48	183,29	190,22	97,19	230,29	32,95	17,97	-0,77	0,38	ns
AT	A	0-16	699,87	703,03	627,68	791,83	39,95	5,70	0,28	0,01	ns
	Cr	16-48	686,01	686,07	621,00	737,00	25,42	3,37	-0,51	1,85	ns
EC	A	0-16	45,09	43,53	14,36	60,00	11,36	14,61	-0,67	0,57	ns
	Cr	16-48	43,54	43,79	17,40	53,94	7,73	10,30	-1,53	4,35	ns
Neossolo Regolítico Eutrófico típico - Terço Médio											
SR	----	----	71,30	66,77	32,09	141,3	28,99	40,65	0,77	0,07	ns
	A	0-10	101,68	101,21	25,07	178,75	32,07	31,54	-0,12	0,79	*
Arg.	C1	0-55	108,92	100,60	75,00	176,23	33,43	30,69	0,60	-0,93	ns
	Cr	55-110	122,11	125,88	50,10	204,70	43,75	35,82	0,24	-0,62	ns
Silt.	A	0-10	156,67	158,24	94,45	220,51	29,21	18,64	-0,04	0,43	ns
	C1	0-55	147,09	146,96	86,04	195,18	29,63	20,14	-0,09	0,52	ns
	Cr	55-110	152,24	148,79	43,50	345,01	52,53	34,50	1,71	7,62	*
	A	0-10	741,63	748,22	662,15	821,46	45,88	6,18	-0,09	-1,11	ns
AT	C1	0-55	743,97	758,33	629,40	801,84	47,69	6,41	-0,79	-0,02	ns
	Cr	55-110	726,24	723,73	604,58	802,85	66,62	9,17	-0,53	-0,62	ns
EC	A	0-10	30,01	29,68	18,56	45,36	7,08	13,79	0,49	0,04	ns
	C1	0-55	38,55	40,00	14,00	53,86	10,38	15,62	-1,03	0,64	*

	Cr	55-110	32,00	30,16	00,00	55,68	16,49	29,89	-0,32	-0,80	ns
Neossolo Regolítico Psamítico típico - Terço inferior											
SR	---	----	93,79	81,20	34,33	184,74	47,90	51,10	0,57	-0,77	*
	A	0-18	97,10	100	50,05	151,2	28,08	28,91	0,08	-0,34	ns
Arg.	C1	18-80	89,24	100	49,95	150,45	29,91	33,51	0,16	-0,90	*
	C2	80-130	92,25	100,2	50,00	150,75	32,95	35,71	0,05	-1,07	*
	A	0-18	79,71	82,66	00,00	141,34	34,54	46,23	-0,36	-0,49	ns
Silt.	C1	18-80	88,85	88,67	26,00	184,34	40,96	46,10	0,35	-0,57	ns
	C2	80-130	92,94	81,57	34,60	216,66	49,97	53,76	1,05	0,66	*
	A	0-18	823,17	816,90	784,94	890,95	27,95	3,39	1,29	1,71	*
AT	C1	18-80	821,91	829,81	739,89	851,20	26,07	3,17	-1,74	3,09	*
	C2	80-130	814,84	825,85	732,80	860	32,87	4,03	-1,43	1,54	*
	A	0-18	26,64	26,50	11,03	44,95	8,29	18,05	0,47	0,38	ns
EC	C1	18-80	24,53	26,36	00,00	35,69	8,26	21,28	-0,99	1,65	*
	C2	80-130 ⁺	16,33	16,69	00,00	35,75	8,08	28,71	-0,10	1,03	ns

Arg: argila; Silt: Silte; AT: areia total; Min: Mínimo; Max: Máximo DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; W: teste de normalidade Shapiro Wilk (5% de probabilidade); ns: não significativo; *: Significativo.

Com relação ao silte e a areia total, estes têm distribuição similares na vertical e ao longo da topossequência, ambos diferentes da argila. No Neossolo Litólico (ombro), o silte aumenta significativamente de 157,49 g kg⁻¹ no horizonte A, para 183, 29 g kg⁻¹ no horizonte Cr. No Neossolo Regolítico (terço inferior) embora o conteúdo de silte seja menor, este tem a mesma tendência do ombro. A areia total variou verticalmente em função dos horizontes e das posições de relevo, de 699,87 g kg⁻¹ no horizonte A do Neossolo Litólico, para 823,17 g kg⁻¹ no horizonte A do Neossolo Regolítico do terço inferior.

Com relação ao estoque de carbono, este apresentou diferença entre os horizontes de forma vertical e lateral ao longo da topossequência.

No Neossolo Litólico do ombro o estoque de carbono é maior do que nos Neossolos Regolíticos do terço médio e do inferior. Embora os solos da topossequência sejam todos arenosos, o Neossolo Litólico tem maior capacidade de prestação do serviço ecossistêmico de estoque de carbono, mesmo sendo um solo raso, e esta capacidade pode estar relacionada com as plantas. No ombro a vegetação é do tipo florestal (floresta seca), no terço médio é transicional (árvores e arbustos) e o terço inferior com arbustiva (**Figura 9**). Esse padrão de distribuição pode ser devido à posição na paisagem onde a posição do ombro recebe grande parte da água que cai no topo (afloramento rochoso) e também os recursos como nutrientes.

A maior quantidade destes recursos principalmente água condiciona a distribuição da vegetação e outros organismos, e os maiores sequestro e estoques de carbono. Conseqüentemente árvores maiores com copas mais densas e sistema radicular mais desenvolvido, com maior produção de biomassa.

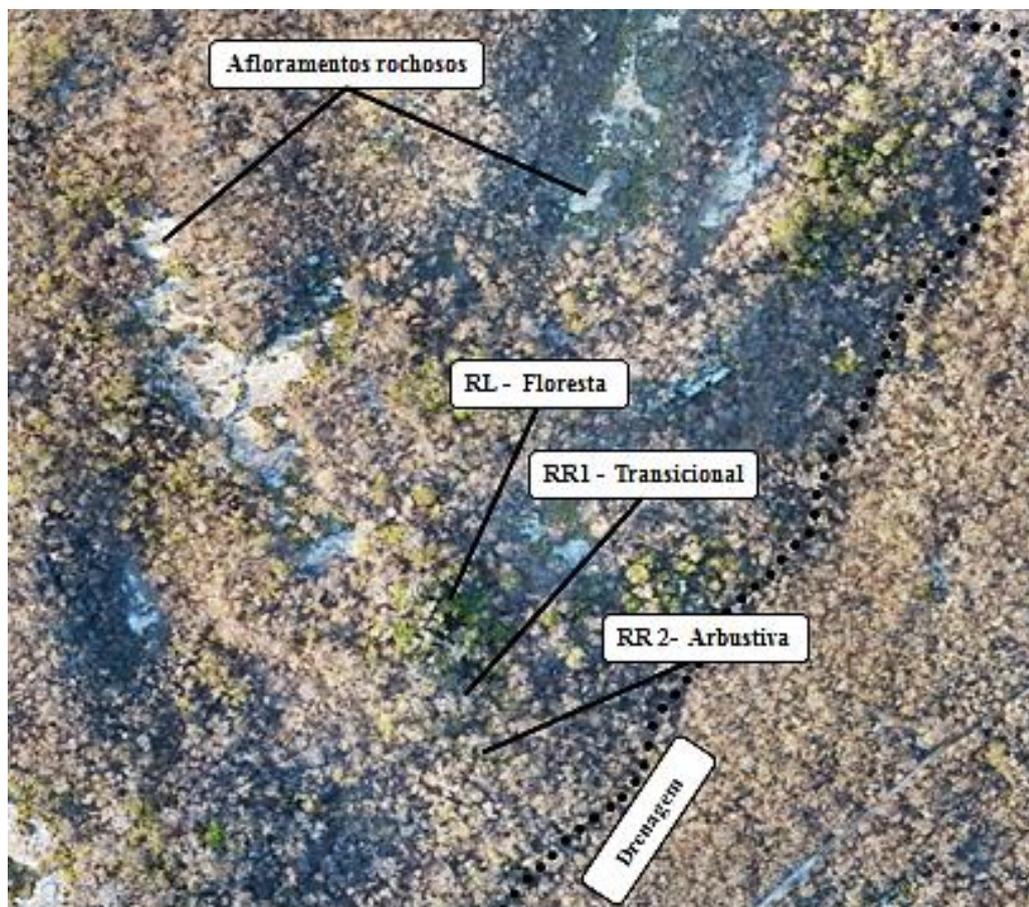


Figura 9. Imagem aérea da área de estudo. Distribuição dos afloramentos rochosos, da vegetação e canal de drenagem.

De acordo com Fissore et al. (2017), para o entendimento da variabilidade dos teores de carbono orgânico total e dos estoques de carbono orgânico no solo em uma topossequência, o conhecimento da vegetação local é indispensável, assim como a qualidade e tipo de matéria orgânica também importa (características químicas e físicas dos resíduos e condições ambientais para a decomposição/humificação).

No ombro, além da vegetação ser mais densa e com maior diversidade, a atividade da macrofauna é maior, pela maior retenção de água e disponibilidade de nutrientes, o que promove mais bioturbação. A diversidade de organismos edáficos e a variação dos grupos funcionais destes de acordo com as posições de relevo apresentadas no capítulo II.

Diferente de outras regiões como as com clima úmido e até mesmo semiárido os principais recursos naturais associados aos solos como água e nutrientes estão nos solos das partes mais baixas no Terço Inferior. Nesta topossequência com sistema pedológico de

Neossolos há uma maior concentração e disponibilidade destes recursos nas partes mais altas da paisagem na posição de Ombro (**Figura 10**).

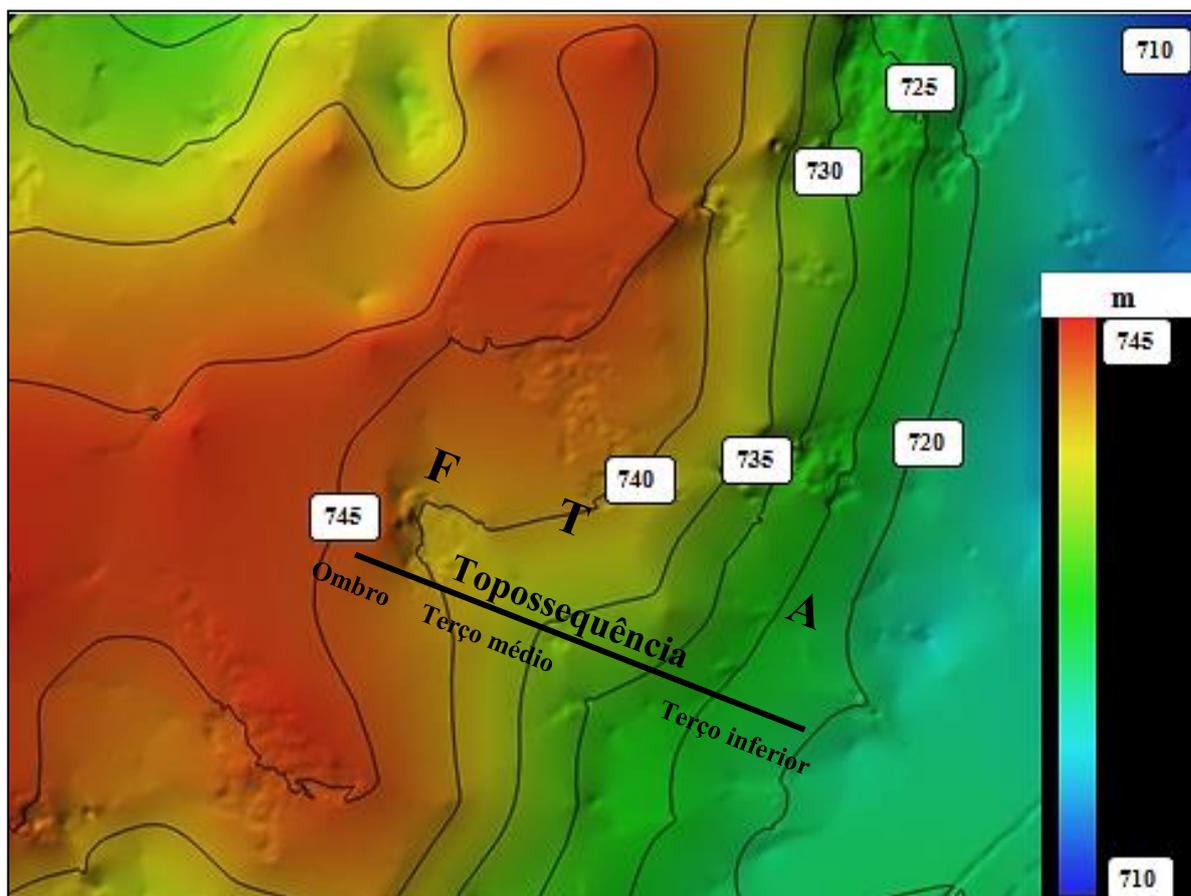


Figura 10. Modelo de elevação do terreno. Vegetação (F = floretal - árvores, T = transicional - árvores e arbustos; A = arbustiva - arbustos), isolinhas e topossequência.

3.1.1. Geoestatística

Quanto à variabilidade espacial, foi observada dependência espacial para todos os atributos estudados, com exceção do estoque de carbono no horizonte Cr do ombro, silte horizonte Cr do terço médio e argila no horizonte C1 do terço inferior que apresentaram efeito pipita puro (EPP) (**Tabela 3**). O EPP é indicador de variabilidade não explicada, podendo ser consequência de erros no processo amostral ou pequenas variações não detectadas (Cambardella et al., 1994; Salviano et al., 1998), neste caso, para detectar dependência espacial é necessário, portanto, proceder menor alcance de amostragem. O modelo matemático mais ajustado aos semivariogramas foi o esférico, com ocorrência de gaussiano e exponencial. De acordo com Cambardella et al. (1994), o modelo esférico tem maior ocorrência principalmente em solos de maior variabilidade espacial com mudanças abruptas.

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas de atributos de Neossolos em topossequência no Cariri paraibano

Atrib.	Hor.	Esp. (cm)	Modelo	C₀	C₀+C₁	A (m)	GDE (%)	N	Out.	R₂ (%)
Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário – Ombro										
SR	----	----	Gaus.	1,00	13,00	12,00	7,69	25,00	0,00	95,10
Arg.	A	0-16	Esf.	0,63	8,77	6,43	7,19	24,00	1,00	84,00
	Cr	16-48	Gaus.	2,00	10,02	15,00	20,5	25,00	0,00	96,50
Silt.	A	0-16	Esf.	0,02	2,34	7,06	0,80	25,00	0,00	58,90
	Cr	16-48	Esf.	1,72	8,06	14,42	21,33	25,00	1,00	90,00
AT	A	0-16	Esf.	0,01	1,46	7,14	0,06	25,00	0,00	93,00
	Cr	16-48	Esf.	0,79	7,10	19,00	11,12	25,00	0,00	97,50
EC	A	0-16	Esf.	0,17	2,55	6,64	6,66	24,00	1,00	50,00
	Cr	16-48	----	EPP	----	----	----	25,00	0,00	74,00
Neossolo Regolítico Eutrófico típico - Terço Médio										
SR	----	----	Gaus.	0,66	10,00	14,00	6,60	25,00	1,00	48,00
Arg.	A	0-10	Esf.	0,44	7,98	17,00	5,51	24,00	1,00	94,80
	C1	0-55	Gaus.	1,04	9,66	21,00	10,76	24,00	1,00	96,00
	Cr	55-110	Gaus.	0,20	12,2	16,00	1,63	24,00	1,00	81,60
	A	0-10	Exp.	0,02	2,00	21,00	1,00	25,00	1,00	56,10
Silt.	C1	0-55	Esf.	0,15	8,93	9,20	1,67	25,00	0,00	73,20
	Cr	55-110	----	EPP	----	----	----	25,00	0,00	99,00
AT	A	0-10	Esf.	0,20	2,4	31	8,33	24,00	1,00	85,70
	C1	0-55	Esf.	0,10	2,76	17	3,72	24,00	1,00	66,00
	Cr	55-110	Esf.	0,19	3,60	5,25	5,27	24,00	1,00	48,00
	A	0-10	Esf.	0,07	2,00	5,22	3,50	25,00	0,00	68,00
EC	C1	0-55	Esf.	0,78	4,07	14,00	19,16	25,00	0,00	72,00
	Cr	55-110	Exp.	0,10	0,70	6,00	14,28	24,00	1,00	55,00
Neossolo Regolítico Psamítico típico - Terço inferior										
SR	----	----	Esf.	1,00	21,00	16,00	4,70	25,00	0,00	43,00
Arg.	A	0-18	Esf.	0,02	1,12	52,00	1,78	25,00	0,00	66,60
	C1	18-80	---	EPP	---	----	----	24,00	1,00	70,70
	C2	80-130	Exp.	0,70	2,2	27,30	31,81	25,00	0,00	29,80
	A	0-18	Gaus.	0,02	1,60	26,00	1,25	24,00	1,00	71,10
Silt.	C1	18-80	Exp.	0,95	3,22	24,30	29,50	25,00	0,00	36,40
	C2	80-130	Esf.	0,53	2,64	25,00	20,01	25,00	0,00	80,00
	A	0-18	Esf.	0,54	8,61	32,00	6,27	25,00	0,00	63,70
AT	C1	18-80	Esf.	0,12	0,75	36,00	16,00	25,00	0,00	78,70
	C2	80-130	Esf.	0,16	1,03	29,00	15,55	25,00	0,00	73,00
	A	0-18	Esf.	0,23	1,41	16,66	16,31	25,00	0,00	55,00
EC	C1	18-80	Esf.	0,57	2,19	16,90	26,02	25,00	0,00	79,10
	C2	80-130	Esf.	0,27	1,57	18,22	42,39	25,00	0,00	83,01

Arg.: argila; Silt.: Silte; AT: areia total; EC: Estoque de carbono Esf.: modelo esférico; Exp.: modelo exponencial C_0 : efeito pepita; C_0+C_1 : patamar; a: alcance; GDE: grau de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação do modelo; N: tamanho da amostra.

A maioria dos atributos apresentaram grau de dependência espacial forte segundo a classificação de Cambardela et al. (1994). Grau de dependência espacial moderada foi observada apenas no terço inferior para argila, silte e EC, nos horizontes C1, C2, respectivamente, evidenciando a influência da argila no estoque de carbono do solo em profundidade. O grau de dependência espacial forte pode ser explicado, pelas mudanças abruptas de uma posição do relevo para outra, além disso, o fator vegetação também é variável, conseqüentemente atributos como o estoque de carbono que é dependente da vegetação local, apresenta uma distribuição forte.

Com relação ao alcance, os maiores valores foram observados no terço inferior para argila e areia no horizonte A com 52m e 32m, respectivamente, e no horizonte C1 com 36 m. Segundo Vieira (2000), o alcance (a) indica a distância limite entre pontos correlacionados entre si. Pontos coletados com distância maiores que o alcance são independentes e, para sua análise, pode-se utilizar a estatística clássica. O maior alcance no terço inferior pode estar relacionado com a menor variabilidade dos atributos do solo, neste caso, em estudos futuros, a coleta de solo pode ser realizada, com distância entre os pontos dentro da distância encontrada neste estudo, seja em amostragem aleatória simples ou em malha regular.

3.1.2. Krigagem

Pela análise dos mapas de krigagem, observa-se maiores valores de argila, silte e estoque de carbono na parte superior da topossequência, enquanto o maior conteúdo de areia está localizado no terço inferior, indicados pelas cores escuras (**Figura 12, 13, 14 e 15**). Em todas os horizontes as manchas escuras do estoque de carbono seguem a mesma tendência da argila e do silte, sendo inversamente proporcional as manchas escuras da areia total.

Já o mapa de serapilheira indica maior quantidade pela mancha escura no terço inferior (**Figura 11**). Embora o estoque de carbono seja maior no ombro e tenha sido observado em campo árvores maiores com copas mais densas no ombro, a serapilheira pode ter sido transportada para o terço médio pelo vento no momento de abscisão das folhas.

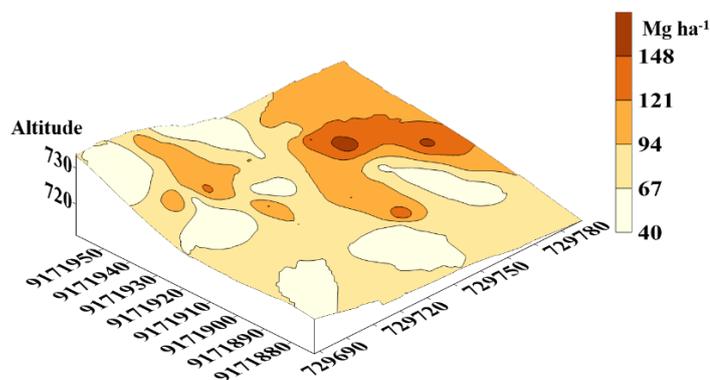


Figura 11. Mapa de krigagem de serapilheira em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano.

O horizonte A é único horizonte estudado que segue a topossequência do ombro ao terço inferior (**Figura 12**). Este possui maior conteúdo de carbono orgânico estocado, embora seja o menos espesso das três posições, isso é explicado porque a superfície do solo tem maior deposição de material orgânico como raízes, serapilheira e restos de animais.

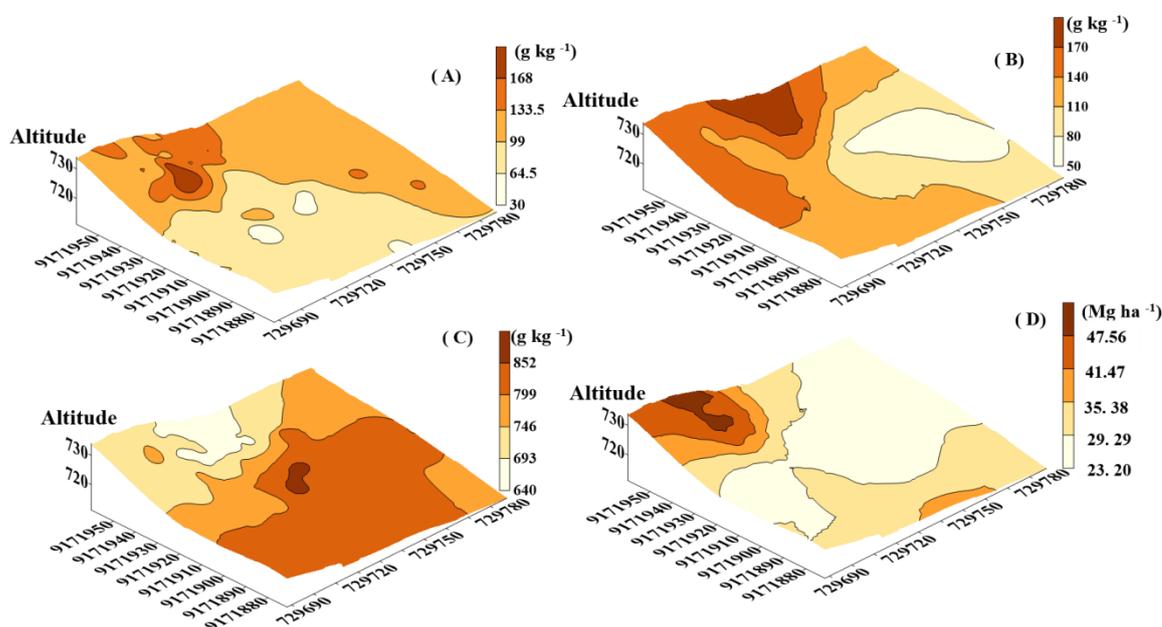


Figura 12. Mapas de krigagem do horizonte A em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) AT; (D) Estoque de Carbono.

Os mapas do horizonte C1 compreendem apenas o terço médio e o terço inferior, uma vez que o horizonte A do ombro é seguido de Cr (**Figura 13**). O maior conteúdo de argila, silte e carbono estocado no solo do horizonte C1 estão localizados na parte superior da mesma forma horizonte A. Por outro lado, a mancha escura que representa a areia total aumenta suavemente no terço inferior.

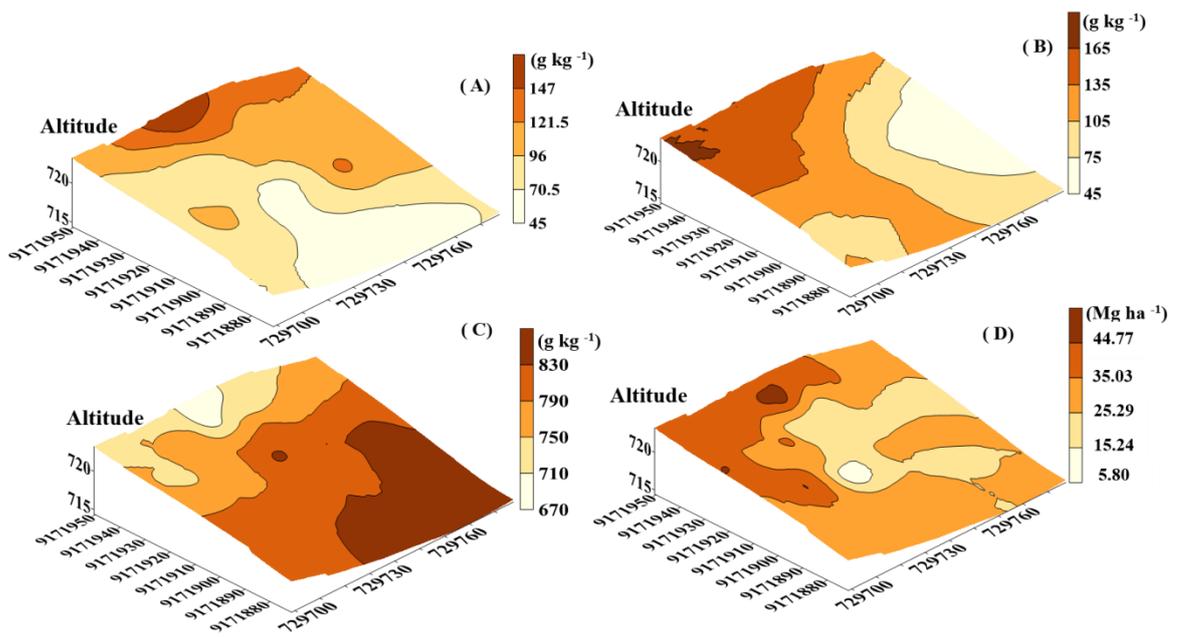


Figura 13. Mapas de krigagem do horizonte C1 em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) AT; (D) Estoque de Carbono.

Assim como os horizontes A e C1, no horizonte Cr a maior quantidade de argila está localizada na parte superior do mapa cobrindo a posição de ombro, porém, em uma possível sobreposição de mapas de argila com estoque de carbono, as manchas escuras não seriam totalmente proporcionais. Neste horizonte a mancha escura do estoque de carbono está semelhante a mancha escura do silte (**Figura 14**).

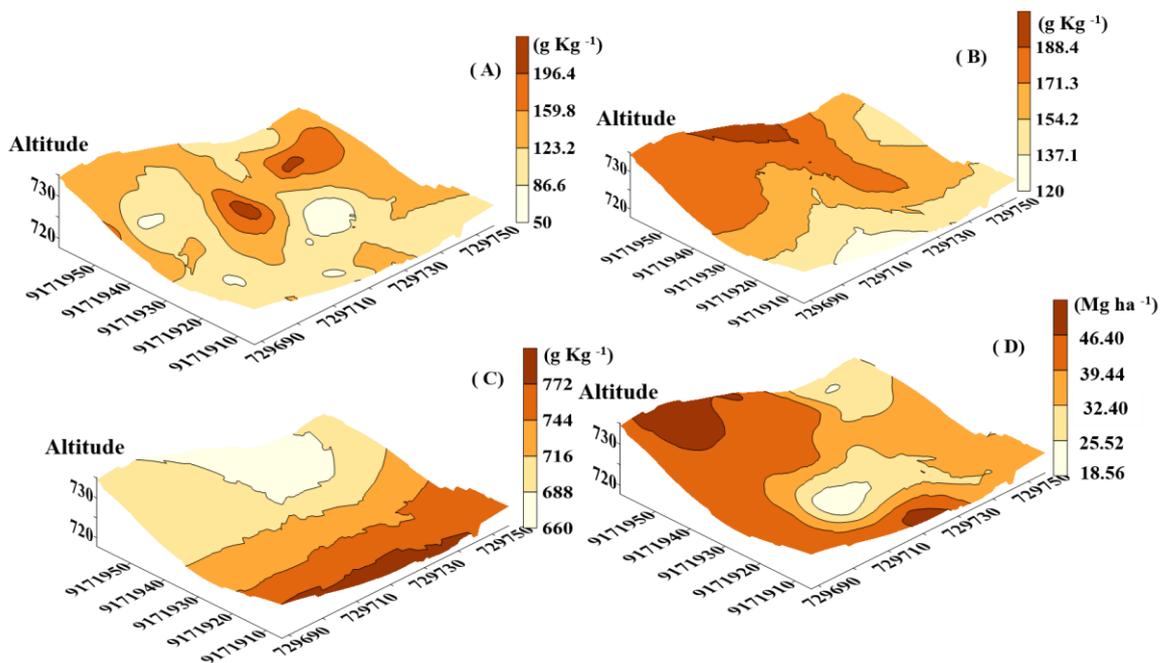


Figura 14. Mapas de krigagem do horizonte Cr em Neossolos do Cariri paraibano. (A) Argila; (B) Silte; (C) Areia Total; (D) Estoque de Carbono.

A alta variabilidade espacial no horizonte Cr pode ser explicada pela dinâmica de deposição de materiais no terço médio, diferença de profundidade do Cr do ombro para o Cr do terço médio, variação dos fluxos de água na topossequência e tamanho das partículas.

Já no horizonte C2 (**Figura 15**), fica evidente que mesmo sendo em apenas uma posição do relevo (terço inferior) os atributos do solo variam no espaço observado pela mudança de cores das manchas de localização, embora nesta posição tenha se encontrado menor variabilidade espacial (**Tabela 3**) de acordo com classificação de Cambardela et al. (1994) com relação as demais posições do relevo.

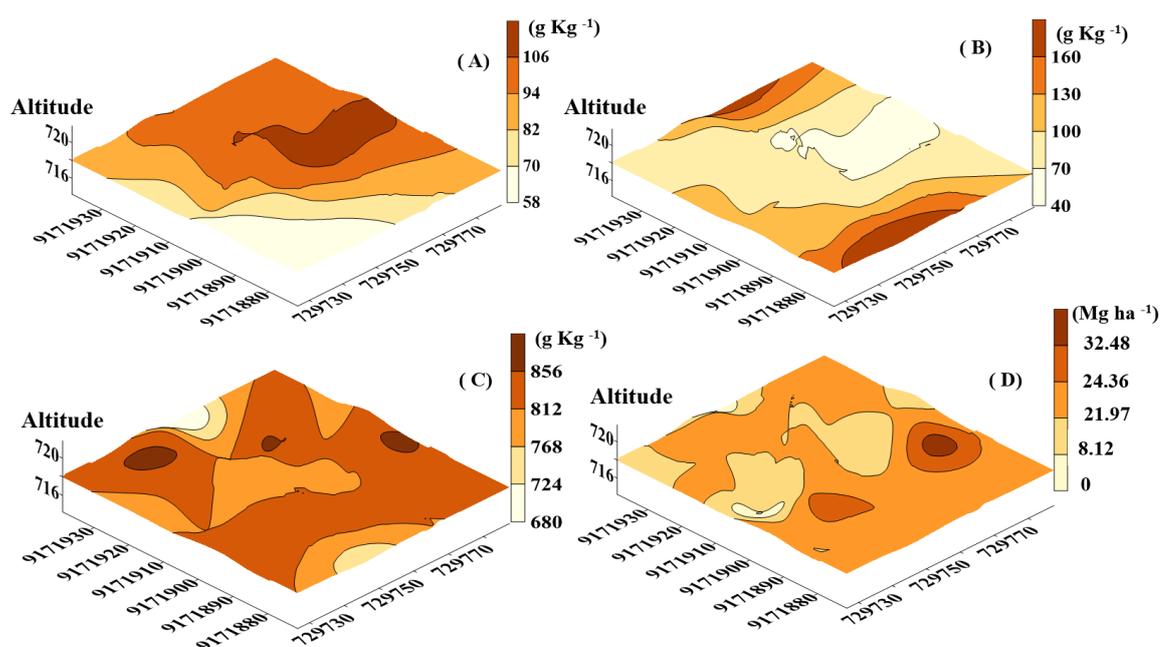


Figura 15. Mapas de krigagem do horizonte C2 em Neossolo do Cariri paraibano. (A) Argila ; (B) Silte; (C) AT ; (D) Estoque de Carbono.

Essa variabilidade mesmo em curto espaço pode ser justificada pela deposição de material eluvial de forma irregular, trazido das posições do relevo que estão em maior altitude (ombro e terço médio), pela deposição de material sedimentar trazido pelo rio da base da topossequência.

3.2. Variação sazonal

A influência da sazonalidade ficou nítida pela variabilidade dos valores médios dos atributos químicos do solo em função dos horizontes, das posições de relevo e em relação ao tempo (**Tabela 4**). Observa-se uma maior concentração de elementos como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} no horizonte A de todas as posições de relevo, reduzindo a mediada que se distancia da superfície no perfil e do ombro para o Terço Inferior na Topossequência.

Tabela 4. Atributos químicos de Neossolos em topossequência nos dois períodos seco e chuvoso, em topossequência de Neossolos no Cariri paraibano

CS	H	Prof.	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	H+Al	CTC	V	COT	EC
Período seco														
RL	A	0-16	6,5	25,53	0,44	0,06	9,75	2,79	13,04	1,6	14,64	89	36,89	75,5
	Cr	16-48	6,4	22,54	0,28	0,06	7,39	2,17	9,90	1,23	11,13	89	15,93	74,7
RR1	A	0-10	6,5	20,72	0,24	0,04	9,54	2,4	12,22	1,39	13,61	90	28,50	39,9
	C1	0-55	6,2	18,16	0,26	0,11	5,2	1,32	6,89	1,92	8,81	78	10,73	73,4
RR2	Cr	55-110	6,2	13,98	0,19	0,18	4,96	1,26	6,59	0,96	7,55	87	9,89	74,4
	A	0-18	6,4	17,04	0,29	0,04	9,11	2,02	11,46	1,69	13,15	87	30,86	73,9
	C1	18-80	6,2	16,62	0,25	0,07	3,97	0,78	5,07	0,56	5,63	90	9,39	90,8
	C2	80-130	6,5	12,59	0,16	0,11	3,29	0,71	4,27	0,6	4,87	88	7,04	54,6
Período Chuvoso														
RL	A	0-16	5,8	24,75	0,13	0,18	8,88	2,4	11,59	1,06	12,65	92	31,02	74,9
	Cr	16-48	6,2	26,7	0,39	0,24	5,65	1,85	8,13	0,95	9,08	90	11,4	53,3
RR1	A	0-10	6,7	21,19	0,67	0,1	7,04	1,91	9,72	1,14	10,86	90	17,27	24,2
	C1	0-55	6,9	12,43	0,2	0,13	3,89	1,45	5,67	1,17	6,84	83	7,71	52,8
RR2	Cr	55-110	6,0	13,19	0,17	0,23	5,25	1,3	6,95	0,88	7,83	89	7,55	63,5
	A	0-18	6,4	20,43	0,48	0,07	7,6	1,43	9,58	1,38	10,96	87	20,79	49,8
	C1	18-80	6,3	12,2	0,18	0,07	2,81	0,78	3,84	0,63	4,47	86	5,87	56,8
	C2	80-130	6,0	12,77	0,15	0,12	2,82	0,94	4,03	0,42	4,45	91	5,53	42,9

CS = classe de solo; RL = Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário; H= horizonte; Prof.= profundidade; SB: Soma de Bases; CTC = capacidade de troca de cátions; COT = carbono orgânico total; EC = estoque de carbono.

A variação dos atributos na topossequência reduzindo à medida que diminui a altitude pode estar relacionado a maior retenção de umidade no ombro, que favorece a liberação íons adsorvidos para solução do solo, tornando-os mais disponíveis. Diferente destes resultados, Pinheiro Junior et al. (2018) em investigação sobre a influência da topografia em atributos químicos no semiárido brasileiro, observaram maior conteúdo de Mg^{2+} e K^+ na posição de terço inferior, porém no referido trabalho este seguimento da paisagem era o mais úmido.

Os resultados após análise pelo teste T pareado mostra diferença significativa dos atributos químicos entre os dois períodos. Com exceção do P e K^+ , todos os outros apresentaram diferença significativa, evidenciando desta maneira o efeito sazonal já que o principal fator limitante para dinâmica de nutrientes na Caatinga é a água (**Tabela 5**). O pH do solo não foi submetido ao teste T por ser apresentado em escala logarítmica, porém ele é o atributo fundamental para compreensão dos demais, sobretudo para os nutrientes básicos.

Tabela 5. Teste T pareado dos atributos químicos de Neossolos em topossequência nos dois períodos de estudo (seco e chuvoso)

Atributos	Período		T
	Seco	Chuvoso	
pH	6,37	6,28	---
P ($g\ kg^{-1}$)	18,39	17,95	ns
K^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$)	0,26	0,29	ns
Na^+ ($cmol_c\ kg^{-1}$)	0,08	0,14	***
Ca^{2+} ($cmol_c\ kg^{-1}$)	6,65	5,49	***
Mg^{2+} ($cmol_c\ kg^{-1}$)	1,68	1,5	*
SB ($cmol_c\ kg^{-1}$)	8,68	7,43	***
H + Al ($cmol_c\ kg^{-1}$)	1,24	0,95	**
CTC ($cmol_c\ kg^{-1}$)	9,92	8,39	***
V (%)	87,27	88,27	***
COT ($g\ kg^{-1}$)	18,65	13,39	***
EC ($Mg\ ha^{-1}$)	69,65	52,25	***

COT: carbono orgânico total; EC: estoque de Carbono; T: teste T pareado (Período seco x Período chuvoso);
*: Significativo a 5% de probabilidade; **: significativo a 1% de probabilidade; ***: Significativo a 0,1% de probabilidade.

No Cariri paraibano a variação sazonal das variáveis químicas do solo é afetada por mudanças no conteúdo de água, uma vez que alguns elementos químicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} podem ser lixiviados, e ou absorvidos pelas plantas pela maior demanda no período chuvoso. Observa-se que os variáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentam valores maiores no período

seco justificando a alta soma de bases, CTC, mesmo o elemento sódio Na^+ em menor quantidade que no período úmido. Partindo da hipótese de que em regiões de terras secas a evapotranspiração é maior que a precipitação, isso favorece acúmulo de sais no solo no período seco, com entrada de água no sistema por chuvas concentradas, nutrientes como Ca^{2+} , Mg^{2+} tendem a ser lixiviados, além disso, são absorvidos pelas plantas que intensificam absorção de nutrientes para produção de biomassa no período chuvoso. No período úmido a redução da CTC pode estar relacionada ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} , os quais reduziram 18 % e 11%, respectivamente, isso pode estar relacionado a maior demanda das plantas por estes nutrientes após entrada de água no sistema que facilitou sua disponibilidade. De acordo com Pinheiro Junior et al. (2018), a dinâmica de nutrientes no solo em regiões semiáridas é governada pela dinâmica de absorção pelas plantas. Resultados semelhantes foram encontrados por Martins et al. (2010) em estudo de variação sazonal de atributos químicos do solo no semiárido.

Por outro lado, o elemento Na^+ tem alta mobilidade no perfil, o que pode justificar o acúmulo no período chuvoso por capilaridade, uma vez que no Cariri a evapotranspiração é maior que a precipitação. Além disso, embora assimilado pelas plantas, este é absorvido em menor quantidade, o que pode contribuir para acumulação na superfície. Resultados semelhantes foram encontrado por Pinheiro Junior et al. (2018), em topossequência no semiárido.

A variação do Carbono Orgânico Total e conseqüentemente do estoque de carbono com redução no período chuvoso, é justificado pelo aumento da atividade dos organismos do solo, que com entrada de água no sistema potencializa a decomposição do carbono orgânico do solo, evidenciada pelo pico de efluxo de CO_2 nos meses de fevereiro e março de 2018.

3.3. Efluxo de CO_2

A temperatura do solo se manteve constante em aproximadamente 24°C durante os sete meses de avaliação do efluxo de CO_2 , em todas as posições de relevo. A umidade do solo foi menor no mês de novembro com $0,01 \text{ g g}^{-1}$ em todas as posições de relevo com leve aumento em dezembro, e pico em abril seguindo a distribuição das chuvas no Cariri da Paraíba. Os valores de efluxo de CO_2 mais baixos foram observados no período mais seco, variando de novembro a fevereiro, com pico no mês de março, apresentando 91,66; 123,11 e $102,24 \text{ mg CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ nas posições ombro, terço médio no terço inferior, respectivamente, e decréscimo em abril (**Tabela 6**).

Tabela 6. Parâmetros do solo avaliados durante 7 meses em topossequência de Neossolos do Cariri Paraibano

Parâmetros	Meses							EP
	nov	dez	jan	fev	mar	Abr	mai	
Posição	Neossolo Litólico Eutrófico fragmentário - Ombro							
T° C	24,50	24,60	24,60	24,80	24,90	24,80	24,70	0,05
Um. g g ⁻¹	0,01	0,06	0,01	0,03	0,10	0,13	0,09	0,17
ECO ₂ (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	5,00	23,83	46,82	89,26	91,66	21,15	33,84	12,00
Posição	Neossolo Regolítico Eutrófico típico - Terço Médio							
T (°C)	24,50	24,60	24,60	24,90	24,80	24,90	24,80	0,06
Um. (g g ⁻¹)	0,01	0,06	0,02	0,03	0,10	0,14	0,11	0,01
ECO ₂ (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	6,00	25,82	78,12	90,96	123,11	19,74	14,1	17,27
Posição	Neossolo Regolítico Psamítico típico - Terço inferior							
T° C	24,40	24,4	24,40	24,90	24,90	24,90	24,70	0,09
Um. g g ⁻¹	0,01	0,05	0,01	0,01	0,03	0,10	0,05	0,01
ECO ₂ (mg CO ₂ m ⁻² h ⁻¹)	4,44	32,71	52,74	65,85	102,24	39,48	36,66	11,00

T: temperatura; ECO₂: Efluxo de CO₂; Um: umidade gravimétrica; EP: erro padrão.

Em climas semiáridos secos e frio a temperatura é o principal fator determinante da atividade biológica na decomposição da matéria orgânica do solo (Burns et al., 2013; Baldrian et al., 2013; Crowther et al., 2015). Por outro lado, no semiárido brasileiro seco e quente, no Cariri paraibano, a variação sazonal dos pulsos de atividade biológica poder estar relacionado com a umidade do solo, uma vez que a temperatura do solo se manteve constante.

A umidade do solo influenciou no efluxo de CO₂ ao longo do tempo em toda topossequência até o mês de maio, pois, as maiores emissões de CO₂ foram observadas nos meses de chuvas torrenciais da região. Em investigação sobre o ciclo do carbono, em região semiárida da china, Jia et al. (2013), observaram que ao permitirem a entrada de água no solo aumentou significativamente a emissão de CO₂, e de acordo com Ribeiro et al. (2016), este aumento da umidade no solo potencializa a difusão de oxigênio no solo, além de ativar outro ciclos biogeoquímicos e aumentar atividade das raízes. Em região de semiárido efluxo de CO₂ é dependente da água, por nesses locais o período de estiagem ser longo e a entrada de água no sistema revitalizar atividades raízes e comunidades microbianas gerando picos de liberação de dióxido de carbono (Wei et al., 2016), corroborando com dados encontrados no presente estudo, no Cariri paraibano.

As diferentes posições do relevo também influenciaram na dinâmica de saída de CO₂, embora não tenha sido aplicado teste de comparação de médias por N (número de

amostras) ser menor que 24 para observar a significância. Na posição de ombro e terço médio tem-se árvores maiores e capas mais densas, conseqüentemente maior conteúdo de raiz e atividade microbiana o que justifica o aumento da liberação do CO₂ (**Figura 16**).

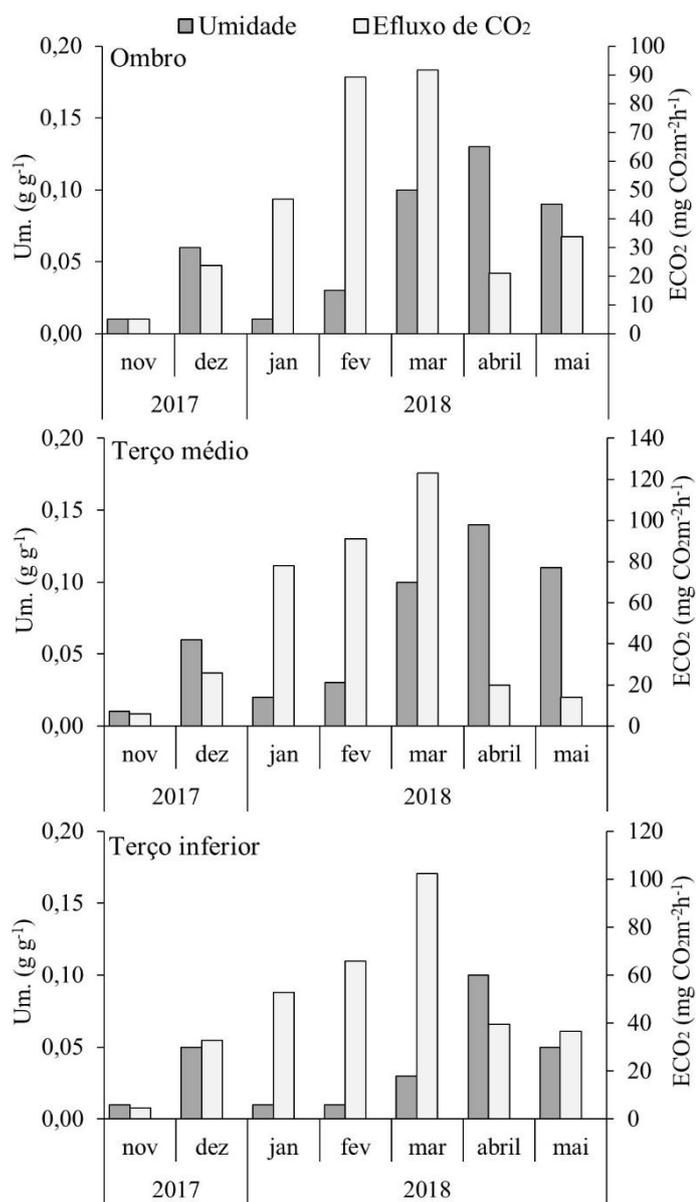


Figura 16. Efluxo de CO₂ e umidade gravimétrica. (A): Ombro; (B): Terço médio; (C): Terço inferior.

Os dados estão de acordo com outras investigações de efluxo de CO₂ em mata nativa de diferentes regiões semiáridas do Brasil (Ferreira et al. 2018; Aquino et al., 2017). Ambos estudos observaram a dependência do efluxo de CO₂ da umidade do solo.

4. CONCLUSÕES

No Cariri paraibano, semiárido brasileiro seco e quente a variação sazonal dos pulsos de atividade biológica é causada pelo aumento da umidade, uma vez que a temperatura do solo se manteve constante

O relevo (posição) foi um dos fatores de formação que mais influenciou na variabilidade espacial do serviço ecossistêmico de estoque de carbono dos Neossolos do Cariri paraibano.

Os Neossolos Litólicos que ocorrem na posição do ombro da vertente têm maior disponibilidade em determinados períodos do ano do recurso água. Esse fato pode ser determinante da distribuição e estrutura da vegetação e conseqüentemente de outros organismos, como a macrofauna nestes sistemas pedológicos formados por Neossolos.

O sistema pedológico estudado não se trata de uma topossequência apenas e sim de uma biotopossequência, onde ocorre variação do relevo (topografia e forma) e também dos organismos (vegetação e macrofauna).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22:711–728pp.

Aquino, D.N.; Andrade, E.M.; Palácio, H.A.Q.; Pereira Júnior, L.R. (2017). Nutrient Cycling And Co2 Emissions In Areas Of Preserved And Thinned Caatinga. *Revista Árvore*. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000300008>

Baldrian, P.; Snajdr, J.; Merhautov V.; Dobi P.; Cajthaml, T. (2013). Responses of the extracellular enzyme activities in hardwood forest to soil temperature and seasonality and the potential effects of climate change. *Soil Biology and Biochemistry* v.56:60-68pp.

Burns, R.G.; Forest, J.L.; Marxsen, J.; Sinsabaugh, R.L.; Stromberger, M.E.; Wallenstein, M.D.; Weintraub, M.N.; Zoppini, A. (2013). Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry*. v.58:216-234pp.

Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A. (1994). Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 58n.5:1501-1511pp.

- Ceddia, M.B.; Villela, A.L. O.; Pinheiro, E.F.M.; Wendroth, O. (2015). Spatial variability of soil carbon stock in the Urucu river basin, Central Amazon-Brazil. *Science of the Total Environment* v.526:58–69pp.
- Crowther, T.W.; Thomas, S.M.; Maynard, D.S.; Baldrian, P.; Covey, K.; Frey, S.D.; Diepen, L.T.A.; Bradford, M.A. (2015). Biotic interactions mediate soil microbial feedbacks to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* v. 112:7033–7038pp
- Dilma, M. de B. M.; Trovão, P. D. Fernandes, L. A. A.; Dantas Neto, J. (2007). Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.11:307–311pp.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2018). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª.ed. Brasília. 590p.
- EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017) Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573p.
- Ferreira, C. R. P. C.; Antonino, A. C. D.; Sampaio, E. V. S. B.; Correia, K. G.; Lima, J. R. S.; Soares, W.A.; Menezes, R.S. C. (2018). Soil CO₂ Efflux Measurements by Alkali Absorption and Infrared Gas Analyzer in the Brazilian Semiarid Region. *Rev Bras Cienc Solo* ;42:e0160563.
- Fissore, C.; Dalzell, B.J.; Berhe, A.A.; Voegtle, M.; Evans, M.; Wu, A. (2017). Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. *Catena* v.149:140–149pp.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. (2004) *Geostatistics for the environmental sciences* (version 7.0 for windows). Michigan: 1 CD.
- Gee, G.W. & Or, D. (2002). Particle size analysis. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C. *Methods of soil analysis. Physical methods*. Madison, Soil Science Society of America. v.4:255-293pp.
- GOLDEN SOFTWARE INC. (1999). (Golden, Estados Unidos). *Surfer for windows: realese 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide*. 619p.

- Gomes, L.C.; Fariaa, R. M.; Souzaa, E.; Velosoa, G, V.; Schaefera, C. E. G. R.; Fernandes Filho, E. I (2019) Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007>
- Grossman, R.B.; Reinsch, T.G. (2002). The solid phase, in: Dane J. H., Topp G. C., (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*, Madison, Soil Science Society of America. 201-414pp.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Ministério do meio Ambiente (BGE/MMA). (2004). Primeira aproximação. Acesso a 01 de fevereiro de 2019 em <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>
- Ivo, W.M.P.M.; Salcedo, I.H. (2012) Soil CO₂ efflux: A method comparison of closed static chambers in a sugarcane field. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* v.36:421-426pp.
- Jenkinson, D.S. & Powlson, D.S. (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology & Biochemistry*, v. 8:167-177pp.
- Jia, X.; Shao, M.; Wei, X. (2013). Soil CO₂ efflux in response to the addition of water and fertilizer in temperate semiarid grassland in northern China. *Plant Soil*. v.373:125–141pp.
- Keys to Soil Taxonomy. (2014). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 372 p.
- Lima, I. B.; Barbosa, M.R.V. (2014). Composição florística da RPPN fazenda almas no Cariri paraibano, Paraíba, Brasil. *Revista nordestina de Biologia*. v.23:49-67pp.
- Liu, W.F. Leung, Y.F. (2018). Spatial variability of saprolitic soil properties and relationship with joint set orientation of parent rock: Insights from cases in Hong Kong. *Engineering Geology* doi:10.1016/j.enggeo.2018.09.015
- Martín, J. A. R.; Fuentes, J. A.; Gonzalo, J.; Gil, C.; Miras, J. J. R.; G.; Corbí, J. M. G.; Boluda, R. (2016). Assessment of the soil organic carbon stock in Spain. *Geoderma* v.264:117–125pp
- Martins, C. M.; Galindo, I.C.L.; Souza, E.R.; Henrique Arruda Poroca, H.A. (2010). Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência Solo*. v.34:1883-1890pp.

- Martins, C.M.; Galindo, I.C.L.; Souza, E.R.; Poroca, H.A. (2010). Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34n.6:1883-1890pp.
- Mingjun, T.; Lixiong, Z.; Wenfa, X.; Zhiling, H.; Zhixiang, S.; Zhaogui, Y.; Pengcheng, W. (2017). Spatial variability of soil organic carbon in Three Gorges Reservoir area, China *Forest Ecology and Management* 599–600 1308–1316pp.
- Pan, Y. X.; Wang, X. P.; Zhang, Y. F.; Hu, R. (2015). Spatio-temporal variability of root zone soil moisture in artificially revegetated and natural ecosystems at an arid desert area, NW China. *Ecological Engineering* v. 9: 100–112pp.
- Pennington, R. T.; Lavin, M., & Oliveira-Filho, A. (2009). Woody Plant Diversity, Evolution, and Ecology in the Tropics: Perspectives from Seasonally Dry Tropical Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* v.40 p.1:437-457pp.
- Pinheiro Junior, C.R.; Pereira, M.G.; Souza, J.O.; Filho, J.B. S. (2018). Can topography affect the restoration of soil properties after deforestation in a semiarid ecosystem? *Journal of Arid Environments*. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.004>
- PMFA- Plano de Manejo da fazenda Almas. (2015). Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Almas. Recife, PE, 87p.
- Powers, J.S.; Corre, M.D.; Twine, T.E.; Veldkamp, E. (2011). Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation. *National Acad Sciences*. v.108:6318–6322pp.
- Ribeiro, K.K; Sousa-Neto, E. R.; Carvalho Junior, J. A.; Lima, J.R. S.; Menezes, R.S. C.; Duarte-Neto, P.J.; Guerra, G. S.; Ometto, B. J.P.H (2016) Land cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.095>
- Salviano, A.A.C.; Vieira, S.R. & Sparovek, G. (1998). Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22:115-122pp.
- Sánchez, A.R.; Vanwalleghem, T.; Peña, A.; Laguna, A.; J.V. Giráldez, J.V. (2016). Controls on soil carbon storage from topography and vegetation in a rocky, semi-arid landscapes *Geoderma*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.013>

Santos, E.J.; Ferreira, C.A.; Silva Jr., J.M.F. (2002). (Org.). Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba. Recife: CPRM, 142p.

SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT® 2016 University Edition, User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Schulz, K.; Voigt, K.; Beusch, C.; Cortez, J. S. A.; Kowarik, I.; Walz, A.; Cierjacks, A. (2016). Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *Forest Ecology and Management*. v.36n.7:62–70pp.

Schulz, K.; Voigt, k.; Beusch, C.; Cortez, J.S.A.; Kowarik, I.; Walz, A.; Arne Cierjacks, A. (2016). Grazing deteriorates the soil carbon stocks of Caatinga forest ecosystems in Brazil. *Forest Ecology and Management* v.367: 62–70pp.

SILVA, S. Y. A. M. (2018). Regime hídrico e regime térmico de Neossolos do Cariri paraibano. Areia-PB: UFPB, 2018 (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). 85 p.

Sousa, F.R.; Barbosa, M.P.; Terceiro Neto, C.P.C.; Moraes Neto, J.M.; Sousa Junior, S. P. (2007). Estudo da degradação das terras do município de Boa Vista-Paraíba. *Engenharia Ambiental*, v.4: 005-013pp.

Topp G.C. (2002). Water Content In: Dane J. H., (EDS.), *Methods of soil analysis. Part 4. Physical methods*, madison, soil science society of américa. 688-690pp.

Veldkamp, E. (1994). Organic carbono turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 58:175-180pp.

Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, P.F.; Alvarez, V.H.; Schaefer, C.E.G.R. (2000). *Tópicos em ciência do solo*, Viçosa: SBCS, v.1:1-54pp.

Wadoux, A.M.J.C.; Brusby, D. J.; Heuvelink, G.B.M. (2018). Accounting for non-stationary variance in geostatistical mapping of soil Properties. *Geoderma* doi-<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.010>.

Walkley, A. & Black, I.A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci*. v.37:29-38pp.

Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). Applications of soil physics. New York: Academic, cap.2, 319-344pp.

Wei, X.;, Zhang, Y.; Jian Liu, J.; Gao, H.; Fan, J.; Xiaoxu Jia, X .; Jimin Cheng¹, Shao, M.; Zhang, X. (2016). Response of soil CO₂ efflux to precipitation manipulation in a semiarid grassland. doi: 10.1016/j.jes.2016.01.008.

CAPÍTULO II

RESUMO

Alves, M. A. B. **Comunidade de macroartrópodes em uma topossequência de Neossolos no Cariri paraibano.** Areia-PB: UFPB, fevereiro de 2019. p. 50-66. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Raphael Moreira Beirigo.

A caracterização de bioindicadores de atributos edáficos da região de terras secas do Brasil é importante para o entendimento das variações existentes entre a produção de serrapilheira, estoques de carbono e a composição da comunidade de macroartrópodes edáficos nas diferentes posições do relevo desta região. Objetivou-se avaliar a ocorrência de macroartrópodes edáficos nas diferentes posições de relevo de Neossolos da região do Cariri, Paraíba, Brasil. Foram selecionadas três posições de relevo: ombro, terço médio e terço inferior. Foram avaliados os atributos químicos do solo e a produção de serrapilheira. Para determinação da comunidade de macroartrópodes foram instaladas armadilhas do tipo Provid nas três posições do relevo. O ombro apresentou elevados teores de Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} e P disponível; o terço alto valores de temperatura e umidade do solo; e o terço inferior maior porosidade total. OS grupos taxonômicos indicadores de relevo com alta fertilidade do solo e produção de serrapilheira foram Diplopoda e Blattodea; enquanto que Hymenoptera, Lepidoptera, larva de Lepidoptera e Diptera foram indicadores de relevo com baixa fertilidade e produção de serrapilheira. Os Neossolos do Cariri apresentam alta diversidade de macroartrópodes edáficos que são influenciados pelo relevo e que podem ser utilizados como indicadores dos atributos edáficos com eficiência.

Palavras-chave: Macrofauna edáfica, Terras secas, Caatinga, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico.

ABSTRACT

Alves, M. A. B. **Community of macroarthropods in a toposequence of Neosols in Cariri Paraíba**. Areia-PB: UFPB, February 2019. p. 50-66. (Master's Dissertation in Soil Science). Graduate Program in Soil Science. Advisor: Raphael Moreira Beirigo.

The characterization of bioindicators to edaphic attributes of Brazilian dry lands is important to understanding the variation among litter deposition, soil organic carbon content and macroarthropod community composition from slope positions of this region. Our aim here was to assess the occurrence of soil macroarthropods in different slope positions of Torriorthents from Cariri, Paraíba, Brazil. Three slope positions were selected as studied environments: shoulder, backslope and footslope. We evaluated the soil chemical attributes and litter production. To assess the macroarthropod community, we used Provid traps into the three studied environments. We found the highest values of exchangeable Ca, K, Mg and available P in the shoulder position; while the back slope presented high values of both soil temperature and humidity; for footslope, we found the highest values of soil porosity. We found as bioindicators of high soil fertility and litter production the taxonomic group of Diplopoda and Blattodea; whereas Hymenoptera, Lepidoptera, Larvae of Lepidoptera and Diptera were bioindicators of low soil fertility and litter production. We found high soil macroarthropod diversity in Torriorthents from Cariri that are influenced by slope position and could be used as bioindicators efficiently to predict soil attributes changes.

Keywords: Soil macrofauna, Dry lands, Caatinga, Soil Biology, Lithic Torriorthents, Typic Torriorthents.

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga é um bioma tipicamente brasileiro onde estão localizadas regiões áridas e semiáridas denominadas de terras secas (Huang *et al.* 2017), cujas plantas são tolerantes as condições de secas prolongadas e altas temperaturas (Santos *et al.* 2011) e que apresentam relevo com grandes variações em função da paisagem (Correa Neto *et al.* 2018). Muitos estudos têm caracterizado a comunidade de plantas e a variabilidade dos solos da Caatinga (Ferreira *et al.* 2018; Araújo Filho *et al.* 2017; Lima e Barbosa 2014; Bento *et al.* 2016); no entanto, estudos nas regiões denominadas de terras secas envolvendo a caracterização da comunidade de macroartrópodes edáficos em função das formas de relevo e a determinação de grupos taxonômicos indicadores de atributos do solo são raros e escassos.

Dentro deste contexto, este estudo baseou-se nas seguintes hipóteses: a) a posição no relevo podem influenciar a diversidade da comunidade de macroartrópodes edáficos devido o relevo controlar variações térmicas, hídricas e a comunidade vegetal; b) posições do relevo que apresentem alta produção de serapilheira também apresentarão alta diversidade de macroartrópodes edáficos com a presença de grupos taxonômicos indicadores.

De acordo com os estudos desenvolvidos por Chagas *et al.* (2013), espera-se encontrar variações na composição da comunidade de macroartrópodes edáficos em função de diferenças relacionadas a radiação solar, escoamento superficial, fertilidade do solo, evaporação, regime de umidade do solo, tipo de vegetação e deposição de serrapilheira. Portanto, o relevo pode promover alterações na comunidade de macroartrópodes edáficos do solo e, conseqüentemente, pode interferir na dinâmica da ciclagem de nutrientes e decomposição de serapilheira, assim como descrito por Correa-Neto *et al.* (2018).

De acordo com Souza *et al.* (2015) e Brussaard *et al.* (2007), a alta produção e deposição de material orgânico vegetal no solo pode favorecer grupos taxonômicos específicos de macroartrópodes devido à serapilheira apresentar as funções de servir como refúgio e alimento para este grupo de organismos edáficos, sendo indicadores destes ambientes os grupos taxonômicos Blattodea, Coleoptera, Chilopoda e Diplopoda.

Dessa forma, a caracterização da comunidade de macroartrópodes e grupos taxonômicos indicadores de atributos edáficos de regiões de terras secas, como o Cariri paraibano, que é a região mais seca da Caatinga, é importante para o entendimento das

variações existentes entre a produção de serapilheira, teores de carbono orgânico e diversidade vegetal e suas respectivas relações com o relevo, diversidade e riqueza de macroartrópodes edáficos. Estudos envolvendo as relações de abundância, frequência e biomassas de organismos edáficos com o relevo de terras secas ainda estão pouco difundidos na literatura. Investigações desta natureza são de grande relevância científica, pois os organismos edáficos indicam sustentabilidade ecossistêmica.

Diante disso, objetivou-se avaliar a distribuição e ocorrência de grupos taxonômicos indicadores de macroartrópodes edáficos nas diferentes posições de relevo de Neossolos do Cariri Paraibano. Para tal, foi estabelecido um experimento em condições de campo em Neossolos, com abertura de trincheiras para caracterização morfológica do solo e de atributos físicos e químicos, bem como peso do material do O. Já a coleta e identificação de macroartrópodes edáficos seguiu o protocolo descrito pela Tropical Soil Biology (Anderson e Ingram 1989) com a indicação de grupos taxonômicos indicadores através da utilização de análises estatísticas multivariadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área

O experimento foi conduzido na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), Fazenda Almas, localizada entre os municípios de Sumé e São José dos Cordeiros (7°28'45" S e 36°54'18" W), na mesorregião da Borborema, microrregião do Cariri ocidental (**Figura 17**). A área experimental se encontra localizada na região mais seca do Brasil com clima do tipo BSh - semiárido quente segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual em torno de 553 mm e temperatura média anual próximo a 24 °C (Alvares *et al.*, 2013). O relevo varia de ondulado a forte ondulado com ocorrência de serras e a altitude varia entre 580 e 740 m. A composição florística é caracterizada em sua maioria por Savana Estépica (caatinga hiperxerófila), com áreas de floresta caducifolia (floresta seca), com ocorrência das seguintes espécies de plantas: aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul e marmeleiro (*Croton* *ssp.*).

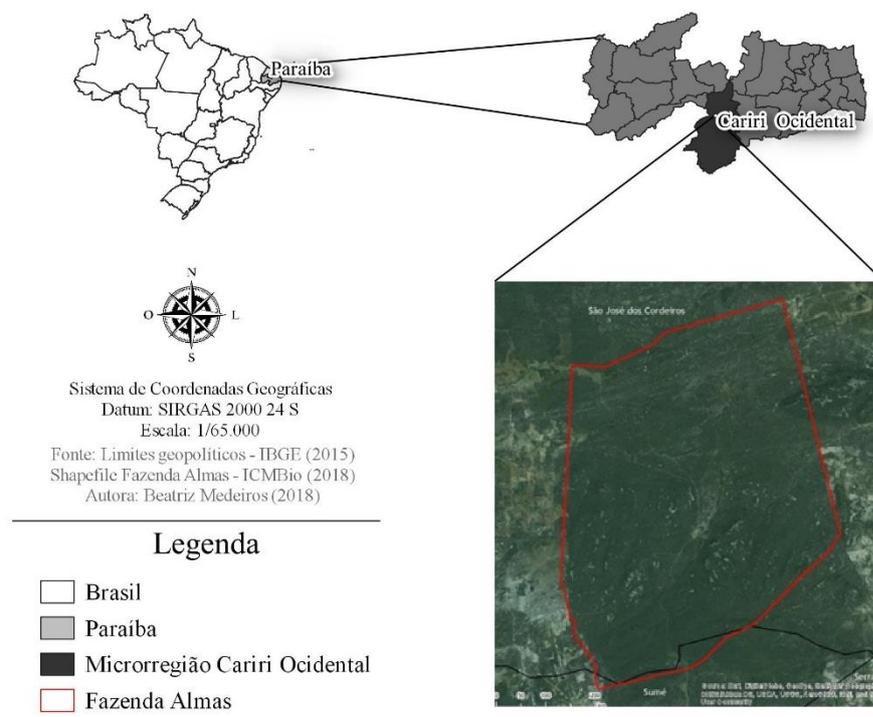


Figura 17. Localização da área experimental, Reserva Particular do Patrimônio Natural, Fazenda Almas, Cariri Ocidental, Paraíba, Brasil.

2.2. Amostragem e análises dos atributos do solo

Foram coletadas amostras em fevereiro de 2018 em uma área experimental de 0,5 ha, em uma topossequência de 105 m de comprimento. Os solos foram classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico. A compartimentação da topossequência foi realizada por meio de verificações de campo, caminhamento livre e correlações solo-paisagem (Schoeneberger *et al.*, 2012). A topossequência foi dividida em três posições distintas: ombro, terço médio e terço inferior que foram definidas como os ambientes de estudo para caracterização dos solos e da comunidade da macrofauna edáfica. Em cada posição da topossequência foram abertas 3 trincheiras (1,0 x 1,0 x 0,5 m; 1,0 x 1,0 x 1,1m; e 1,0 x 1,0 x 1,3 m para o ombro, terço médio e terço inferior) para caracterização e classificação dos solos.

A densidade do solo foi determinada pelo método do cilindro por meio de amostras indeformadas (Grossman e Reinsch 2002). A porosidade total foi estimada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas (Flint e Flint 2002). No que se refere às análises químicas, foram avaliados pH em água (1:2,5), cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , extraídos com solução de KCl 1 mol l^{-1} e determinados por espectrometria de absorção atômica; K^+ , Na^+ trocáveis e P disponível extraídos por solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama e calorimetria, respectivamente) e acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}^{3+}$) (extraída com acetado de cálcio a pH 7 e determinada por titulometria

(Donagema *et al.* 2011)). O nitrogênio total foi determinado pelo método descrito por Okalebo *et al.* (1993). O carbono orgânico total foi quantificado pelo método de combustão por via úmida (Yeomans e Bremner 1988) e o estoque de carbono foi obtido pela quantidade do carbono orgânico total do solo, levando em consideração a densidade do solo e a espessura do perfil.

2.3. Macrofauna edáfica

Para determinação da macrofauna edáfica, foram instaladas armadilhas do tipo Provid nas três posições do relevo (Giracca *et al.* 2003), tendo-se colocado 10 armadilhas em cada posição, totalizando 30 pontos de coleta. As armadilhas em 30cm de profundidade no solo, estas continham 200 mL de uma solução de detergente neutro e sem cheiro a uma concentração de 10 %, e 10 mL de etanol a 70%. As armadilhas permaneceram no campo por um período de dois dias (48 horas) assim como descrito por Anderson e Ingram (1989). Após a coleta, o material foi lavado, os organismos foram quantificados e identificados a nível dos grandes grupos taxonômicos. Na avaliação quantitativa da macrofauna, foi mensurado frequência de ocorrência de organismos e a determinação de índices ecológicos, mediante a diversidade e a dominância. Após quantificar, o material coletado foi colocado para secar e, posteriormente, pesado para determinação da biomassa (Anderson e Ingram 1989). Para comparar as comunidades nas diferentes posições do relevo foram determinados os Índices de Diversidade de Shannon (H) e índice de dominância de Simpson (C) (Begon *et al.* 1996; Simpson 1949).

Foi determinada umidade e temperatura do solo na camada superficial na profundidade das armadilhas no período de coleta dos macroartrópodes. A temperatura no solo em condições de campo (método indireto) foi mensurada, por meio de sensores MPS-2, *Decagon Devices*[®], com capacidade de determinação de temperaturas de - 40°C à 50°C (precisão $\pm 1^\circ\text{C}$). A umidade gravimétrica foi determinada pela relação de solo úmido e solo seco, com utilização de estufa de circulação de ar forçada, de acordo com metodologia descrita por Topp (2002).

A serapilheira foi coletada próximo de cada armadilha Provid utilizando um quadro de madeira com dimensões de 21 x 29,7 cm. Posteriormente o material foi secado em estufa a 65°C e pesado, e o peso convertido para tonelada por hectare (t/ha). Foi gerada uma curva de rarefação para a topossequência utilizando os 30 pontos amostrais, neste caso não foi levado em consideração as três posições do relevo separadamente.

3.4. Estatística

Os dados foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para avaliar a distribuição normal dos dados e a homogeneidade das variâncias. Previamente, à análise estatística os dados foram transformados em $\log_{10}X$. Foi realizada a análise de variância (ANOVA tipo “one-way”) para avaliar a composição da macrofauna edáfica nas diferentes posições do relevo. Quando necessário, as médias dos tratamentos foram comparadas através do teste de Bonferroni a 5%. Para avaliar as relações entre os atributos edáficos e a comunidade de macrofauna edáfica com as posições do relevo foi utilizada a análise de componentes principais (ACP). Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software R (R Core Team 2018).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de amostras e indivíduos identificados foram consistentes entre as três posições do relevo (**Figura 18**). Observa-se, através da curva de rarefação, que para cada posição do relevo dentro da topossequência de 105 m de comprimento a riqueza acumulada máxima de indivíduos de macroartrópodes edáficos nativos do Cariri paraibano, Caatinga, Brasil foi obtida com esforço amostral de 30 pontos de amostragem.

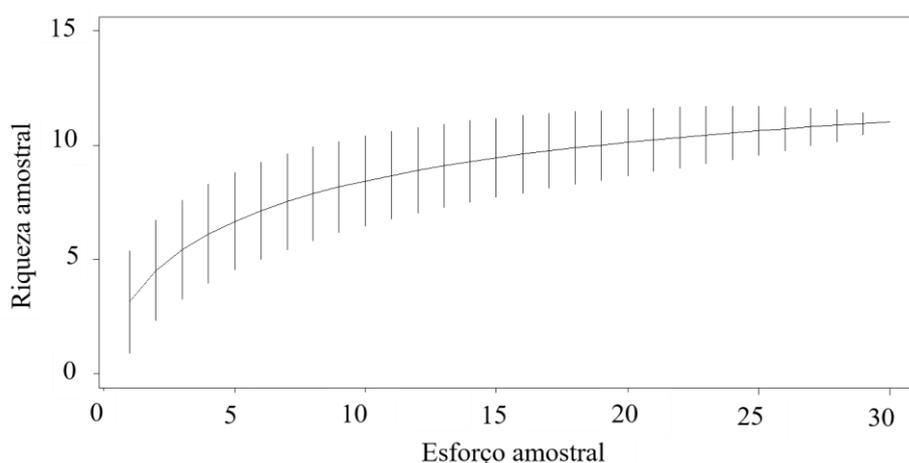


Figura 18. Curva de rarefação da riqueza acumulada de Ordens de macroartrópodes edáficos em função da topossequência de Neossolos da Fazenda Almas, RPPN, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil (barras representam intervalo de confiança a 95%).

Observou-se diferenças significativas entre as posições do relevo sobre a riqueza dos grupos taxonômicos ($F_{2,27} = 10,13$, $p < 0,01$), o índice de diversidade de Shannon ($F_{2,27} = 9,81$, $p < 0,01$), o índice de dominância de Simpson ($F_{2,27} = 8,71$, $p < 0,01$) e o índice de uniformidade de Pielou ($F_{2,27} = 7,19$, $p < 0,05$). Os maiores valores de riqueza de grupos taxonômicos /Famílias foram observados na posição do ombro, enquanto que os

maiores valores dos índices de Shannon, Simpson e Pielou foram observados posição do terço inferior (**Tabela 7**).

Tabela 7. Riqueza de Ordens/Famílias e índices ecológicos (médias \pm desvio padrão, $N = 30$) da comunidade de macroartrópodes edáficos em função das posições de relevo de uma topossequência em solos arenosos, Fazenda Almas, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil

Posição do relevo	Riqueza (S)	Shannon-Weaver (H')	Simpson (C)	Pielou (e)
Ombro	10,0 \pm 0,2 a	1,02 \pm 0,01 b	0,43 \pm 0,01 b	1,77 \pm 0,02 b
Terço médio	9,0 \pm 0,1 b	1,16 \pm 0,02 a	0,46 \pm 0,01 a	1,86 \pm 0,04 a
Terço inferior	9,0 \pm 0,2 b	1,11 \pm 0,06 a	0,47 \pm 0,02 a	1,89 \pm 0,03 a

No total, foram observados 11 grupos taxonômico e nestes identificadas 14 Famílias de macroartrópodes edáficos nas três posições do relevo. Agrupo taxonômico com maior frequência de ocorrência nas três posições do relevo foi Hymenoptera (**Tabela 8**). Considerando as posições do relevo isoladamente foi observado a presença de indivíduos de maior porte (i.e., Ochryoceratidae (Araneae), Blattidae (Blattodea) e Scarabaeidae e Carabidae (Coleoptera) e, ainda, grupo taxonômico dos Diplopoda no ombro e, no terço inferior, indivíduos com menor porte (i.e., Filistatidae (Araneae) e Passalidae (Coleoptera)).

Tabela 8. Frequência de ocorrência (Fo_i , %) das Ordens de macroartrópodes identificados nas três posições do relevo em Neossolos do Cariri paraibano, Fazenda Almas, Paraíba, Brasil (médias, $N = 30$)

Ordem/ Família	Ombro	Terço médio	Terço inferior
Araneae/Ochryoceratidae	4,66	7,48	-
Araneae/Filistatidae	-	-	7,49
Blattodea/Blattidae	0,67	-	-
Coleoptera/Scarabaeidae	1,00	0,92	-
Coleoptera/Carabidae	1,00	-	-
Coleoptera/Passalidae	-	3,74	1,49
Diplopoda/Spirobolida	5,33	2,10	-
Diptera/Desconhecida	10,00	10,30	8,99
Hymenoptera/Formicidae	74,00	71,96	71,46
Lepidoptera (larva)/Pyralidae	1,33	-	0,94
Lepidoptera (adulto)/Noctuidae	-	0,94	1,59

Odonata/Libelluloidea	-	-	1,59
Orthoptera/Grylloidea	1,34	1,86	2,10
Pseudoscorpiones/Chernetidae	0,67	1,86	3,19

$Fo_i = n_i/N$, onde n_i é o número de vezes que um indivíduo de uma Ordem/Família foi observado e N é o número total de indivíduos observados em cada posição do relevo estudada

Observou-se que entre as posições do relevo estudadas a posição do ombro foi dissimilar das demais posições avaliadas. Entre as posições do terço médio e terço inferior não foram observadas diferenças entre a composição da comunidade de macroartrópodes edáficos (**Figura 19**). Os espécimes do grupo taxonômico Blattodea, Diplopoda, Araneae (Ochryoceratidae e Filistatidae), Hymenoptera, Coleoptera (Scarabaeidae, Carabidae e Passalidae), Orthoptera e Lepidoptera contribuíram com a alta variabilidade das amostras. Observou-se também que: a) as Blattodea e Diplopoda foram fortemente relacionadas com a posição ombro; b) as ordens Lepidoptera, e Orthoptera foram relacionadas com a posição do terço médio; c) Odonata, Diptera, Hymenoptera e Coleoptera Pseudoscorpiones, Araneae estiveram relacionadas com a posição do terço inferior; e d) ordens essencialmente predadoras, como Araneae e Pseudoscorpiones, foram inversamente correlacionadas com as ordens com herbívoros, como Orthoptera e Lepidoptera no estágio adulto e em larva (**Figura 19**).

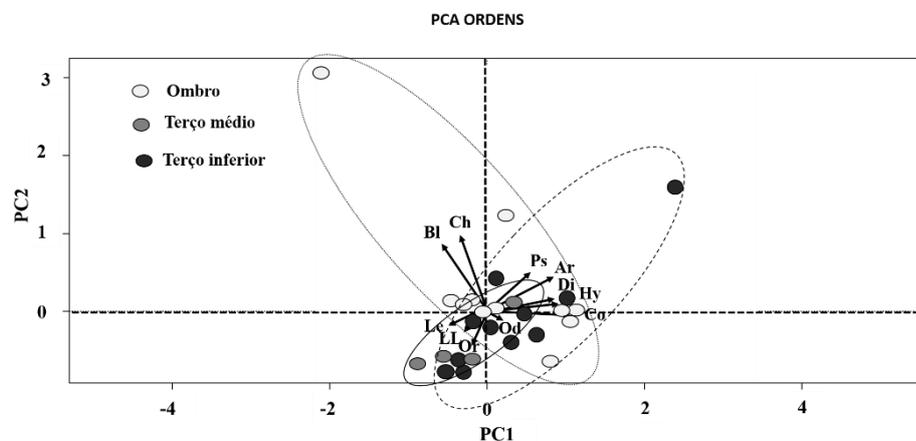


Figura 19. Análise dos componentes principais da comunidade de macroartrópodes edáficos das três posições do relevo em Neossolos do Cariri Paraibano. Bl – Blattodea; Ch – Diplopoda - Spirobolida; Le – Lepidoptera; LL – Larva de Lepidoptera; Or – Orthoptera; Od – Odonata; Co – Coleoptera; Hy – Hymenoptera; Di – Diptera; Ar – Araneae; Ps - Pseudoscorpiones. Pontos brancos, cinzas e escuros representam as amostras do ombro, terço médio e terço inferior, respectivamente. Os dois eixos representam 76,29 % da variação presente nas amostras.

Para os atributos do solo foram observadas diferenças significativas entre as posições do relevo para pH do solo ($F_{2,27} = 8,33$, $p < 0,05$), nitrogênio total ($F_{2,27} = 8,94$, $p < 0,05$), fósforo disponível ($F_{2,27} = 11,21$, $p < 0,01$), potássio trocável ($F_{2,27} = 12,35$, $p < 0,01$), cálcio trocável ($F_{2,27} = 9,01$, $p < 0,01$), magnésio trocável ($F_{2,27} = 8,01$, $p < 0,05$), estoques de carbono ($F_{2,27} = 15,29$, $p < 0,01$), porosidade total ($F_{2,27} = 7,99$, $p < 0,05$) e deposição de serrapilheira ($F_{2,27} = 10,35$, $p < 0,01$). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre as posições do relevo para a temperatura do solo ($F_{2,27} = 4,33$, $p = 0,5965$) e umidade gravimétrica ($F_{2,27} = 4,02$, $p = 0,6133$) (**Tabela 9**). Observou-se que o ombro apresentou os maiores valores para todos os atributos edáficos analisados, exceto a porosidade total. Para esta última os maiores valores foram observados na posição do terço inferior. Os Neossolos estudados na topossequência apresentaram maiores quantidades de carbono estocado na posição de ombro e terço inferior com serrapilheira em maior quantidade no ombro e terço médio (**Tabela 9**).

Tabela 9. Propriedades do solo e serrapilheira (média \pm desvio padrão, $N = 30$) em diferentes posições de relevo de uma topossequência em solos arenosos, Fazenda Almas, Cariri paraibano, Caatinga, Brasil

Atributos	Ombro	Terço Médio	Terço Inferior
pH H ₂ O (1:2,5)	6,53 \pm 0,05 a	6,54 \pm 0,05 a	6,48 \pm 0,15 b
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	2,13 \pm 0,01 a	2,18 \pm 0,01 a	1,19 \pm 0,01 b
P (mg kg ⁻¹)	25,18 \pm 0,03 a	18,65 \pm 0,64 b	17,01 \pm 0,01 b
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,44 \pm 0,01 a	0,24 \pm 0,03 b	0,28 \pm 0,19 b
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	9,69 \pm 0,80 a	9,46 \pm 0,75 b	9,21 \pm 0,30 c
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	2,89 \pm 0,03 a	2,38 \pm 0,19 b	2,06 \pm 0,35 c
Estoque de carbono (t ha ⁻¹)	75,54 \pm 10,74 a	62,57 \pm 3,74 b	72,27 \pm 12,48 a
Porosidade total (cm ³ cm ⁻³)	0,50 \pm 0,03 b	0,51 \pm 0,05 b	0,53 \pm 0,09 a
Temperatura do solo (°C)	24,80 \pm 0,01 a	24,83 \pm 0,19 a	24,81 \pm 0,01 a
Umidade gravimétrica (g g ⁻¹)	0,03 \pm 0,01 a	0,02 \pm 0,01 a	0,01 \pm 0,01 a
Deposição de serrapilheira (t ha ⁻¹)	13,78 \pm 4,25 a	13,06 \pm 2,17 a	11,68 \pm 4,65 b

*Letras semelhantes na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Bonferroni a 5 % de probabilidade.

Observou-se, com a análise dos componentes principais (ACP), três clusters bem definidos segregando os atributos edáficos das diferentes posições do relevo. A ACP também indicou que: (1) as posições no relevo foram dissimilares quanto aos atributos edáficos analisados; (2) a posição do ombro caracterizou-se pelos altos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P; (3) a posição do terço médio caracterizou-se pela temperatura do solo; (4) a posição do terço inferior foi caracterizada pela porosidade total; (5) existiram correlações positivas entre nitrogênio total, umidade do solo, deposição de serrapilheira e pH do solo; e (6) correlação negativa entre a porosidade total e os teores de bases trocáveis (**Figura 20**).

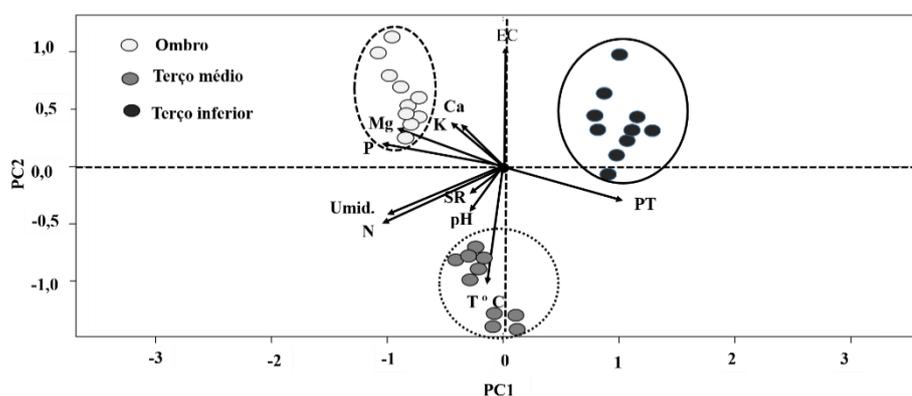


Figura 19. Análise dos componentes principais dos atributos edáficos das três posições do relevo em Neossolos do Cariri Paraibano. EC- Estoque de carbono; PT - Porosidade total; T°C - Temperatura do solo; SR – Deposição de serrapilheira; Umid. - Umidade do solo; P - Fósforo; Mg - Magnésio; K - Potássio; e N - Nitrogênio. Pontos brancos, cinzas e escuros representam as amostras do ombro, terço médio e terço inferior, respectivamente. Os dois eixos representam 85,35 % da variação presente nas amostras.

Os resultados observados neste estudo enfatizam a influência do relevo sobre a composição da comunidade de macroartrópodes edáficos, bem como da importância de considerar grupos taxonômicos específicos (i.e., Diplopoda, Blattodea, Coleoptera Hymenoptera e Araneae,) como bioindicadores para o solo. Também pode-se considerar que existiu uma relação entre a frequência de ocorrência de macroartrópodes e as propriedades do solo (i.e., pH, porosidade total, teores de bases trocáveis, estoque de carbono e deposição de serrapilheira). Neste sentido, as análises de componentes principais foram fundamentais para auxiliar no entendimento de como o relevo influencia a ocorrência de macroartrópodes e quais os grupos taxonômicos influenciados poderiam indicar atributos-chave relacionados à fertilidade do solo e deposição de serrapilheira. De acordo com Souza *et al.* (2015) e Brussaard *et al.* (2007), solos com as seguintes características: i) alta deposição (teor) de serrapilheira; ii) elevados estoques de carbono;

iii) alta reação do solo no ambiente rizosférico; e iv) elevada fertilidade do solo (i.e., altos teores de bases trocáveis) podem favorecer o habitat faunístico através do fornecimento de refúgios e alimentos para os grupo de organismos edáficos, sendo indicadores destes ambientes os grupos taxonômicos Blattodea, Coleoptera, Chilopoda e Diplopoda, neste sentido, Roy *et al.* (2018) ressaltam a importância de considerar os efeitos da diversidade de plantas, pois ambientes com alta diversidade florística apresentam maior deposição de resíduos que podem favorecer os grupos taxonômicos de macroartrópodes que desempenhem as funções de transformadores de serrapilheira (i.e., Diplopoda e Coleoptera), herbivoria (i.e., Orthoptera e Lepidoptera (indivíduo adulto)) e engenheiros do ecossistema (i.e., Blattodea, Coleoptera e Hymenoptera). As hipóteses de que a diversidade da comunidade de macroartrópodes edáficos possa ser afetada pelas posições do relevo e que as posições do relevo com altos valores para a deposição de serrapilheira apresentem alta diversidade de macroartrópodes edáficos foram suportadas pelos resultados de riqueza de grupos, índices ecológicos e frequência de ocorrência de grupos taxonômicos edáficos. Na posição do ombro observou-se que os grupos indicadores (Diplopoda e Blattodea) podem ser relacionadas com os altos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P e elevada diversidade florística (dados não mostrados). Estes resultados estão de acordo com os estudos desenvolvidos por Souza *et al.* (2015), Delgado-Baquerizo *et al.* (2018) e Solen *et al.* (2018) que relataram que solos com altos teores de resíduos vegetais influenciaram positivamente a comunidade de transformadores de serrapilheira e engenheiros de ecossistema.

Com relação a curva de rarefação, resultados semelhantes foram obtidos por Del Vecchio *et al.* (2019) avaliando as relações entre esforço amostral e qualidade de dados em monitoramento de diferentes habitats. O método de coleta e extração da fauna edáfica utilizando transectos associados ao número ideal de armadilhas do tipo Provid são peças-chave para determinar a comunidade máxima de indivíduos da fauna edáfica de um determinado habitat, além de a longo prazo pode servir como ferramentas para estimar possíveis distúrbios, degradações e transformações do habitat casos sejam monitoradas (Janssen *et al.* 2016). Em regiões de semiárido é escassa a literatura que trata de número exato de armadilhas a serem utilizadas para coleta da fauna edáfica para estudos taxonômicos e de grupos funcionais. Em estudo com organismos edáficos em áreas de RPPN, Vasconcellos *et al.* (2010) na Fazenda Almas, no Cariri paraibano, trabalharam com 36 pontos de coleta encontrando valores de riqueza acumulada ($S = 10$) semelhantes aos observados neste estudo. Já Costa *et al.* (2016) utilizaram apenas 10 pontos amostrais na fazenda Tamanduá, também no Cariri paraibano, observaram baixos valores de riqueza

acumulada ($S = 3$) o que indica que o baixo esforço amostral subestimou a comunidade de macroartrópodes edáficos. Por outro lado, Correa-Neto *et al.* (2018), trabalhando com 30 pontos de coleta de organismos edáficos utilizando gabarito metálico em investigação da influência do relevo em comunidades de organismos edáficos na região da Amazônia Brasileira obtiveram riqueza equivalente a 11 grupos taxonômicos distintos. Com base nestes estudos observa-se que o número adequado para caracterização de uma quantidade real de indivíduos de macroartrópodes em regiões de terras secas varia entre 28 e 32 pontos amostrais, do contrário experimentos considerando número de amostras abaixo ou acima destes podem levar a dois erros básicos relacionados a subestimação da riqueza da comunidade de macroartrópodes ou ao esforço amostral desnecessário, respectivamente (Souza *et al.* 2015).

Os maiores índices ecológicos observados na posição do terço inferior podem estar relacionados com os altos valores de porosidade total, estoques de carbono e serrapilheira. Estes resultados corroboram a hipótese de que ambientes com elevados valores para a deposição de serrapilheira podem apresentar efeitos positivos sobre a comunidade de macroartrópodes edáficos. Os altos valores dos índices de Shannon-Weaver, Simpson e de Pielou observados no terço inferior podem também estar correlacionados com a abundância de indivíduos com porte pequeno em comparação aos indivíduos observados nas outras posições do relevo. Moura *et al.* (2015), descrevem que a abundância de macroartrópodes está relacionada com a quantidade de resíduos orgânicos, enquanto que a diversidade deste grupo de organismos edáficos é influenciada pela qualidade dos resíduos orgânicos, o que pode ser suportado pelos altos índices ecológicos observados no terço inferior, posição do relevo que recebe material orgânico e solo carregados de todas as outras posições estudadas. Estes resultados concordam com Nunes *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2015), que relatam no ecossistema solo com altos teores de deposição de serrapilheira e altos teores de estoque de carbono influenciam diretamente os organismos do solo (i.e., Diplopoda, Araneae, Blattodea e Coleoptera).

Em trabalho com organismos edáficos, Cruz *et al.* (2015) em investigação de reservas ambientais em Lagoa Seca, na Paraíba observaram domínios das ordens Hymenoptera (53,04%) e Coleoptera (16,49%) sobre as demais. Segundo Souza *et al.* (2015), estes organismos são mais comuns em ecossistemas terrestres. Estes resultados corroboram os resultados descrito por Vasconcellos *et al.* (2010), que observaram dominância de Hymenoptera, Diptera e Coleoptera sobre os demais insetos estudados no Cariri paraibano.

Os grupos taxonômicos Blattodea e Diplopoda observadas como indicadoras das condições edáficas do Ombro são considerados como transformadores de serapilheira e engenheiros do ecossistema (Souza *et al.* 2015), o que reforça a hipótese de que estes dois grupos são bioindicadores de alto conteúdo de serapilheira e alta fertilidade do solo. Por outro lado, a biomassa tem impacto direto nos processos desempenhados pelos organismos do solo, os maiores geralmente são mais pesados como o grupo taxonômico Diplopoda que possui sistema digestivo maior capaz de degradar mais quantidade de serapilheira e predadores como Araneae (Vukicevich *et al.* 2016).

A posição que estocou mais carbono foi o ombro pois este apresenta maior conteúdo de argila e árvores de porte maior com copas mais densas. Os resultados do estoque de carbono estão de acordo com Liu *et al.* (2018) que correlacionaram estoque de carbono com largura das folhas, por outro lado Sánchez *et al.* (2016), encontraram resultados semelhantes ao correlacionarem estoque de carbono com granulometria. Com relação a deposição de serapilheira, foram encontrados valores altos na topossequência chegando a 13,78 Mg ha⁻¹ na posição do ombro. Em ambientes de Caatinga, a quantidade de serapilheira varia em função de: a) porte das árvores; b) densidade das copas; c) nível de conservação da área; d) relevo; e e) da época de coleta. Neste sentido, Holanda *et al.* (2017) em um estudo no Sertão da Paraíba no município de Pombal encontraram apenas 3,50 Mg ha⁻¹, evidenciando que mesmo em área de ecossistema natural, a conservação de florestas sazonalmente secas da Fazenda Almas promove maior acúmulo deste material na superfície do solo. Por outro lado, Pant *et al.* (2017) e Gomes *et al.* (2019) afirmam que a distribuição da serapilheira está relacionada com a dinâmica de decomposição pelos organismos edáficos e a forma como estes se organizam na paisagem.

5. CONCLUSÕES

Os solos arenosos do Cariri paraibano apresentam uma alta diversidade de macroartrópodes edáficos que possuem sua composição da comunidade influenciada diretamente pelas posições do relevo. Os resultados observados neste estudo também sugerem que grupos taxonômicos específicos (i.e., Diplopoda, Blattodea e Coleoptera) podem ser utilizados como bioindicadores de atributos edáficos (i.e., alta fertilidade, alta deposição de serrapilheira e porosidade total do solo). Este estudo ressalta a importância de considerar as variações existentes na topossequência como reguladoras da comunidade de macroartrópodes, bem como da utilização de grupos-chave desta comunidade como bioindicadores edáficos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M; Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. v.22n. 6: 711–728pp. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Anderson, J.N.; Ingram, J.S.I. (1989). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2nd edition, CAB International, Wallingford, 221 p. <https://dx.doi.org/10.1017/S0014479700024832>
- Araújo Filho, R.N.; Freire, M.B.G.S.; Wilcox, B.P.; West, J.B.; Freire, F.J. & Marques, F.A. (2017). Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. *Forest Ecology and Management* (In Press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.002>
- Begon, M.; Haper, J.L.; Townsed, C.R. (1996). *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd Edition, Oxford: Blackwell Science, 1068 p.
- Bento, D.M.; Ferreira, R.L.; Prous, X.; Souza-Silva, M.; Bellini, B.C. & Vasconcellos A. (2016). Seasonal variations in cave invertebrate communities in the semiarid Caatinga, Brazil. *Journal of Cave and Karst Studies*. v.78n.2:61–71pp. <https://dx.doi.org/10.4311/2015LSC0111>
- Brussaard L.; De Ruiter, P.C.; Brown, G.G. (2007). Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.121n.3:233-244pp. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>
- Chagas, C.S.; Fontana, A.; Carvalho Junior, W.; Caires, S.M. (2013). Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37n.6:1441 – 1453pp. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600002>
- Correa Neto, T.A.; Anjos, L.H.C.; Camara, R.; Pereira1, M.G.; Correia M.E.F.; Jaccoud, C.F.S. (2018). Relação fauna do solo-paisagem em plantio de eucalipto em topossequência. *Floresta*, v. 48n. 2:213-224pp. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v48i2.55041>
- Costa, R.M.C.; Borges, C.H.A.; Amorim, F.S.; Souto, J.S.; Souto, P. C (2016). Abundância de invertebrados do solo em mata ciliar no semiárido da Paraíba. *Gaia Scientia*, v.10n.4: 424-431pp. <http://dx.doi.org/10.21707/gs.v10.n04a33>
- Cruz, M.P.; Cruz, K.R.P.; Souza, J.T.A. & Bezerra, C.V.C. (2015). Caracterização da macrofauna artrópoda em área de Reserva Florestal no município de Lagoa Seca – Paraíba.

Del Vecchio, S.; Fantinato, E.; Silan, G.; Buffa, G. (2019). Trade-offs between sampling effort and data quality in habitat monitoring. *Biodiversity and Conservation*. v28:55-73pp. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1636-5>

Delgado-Baquerizo, M.; Eldridge, D.J.; Maestre, F.T.; Ochoa, V.; Gozalo, B.; Reich, P.B. & Singh, B.K. (2018). Aridity decouples C:N:P stoichiometry across multiple trophic levels in terrestrial ecosystems. *Ecosystems*. vol.21n.3:459-250pp. <https://dx.doi.org/10.1007/s10021-017-0161-9>

Donagema, G. K.; Campos, D. D.; Calderano, S. B.; Teixeira, W. G., & Viana, J. H. M. (2011). *Manual de métodos de análise de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 230p.

Ferreira, C.R.P.C.; Antonio, A.C.D.; Sampaio, E.V.S.B.; Correia, G.K.; Lima, L.R.S.; Soares, W.A. & Menezes, R.S.C. (2018). Soil CO₂ efflux measurements by Alkali absorption and infrared gas analyser in the Brazilian semiarid region. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v42. e0160563

Flint, A.L & Flint, L.E. (2002). Porosity. In: Dane J. H., Topp G. C., (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods, Madison, Soil Science Society of America. 241-254pp.

Giracca, E.M.N.; Antonioli, Z.I.; Eltz, F.L.F.; Benedetti, E.; Lasta, E. Venturini, S.F.; Venturini, E.F. & Benedetti, T. (2003). Levantamento da meso e macrofauna do solo na microbacia do Arroio Lino, Agudo, RS. *Revista Brasileira de Agrociência*. v.9n3:257-261pp.

Gomes, L.C.; Faria, R.M.; Souza, E.; Veloso, G.V.; Schaefer, C.E.G.R.; Fernandes Filho, E.I. (2019). Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.007>.

Grossman, R.B. & Reinsch, T.G. (2002). The solid phase. In: Dane J.H. & Topp G.C. (Eds.) - *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods, Madison, Soil Science Society of America. 201-414pp.

Holanda, A.C.; Feliciano, A.L.P.; Freire, F. J.; Sousa, F. Q.; Freire, S.R.O.; Rocha, A.; Alves, A R. (2017). Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de caatinga. *Ciência Florestal*. v. 27n. 2: 621-633pp. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827747>

- Huang, J.; Li, Y.; Fu, C.; Chen, F.; Fu, Q. A.; Dai, M.; *et al.* (2017). Dryland Climate Change: Recent Progress and Challenges. *Reviews of Geophysics*, v.55n.3:719-778pp. <https://dx.doi.org/10.1002/2116RG000550>
- Janssen, J.; Rodwell, J.; García Criado, M.; Gubbay, S.; Haynes, T.; Nieto, A.; Sanders, N.; *et al.* (2016). *European Red List of Habitats*, European Union, Luxembourg.
- Lima, I.B. & Barbosa, M.R.V. (2014). Composição florística da RPPN Fazenda Almas, no Cariri Paraibano, Paraíba, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*. v. 23 n.1:49-67pp.
- Liu, F.R.; Liu, J.L.; Ren, W.; Liu, L.L. (2018). Land-use change alters patterns of soil biodiversity in arid lands of northwestern China. *Plant Soil*. v.428:371-388pp. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3673-y>
- Moura, E.G.; Aguiar, A.C.F.; Piedade, A.R.; Rousseau, G.X. (2015). Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern amazon. *Applied Soil Ecology*. v.86:91-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.008>
- Nunes, L.A.P.L.A; Araújo, S.F.M.; Pessoa M.C.A.; Sousa, R.S., Silva J.D.C.C. & Matos-Filho, H.A. (2018). Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. *Brazilian Journal of Biology*. v.79, n.1:45-51pp. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.174135>
- Okalebo, J.R., Gathua, K.W., Woome, P.L. (1993) - *Laboratory Methods of Plant and Soil Analysis: A Working Manual*. Technical Bulletin No 1 Soil Science Society East Africa, Nairobi.
- Pant, M.; Girish C.S.; Kumar, N. P. (2017). Macrofauna contributes to organic matter decomposition and soil quality in Himalayan agroecosystems, India. *Applied Soil Ecology*. v.120:20–29pp. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.07.019>
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Roy, S.; Roy, M.M.; Jaiswal, A.K.; Baitha, A. (2018). Soil arthropods in maintaining soil health: Thrust areas for sugarcane production systems. *Sugar Tech*. v.4:376-391pp. <https://doi.org/10.1007/s12355-018-0591-5>
- Sánchez, A.R.; Vanwalleghem, T.; Peña, A.; Laguna, A.; J.V. Giráldez, J.V. (2016). Controls on soil carbon storage from topography and vegetation in a rocky, semi-arid

landscapes.

Geoderma.

v.311n.1:159-166pp.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.013>

Santos, R.S.; Costa, L.C.; Sedyama, G.C.; Leal, B.G.; Oliveira, R.A.; Justino, F.B. (2011). Avaliação da relação seca/produzividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.26:313–321pp. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000200014>

Schoeneberger, P.J.; Wysocki, D.A.; Benham, E.C. & Soil Survey Staff. (2012). *Field book for describing and sampling soils*, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. 297p.

Simpson, E.H. (1949) - Measurement of diversity. *Nature*, v.163:688p.

Solen, L.C.; Nicolas, J.; Xavier, A.S.; Thibaud, D.; Simon, D.; Michel, G.; Johan, O. (2018). Impacts of agricultural practices and individual life characteristics on ecosystem services: a case study on family farmers in the context of an Amazonian Pioneer Front. *Environmental Management*. v.61:772-785pp. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1004-y>

Souza, T.A.F.; Rodrigues, A.F.; Marques, L.F. (2015). Long-term effects of alternative and conventional fertilization on macroarthropod community composition: a field study with wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivated on a Ferralsol. *Organic Agriculture*. v.6:323-330pp. <https://doi.org/10.1007/s13165-015-0138-y>

Topp G.C. (2002). Water Content. In: Dane J. H. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods, Madison, Soil Science Society of America. 688-690pp.

Vasconcellos, A.; Andreazze, R.; Almeida, A.M.; Araujo, A.A.M.; Oliveira, E.S.; Oliveira, U. (2010). Seasonality of insects in the semi-arid Caatinga of northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*. v.54 n.3:471 – 476pp. <https://dx.doi.org/10.1590/S0085-56262010000300019>

Vukicevich, E.; Lowery, T.; Bower, P.; Úrbez-Torres, J.R.; Hart, M. (2016). Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture: A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0385-7>

Yeomans, J.C. & Bremner, J.M. (1988). A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. v.19n.13:1467-1476pp. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>