

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

AMANDA BARBOSA DE ANDRADE MENDES

**INFLUÊNCIA DO MÁRMORE NA FERTILIDADE DO SOLO NO
SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

**RECIFE-PE
2023**

AMANDA BARBOSA DE ANDRADE MENDES

**INFLUÊNCIA DO MÁRMORE NA FERTILIDADE DO SOLO NO
SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal, do Departamento de Ciência Florestal, da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Orientador: Prof. Dr. Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva

Co-orientador: Dr. Rennan Cabral Nascimento

RECIFE-PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M538i Mendes, Amanda Barbosa de Andrade
INFLUÊNCIA DO MÁRMORE NA FERTILIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO / Amanda
Barbosa de Andrade Mendes. - 2023.
29 f. : il.
- Orientador: Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva.
Coorientador: Rennan Cabral Nascimento.
Inclui referências.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em
Engenharia Florestal, Recife, 2023.
1. Classificação do solo. 2. Fertilidade natural. 3. Mineralogia. 4. Química do solo. 5. Rochas metamórficas. . I. Silva,
Ygor Jacques Agra Bezerra da, orient. II. Nascimento, Rennan Cabral, coorient. III. Título

CDD 634.9

INFLUÊNCIA DO MÁRMORE NA FERTILIDADE DO SOLO NO SEMIÁRIDO DE
PERNAMBUCO

por

AMANDA BARBOSA DE ANDRADE MENDES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal Rural de Pernambuco,
campus SEDE, como requisito parcial para a obtenção do título de preencher se Bacharel em
Engenharia Florestal.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Ms. Géssyca Fernanda de Sena Oliveira Mergulhão
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Ms. Luiz Henrique Vieira Lima
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Prof. Dr. Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva
(Universidade Federal Rural de Pernambuco)

Dedico este trabalho à minha bisavó Maria da
Penha Pereira (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para trilhar esse caminho que em muitas ocasiões foi árduo e doloroso. A ansiedade foi a pior inimiga durante toda a graduação, entretanto o Pai Celestial foi muito bondoso comigo e me presenteou com pessoas incríveis que me inspiraram e me ajudaram finalizar essa etapa da minha trajetória profissional, e a elas eu também serei eternamente grata.

Obrigada Dona Maria da Glória e ao senhor Ivanildo Barbosa, meus queridos e amados avós, por todo o cuidado, amor, carinho, proteção e investimento, minha vida só tem sentido porque eu tenho vocês, sou grata por esse privilégio. Amo vocês, hoje e eternamente.

Aos meus pais Rosilene e Adriano Roberto Mendes, eu não teria me tornado a mulher que sou hoje se não fosse o apoio, o esforço, os sacrifícios que tiveram de fazer, a amizade, companheirismo, compreensão, ajuda e tudo que investiram em mim. Em especial a senhora, Mainha, que enfrentou todos os desafios que lhe foram impostos com garra e determinação, me levantou todas as vezes que eu cair, me ensinou a ser forte (assim como a vó Glória te ensinou e como a vó Maria ensinou a ela, vocês são a minha base) para que eu chegasse sempre mais longe. És uma verdadeira leoa, tenho muito orgulho de ser a sua filha. Obrigada por nunca desistir de mim.

A minha irmã Adrilene Vitória por sempre me defender, acreditar e cuidar de mim. Amo muito você.

Agradeço aos meus familiares que direta ou indiretamente fizeram parte desse capítulo da minha história.

Um agradecimento mais do que especial para meu orientador, Prof. Dr. Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva, pelos conselhos, correções, dicas, conversas, apoio, encorajamento, pela paciência e calma, por sempre acreditar em mim e no meu potencial, por sempre está disponível para tirar dúvidas e ensinar. Por não desistir de me orientar nesse trabalho e em tanto outros. Agradeço por me inspirar a ser melhor como pessoa e como profissional, também, me ajudar a não desistir do curso quando eu estava passando por um dos meus piores momentos (o luto). O senhor é um exemplo de profissional a ser seguido. Obrigada! Serei infinitamente grata.

Agradeço a todos os meus amigos e colegas da graduação, Camila Brasil, Cláudio Clementino, Francisco Assis, Giulia Ribeiro, Gustavo Vieira, Laura Mariana, Matheus Dutra, Rayanna Jacques, Thallyta Valentim, Thalyta Brito que me apoiaram, incentivaram e ajudaram

a tornar o caminho, até esse momento, mais leve e um pouco divertido. Sem vocês tudo isso teria sido mais desgastante do que foi. Obrigada meus queridos! Estarão sempre guardados no meu coração.

A família que eu escolhi e também me escolheu, acolheu e me deu força nos momentos difíceis e fez meus dias mais felizes. Ao conjunto infantil (Fábia Moreira, Flávia Gomes, Lavínia Lizandra, Nadja Patrícia – Roberta, Rosicleide Martins, Tatiane Silva, Yasmim Victória e todas as crianças, as que são e as que já foram), agradeço a cada membro desse grupo, por ter cuidado da parte mais importante, meu coração, cada um do seu jeitinho. Serei sempre grata pelos sorrisos, os abraços, os conselhos, orações, por ter confiado em mim, pelos desenhos (esses são as obras primas das crianças) que eu guardo com muito carinho. Amo cada um e jamais esquecerei vocês. Obrigada!

Minha amiga irmã Marina Ximenes, obrigada pelos conselhos, apoio nos momentos mais difíceis. Você não media esforços para me ajudar quando eu precisava e sempre esteve comigo, a distância nunca importou. Serei eternamente grata por sua amizade.

A minha pessoa, minha amiga e cúmplice em muitas aventuras, Lavínia Lizandra, serei eternamente grata por nunca soltar a minha mão, pelo cuidado, afeto, companheirismo, as risadas, as orações e os direcionamentos. Obrigada, minha amiga! Volim te!

A minha amiga Monaliza Silva, agradeço por está presente mesmo estado do outro lado do Brasil nunca me deixou esquecer do carinho e simplicidade que resume a nossa amizade.

Por fim, quero agradecer a pessoa mais importante de todo esse processo, eu. Entrei nessa montanha russa chamada universidade e não sabia se chegaria ao final do percurso, entretanto eu cheguei, superando todo o meu pessimismo. Consegui! Dei o meu melhor que nem sempre pareceu suficiente, porém era o melhor na condição em que eu estava, hoje vejo isso. Li uma vez que o progresso intelectual e o progresso moral raramente marcham juntos, mas em dado tempo, ambos se alcançam atingindo o mesmo nível. A maior verdade! Durante o tempo de graduação, eu deixei de lado algumas convicções, fortaleci valores e construí ideais que levarei para vida, um dele é que nada de excelente se conquista sozinho, como dizia a Clarisse Lispector “quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado com certeza vai mais longe”.

De todas as boas promessas do Senhor à nação
de Israel, nenhuma delas falhou; todas se
cumpriram.

Josué 21:45

RESUMO

O fator material de origem influencia diretamente na fertilidade natural dos solos e nas suas propriedades morfológicas e físicas, por isso, é essencial estudá-lo. O conhecimento da classificação do solo auxilia no desenvolvimento de práticas silviculturais e agrícolas sustentáveis. Contudo, solos derivados de mármores no semiárido de Pernambuco são pouco estudados. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar a influência dessa rocha metamórfica na fertilidade do solo na região semiárida, demonstrando seu efeito nos atributos morfológicos, físicos e químicos. Foram realizadas análises físicas e químicas do solo, visando auxiliar no planejamento do desenvolvimento de práticas silviculturais e agrícolas sustentáveis. O perfil de solo originado de mármore apresentou horizonte diagnóstico B incipiente (Bi), com saturação por bases alta e argila de atividade alta, subjacente ao horizonte A, sendo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico. O solo estudado possui boa drenagem, sendo perceptível na sua cor mais avermelhada. Perfil é pouco profundo, com contato lítico, não rochoso, não pedregoso e não cascalhento. O mármore originou um perfil de solo com pH dentro da faixa considerada adequada para atender a demanda nutricional das principais culturas agrícolas. Entretanto, as concentrações disponíveis de K, P e Mg apresentam-se abaixo do ideal. Os elevados teores trocáveis de Ca são reflexos do seu material de origem, que é um material calcítico. Porém, a alta relação Ca:Mg presente nesse solo pode ocasionar efeito antagônico na absorção de Mg pelas plantas. A capacidade de troca de cátions foi considerada alta, estando presente em maior quantidade no horizonte superficial, em decorrência do acúmulo de matéria orgânica que é um dos principais indicadores de qualidade do solo, influenciando positivamente sua fertilidade. O Cambissolo apresentou potencial agrícola sem impedimentos para o desenvolvimento das raízes das plantas. Portanto, os resultados obtidos demonstram a influência exercida do fator material de origem sobre a fertilidade do solo no semiárido, sendo necessária a realização de estudos mais detalhados para desenvolver novas práticas de manejo que favoreçam a sustentabilidade na agricultura, buscando aumentar a produtividade da região.

Palavras-chave: classificação do solo; fertilidade natural; mineralogia; química do solo; rochas metamórficas.

ABSTRACT

MENDES, Amanda Barbosa de Andrade. **Influence of marble on mineralogy and soil fertility in the semi-arid region of Pernambuco**. 2023. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2023.

The parent material factor directly influences the natural fertility of soils and their morphological and physical properties, so it is essential to study it. Knowledge of soil classification helps in the development of sustainable silvicultural and agricultural practices. However, soils derived from marble in the semi-arid region of Pernambuco are little studied. In this context, the present work aims to evaluate the influence of this metamorphic rock on soil fertility in the semi-arid region, demonstrating its effect on morphological, physical, and chemical attributes. Physical and chemical analyzes of the soil were carried out in order to help plan the development of sustainable silvicultural and agricultural practices. The soil profile originated from marble presented an incipient diagnostic B horizon (Bi), with high base saturation and high activity clay, underlying the A horizon, being classified as Cambisols Haplic Ta eutrophic. The studied soil has good drainage being perceptible in its color. Shallow, with lithic contact, not rocky, not stony, and not gravel. The marble originated a soil profile with a pH within the range considered adequate to meet the nutritional demand of the main agricultural crops. However, the available concentrations of K, P, and Mg are below ideal. The high exchangeable contents of Ca are a reflection of its parent material, which is a calcitic material. However, the high Ca: Mg ratio present in this soil can cause an antagonistic effect on Mg uptake by plants. The cation exchange capacity was considered high, being present in greater quantity on the surface horizon, due to the accumulation of organic matter, which is one of the main indicators of soil quality, positively influencing its fertility. The Cambisol presented agricultural potential without impediments to plant roots. Therefore, the results obtained demonstrate the influence exerted by the source material factor on soil fertility in the semi-arid region, requiring more detailed studies to develop new management practices that favor sustainability in agriculture, seeking to increase productivity in the region.

Keywords: metamorphic rocks; mineralogy; natural fertility; soil chemistry; soil classification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do perfil de solo derivado de mármore no município de Sítio dos Nunes, semiárido de Pernambuco.	15
Figura 2 – Perfil de solo originado de mármore, localizado no Agreste de Pernambuco, semiárido nordestino.	16
Figura 3 – Preparo das amostras de solo originado de mármore para as análises químicas. ...	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização morfológica do perfil de solo originado de mármore.	19
Tabela 2. Caracterização química e granulométrica de solos desenvolvidos de mármore no semiárido de Pernambuco.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FTS – Floresta Tropical Seca

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

TFSA – Terra Fina Seca ao Ar

COT – Carbono Orgânico Total

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.2 SELEÇÃO, COLETA E PREPARO DOS SOLOS	15
3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4.1 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO	18
4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA	20
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
6 REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro está inserido no domínio Caatinga, considerado a maior Floresta Tropical Seca (FTS) da América do Sul (BEUCHLE *et al.*, 2015), abrangendo cerca de 11 % do território nacional, com aproximadamente 970 mil km² e 24 milhões de habitantes (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2017).

Comparado com outras regiões semiáridas do mundo, onde a precipitação varia entre 80 e 250 mm por ano, o semiárido brasileiro é considerado o mais chuvoso do planeta (TINÔCO *et al.*, 2018). No período mais úmido a precipitação pode atingir 1.000 mm ano⁻¹. Já no período mais seco, o índice pluviométrico pode ser de 250 mm ano⁻¹ (MONTENEGRO & RAGAB, 2012).

O clima é uma característica que está associada a ação dos fatores de formação do solo (CURI *et al.*, 2017), que desencadeia uma diversidade de solos no semiárido Pernambucano tanto em estrutura física quanto química, contribuindo para um terreno menos desenvolvido, com presença significativa de minerais primários, bem como, argilas de atividade alta. No entanto, essa diversidade limitam o estabelecimento e crescimento das espécies vegetais (SANTOS *et al.*, 2014).

O material de origem influencia na composição do solo e na sua pedogênese (JENNY, 1994). Estudos mais detalhados sobre o tema podem auxiliar no desenvolvimento de estratégias para o uso da terra, possibilitando o melhor aproveitamento da fertilidade do solo e avaliando possíveis riscos à saúde humana (HU *et al.*, 2020; GEBEYEHU *et al.*, 2020). O efeito do material de origem na morfologia, na composição física e química dos solos tem sido estudado por diversos pesquisadores. Contudo, estudos sobre solos originados de mármore no semiárido de Pernambuco são escassos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O mármore é uma rocha metamórfica derivada do processo de metamorfismo de rochas calcárias expostas a elevadas temperaturas e pressão variando de baixa a moderada. A rocha metamórfica cristalina e carbonatada, composta por cristais de calcite (mármore calcítico) ou dolomite (mármore dolomítico), resultante da recristalização de rochas calcárias ou dolomíticas, na maior parte de natureza sedimentar, previamente existentes (SERRÃO *et al.*, 2019). Dentre os diversos materiais de origem, os mármore se destacam por formar solos com boa fertilidade natural e elevada aptidão agrícola e florestal.

Solos originados de rochas carbonáticas, em geral, apresentam alta atividade na fração argila, saturação por bases superior a 50 %, pH variando de levemente ácido a alcalino, elevados teores de cálcio e magnésio trocáveis e textura argilosa (EMBRAPA, 2017).

Por isso, estudar esse tema é de grande importância para estabelecer práticas de manejo sustentáveis no semiárido de Pernambuco.

Descrever morfologicamente um perfil de solo é a base inicial para definir o corpo natural edáfico e realizar o manejo adequado, uma vez que busca avaliar a sua capacidade de uso (TULLIO, 2019). Em virtude das condições geológicas, a Caatinga, apresenta solos com características externas próprias, morfologia, que devem ser estudadas e descritas criteriosamente, permitindo avaliar os atributos físicos, biológicos, químicos (LEPSCH, 2011) e mineralógicos do solo, visto que a partir dessas informações é possível ter uma visão integrada do solo na paisagem (SANTOS *et al.*, 2015).

Sendo assim, Pernambuco apresenta grandes variações geológicas, geomorfológicas e pedológicas, com a presença de solos originados de mármores em diversas regiões do estado, possibilitando estudar a influência desse material de origem nas propriedades do solo. Por esse motivo, esta pesquisa objetivou avaliar a influência do mármore na fertilidade do solo no semiárido.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do mármore na fertilidade do solo no semiárido de Pernambuco.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Classificar um perfil de solo desenvolvido de mármore no sertão nordestino;
- Caracterizar a morfologia de um perfil de solo derivado de mármore no semiárido de Pernambuco;
- Descrever os atributos físicos e químicos de um solo originado de mármore;
- Avaliar a fertilidade do solo derivado de mármore sob clima semiárido tropical;

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no Sertão nordestino, no Sítio dos Nunes (8°4'11.66"S, 37°51'15.92"W) (Figura 1), que compreende a parte setentrional da microrregião Pajeú, no semiárido pernambucano.

No local de estudo, o clima tropical semiárido, apresenta precipitação média $< 750\text{mm/ano}$ e temperatura elevada podendo chegar a $29\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta região está inserida no domínio Caatinga, Floresta Tropical Seca (FTS), uma das fitofisionomias mais vulneráveis e ameaçadas de desertificação (SOUZA *et al.*, 2012). A vegetação é adaptada às condições do ambiente (aridez) perdendo suas folhas durante a estação seca, sendo classificada como savana estépica, com trechos de Floresta Caducifólia. Este tipo de vegetação ocupa aproximadamente 5/6 da área de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000).

Figura 1 – Localização do perfil de solo derivado de mármore no município de Sítio dos Nunes, semiárido de Pernambuco.



Fonte: MENDES, 2022.

A região encontra-se inserida, geologicamente, na Província Borborema, que corresponde a um mosaico de blocos tectônicos, englobando o fundamento paleoproterozóico e núcleos arqueológicos (VAN SCHMUS *et al.*, 2008). Estando constituída nos Domínios Hidrogeológico Intersticial e Fissural, sendo composto, respectivamente, de rochas sedimentares e rochas do embasamento cristalino que englobam o subdomínio rochas metamórficas.

3.2 SELEÇÃO, COLETA E PREPARO DOS SOLOS

O perfil de solo originado de mármore (Figura 2) selecionado com base no mapa geológico de Pernambuco (escala 1: 500.000) (BRASIL, 2001), em área de mata nativa, com mínima interferência antrópica e em relevo plano. Esse material de origem foi selecionado por

ocorrer em várias partes dos trópicos e desempenhar papel fundamental nos ecossistemas tropicais, em termos de qualidade ambiental, ciclos biogeoquímicos, padrões de intemperismo global, armazenamento de carbono e produção de alimentos.

Figura 2 – Perfil de solo originado de mármore, localizado no Agreste de Pernambuco, semiárido nordestino.



Fonte: MENDES, 2021.

A coleta das amostras de solo foi realizada do horizonte superficial até a camada R (rocha inalterada) (Figura 2). A morfologia do perfil selecionado foi descrita baseada no Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS *et al.*, 2015). O perfil de solo foi classificado conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) como Cambissolo Háplico Eutrófico (EMBRAPA, 2017).

Posteriormente, foram coletadas amostras de solo não deformadas para realização de análises físicas e amostras deformadas para as análises químicas. As amostras foram secas ao

ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm (Terra Fina Seca ao Ar – TFSA) (SANTOS *et al.*, 2018).

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO SOLO

O pH do solo foi determinado utilizando água destilada e KCl (1: 2,5 solo: solução) (Figura 3) (SANTOS *et al.*, 2018). O potássio e sódio trocáveis e fosforo disponível foram extraídos com extrator Mehlich-1 (1:10 solo:solução) e determinado no fotômetro de chama e espectrofotômetro, respetivamente. O cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ (razão 1:10 solo:solução) (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A acidez potencial (H⁺ + Al³⁺) foi determinada pelo método do acetato de cálcio (0,5 mol L⁻¹, pH 7,0).

Por meio dos resultados obtidos do complexo sortivo, foram calculados os valores de soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial (T) e efetiva (t), saturação por bases (V) e saturação por Al (m) (SANTOS *et al.*, 2018).

Figura 3 – Preparo das amostras de solo originado de mármore para as análises químicas.



Fonte: MENDES, 2021.

A composição granulométrica (método do hidrômetro) foi determinada em conformidade com a Embrapa (SANTOS *et al.*, 2018), enquanto o carbono orgânico total (COT) foi analisado pelo método de Walkley- Black (YEOMANS & BREMMER, 1988).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

O perfil de solo originado de mármore apresentou horizonte diagnóstico B incipiente (Bi), com saturação por bases alta e argila de atividade alta, subjacente ao horizonte A, sendo classificado como CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico (EMBRAPA, 2017).

A classe dos Cambissolos é caracterizada por solos que apresentam grande variação no tocante à profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos, além de apresentarem grande variabilidade no que diz respeito às demais características como drenagem que varia de acentuada a imperfeita, podendo apresentar qualquer tipo de horizonte A sobre o horizonte B incipiente (Bi) e cores diversas. Muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e rochosos (SOUZA, 2015).

O solo estudado encontra-se em relevo plano, possui boa drenagem, sendo perceptível na sua coloração avermelhada, estando associada a elevada concentração de óxidos de ferro desidratados que é um potente pigmento no solo. O perfil é pouco profundo, com contato lítico, não rochoso, não pedregoso e não cascalhento.

O Cambissolo não apresentou grandes variações em sua cor, textura, estrutura, consistência, porosidade e transição entre os horizontes (Tabela 1). Os horizontes superficiais (Ap e AB) apresentaram textura muito argilosa, já os subsuperficiais (BA, Bi₁ e Bi₂) tiveram variações de argilosa a franco argilo-arenosa, respectivamente. O perfil apresentou mudança textural clara e plana (horizonte Ap), difusa e plana (horizontes AB e Bi₁) difusa e ondulada (horizonte BA) e abrupta no horizonte Bi₂.

Os horizontes Ap, AB e BA exibiram estruturas com blocos subangulares e angulares, grau forte, variando de muito pequenas à médias (Tabela 1). O horizonte Bi₁ apresentou estrutura em blocos angulares, pequeno a médio, com grau forte. O horizonte Bi₂ tem estrutura com blocos subangulares e angulares, moderado, de tamanho variando de pequeno a grande (Tabela 1).

Os horizontes apresentaram consistência dura (Ap, AB e BA), muito dura (Bi₁) e ligeiramente dura (Bi₂) quando secos (Tabela 1). Quando úmidos, exibiram consistência muito friável (Ap e AB) e solta (BA, Bi₁ e Bi₂). Os horizontes tiveram variação quando molhado de ligeiramente plástico e pegajoso (Ap e AB), não plástico e ligeiramente pegajoso (BA) a ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso (Bi₁ e Bi₂) nos horizontes subsuperficiais.

Tabela 1. Caracterização morfológica do perfil de solo originado de mármore.

Hor./Prof. (cm)	Textura			Estrutura			Consistência		Transição	Porosidade	Raízes
	Grau	Tamanho	Forma	Seco	Úmido	Molhado	Úmido	Molhado			
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta EUTRÓFICO											
Ap	0-6	Mt. Arg.	Forte	Mt. peq. a méd.	Bl. Ang., bl. sb.	Duro	Mt. friável	Lig. plást., peg.	Clara e plana	Mt. poroso	Muitas, finas e méd.
AB	6-19	Mt. Arg.	Forte	Mt. peq. a méd.	Bl. Ang., bl. sb.	Duro	Mt. friável	Lig. plást., peg.	Difusa e plana	Mt. poroso	Muitas, finas e méd.
BA	19-48	Arg.	Forte	Mt. peq. a méd.	Bl. Ang., bl. sb.	Duro	Solto	Não plást., lig. peg.	Difusa e ond.	Mt. poroso	Muitas, finas a mt. Grossas
Bi ₁	48-70	F-Arg.A	Forte	peq. a méd.	Bl. Ang.	Mt. duro	Solto	Lig. plást., lig. peg.	Difusa e plana	Mt. poroso	Muitas, finas e méd.
Bi ₂	70-92	F-Arg.A	Mod.	peq. a gr.	Bl. Ang., bl. sb.	Lig. duro	Solto	Lig. plást., lig. peg.	Abrupta e ond.	Mt. poroso	Comuns, finas e méd.
R	92+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Hor.) – Horizonte; (Prof.) – Profundidade; (Mt.) – Muito; (Arg.) – Argilosa; (F-Arg.A) – Franco argilo-arenosa; (Mod.) – moderada; (peq.) – pequena; (méd.) – média; (gr.) – grande; (Bl. Ang.) – Bloco angular (Bl. sb.) – blocos subangulares; (Lig.) – Ligeiramente; (Plást.) – Plástico; (peg.) – Pegajoso; (ond.) – ondulada;

O Cambissolo estudado possui elevada quantidade de poros, favorecendo o movimento e retenção de água, ar e solutos no solo, entre outros aspectos (TEIXEIRA *et al.*, 2017). A porosidade é um indicador importante na avaliação da qualidade física do solo. Observou-se a presença de muitas raízes variando de finas a muito grossas, sendo que o horizonte Bi₂ apresentou raízes comuns, finas e medias (Tabela 1).

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA

O mármore originou um perfil de solo com pH próximo da faixa da neutralidade, variando de 6,7 a 7,1 em H₂O (Tabela 2). Esses valores estão dentro da faixa considerada adequada (com pH entre 6 e 7) para atender a demanda nutricional das principais culturas agrícolas do semiárido (IPA, 2008). O perfil derivado de mármore apresentou ΔpH negativo, indicando que predominam cargas elétricas negativas, ou seja, o solo retém mais cátions do que ânions.

A presença de argilominerais, os teores de Carbono orgânico e ΔpH negativo indicam capacidade elevada de adsorção de cátions no solo (SILVA *et al.*, 2012). Com base na granulometria o solo apresenta predomínio da fração argila, com valor médio de 465g kg⁻¹, tendo um aumento pouco significativo no subsuperficial. Essa fração mais fina é produto do intemperismo dos minerais que formam o material originário desse solo e da textura rocha (BRILLHANTE, 2014).

Os teores de silte diminuíram nas camadas próximas ao saprólito (Bi₁ e Bi₂). Admite-se diferença marcante de granulometria do horizonte A para o Bi (SANTOS *et al.*, 2018). Essas informações são fundamentais para auxiliar na sustentabilidade agrícola da região, que em sua maioria é realizada por agricultores familiares que possuem poucos recursos para comprar corretivos e fertilizantes minerais (VIDAL, 2013).

Os valores de acidez potencial (H+Al) foram baixos e variaram de 1,8 a 2,5 cmol_c dm³ (Tabela 2), visto que o alumínio trocável (Al³⁺) da solução do solo foi insolubilizado. As concentrações disponíveis de K, P e Mg são consideradas baixas de acordo com o Manual de Recomendação de Adubação para o Estado de Pernambuco, e demandam doses maiores de fertilizantes para atender a demanda nutricional das principais culturas do semiárido, como o milho e o feijão (IPA, 2008).

Tabela 2. Caracterização química e granulométrica de solos desenvolvidos de mármore no semiárido de Pernambuco.

Hor./Prof. (cm)	Areia	Silte	Argila	pH	Δ pH	CO	MO	Ca	Mg	Na	K	H+Al	Al	P	SB	t	T	V	
	----- (g kg ⁻¹) -----			(H ₂ O)	(KCl)	(g kg ⁻¹)	(%)	----- (cmolc kg ⁻¹) -----					(mg kg ⁻¹)		- (cmolc kg ⁻¹) -			(%)	
CAMBISSOLO HÁPLICO Ta EUTRÓFICO																			
Ap 0-6	269	266	465	6,7	6,5	-0,2	10,9	1,9	18,3	0,5	0,13	0,48	1,8	0,0	9,6	19,3	19,3	21,1	91
AB 6-19	238	297	465	7,1	6,2	-0,9	9,1	1,6	16,3	0,6	0,08	0,40	2,5	0,0	5,0	17,3	17,3	19,8	87
BA 19-48	329	206	465	7,0	6,0	-1,0	6,7	1,2	15,8	1,0	0,05	0,16	2,3	0,0	3,7	17,0	17,0	19,3	88
Bi ₁ 48-70	340	180	480	6,8	5,8	-1,0	5,2	0,9	14,2	0,5	0,05	0,14	2,4	0,0	21,2	14,3	14,3	16,7	86
Bi ₂ 70-92	374	145	481	7,0	5,9	-1,1	3,6	0,6	13,1	0,4	0,06	0,12	2,1	0,0	3,0	13,6	13,6	15,7	87

Entretanto, utilizar adubos minerais com o intuito de elevar a disponibilidade de fosforo e demais nutrientes deve estar atrelada a práticas sustentáveis de manejo visando substituí-los gradativamente por adubos orgânicos e cobertura vegetal. Os nutrientes com alta mobilidade que estão na solução do solo atingem o volume explorado pelas raízes rapidamente, porém se perdem facilmente por lixiviação, se manejados incorretamente, podem contaminar as águas subterrâneas (SILVA *et al.*, 2012).

O perfil de solo derivado de mármore apresenta teores trocáveis de Ca (Tabela 2) muito acima da concentração mínima sugerida para a maioria das plantas ($4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; JONES, 2012). Porém, a alta relação Ca:Mg nesse solo pode ocasionar efeito antagônico na absorção de Mg pelas plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

Contudo, o uso de plantações florestais comerciais podem auxiliar na ciclagem de nutriente, a exemplo do eucalipto que menos extrai N, P e K, perdendo apenas para o café, em termos de extração de P, e para o milho, em relação à extração de K, já em relação ao cálcio (Ca), sua extração é maior que todas as culturas, à exceção das pastagens (OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de, 2017).

O excesso de Ca é reflexo do seu material de origem, que é um material calcítico. Além disso, o solo apresentou saturação por bases (V%) alta, com valores maiores que 70 %, sendo mais um indicativo que não há necessidade de calagem. A elevada concentração de potássio no horizonte subsuperficial Bi_1 ($21,2 \text{ mg kg}^{-1}$) indica a possível presença de minerais primários pouco intemperizados, fontes desse nutriente.

Os teores de carbono orgânico (CO) encontrados no solo são baixos, variando de 10,9 a $3,6 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 2). O CO é um dos principais indicadores de qualidade do solo, influenciando positivamente na fertilidade. Além de ter uma elevada importância ambiental na retenção de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. Sendo assim, práticas sustentáveis de manejo que busquem a manutenção e o acúmulo de carbono orgânico no solo, além de ter importância fundamental nas propriedades química e física do solo, também auxiliam no aumento da capacidade de troca de cátions.

A capacidade de troca de cátions (CTC) do Cambissolo estudado é alta, variando de 15,7 a $21,1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Tabela 2). A maior CTC observada no horizonte superficial pode ser explicada pela maior proporção de matéria orgânica que possui elevada densidade de cargas negativas em sua superfície. A CTC do solo tem papel importante na retenção de substâncias contaminantes, ou ainda de nutrientes, daí então sua importância como filtro sob o ponto de

vista ambiental, e na agricultura, influenciando na fertilidade dos solos, respectivamente (ANDREOLI, 2014).

Embora a porcentagem de matéria orgânica tenha se mostrado pequena principalmente no horizonte B (Tabela 2), sua atuação nas funções do solo é fundamental. De igual modo, a CTC atua como um ímã, atraindo para si os nutrientes presentes na solução do solo.

O perfil solo originado de mármores apresentou horizontes pouco profundos, com contato lítico. O Cambissolo foi identificado em relevo plano com boa drenagem. O solo possui potencial agrícola sem impedimentos para as raízes das plantas. Essas características podem refletir positivamente na produtividade do solo, mesmo estando inserido no bioma Caatinga, onde a sazonalidade climática, a má distribuição hídrica e as elevadas temperaturas interrompem diretamente o processo de acúmulo e decomposição da serrapilheira, consequentemente, influenciando no reservativo de matéria orgânica (SOUZA *et al.*, 2021).

A agricultura e a pecuária são práticas importantes que garantem a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico do país, assim como as florestas plantadas que são detentoras de atributos capaz de frear o excesso de desgastes das florestas naturais, uma técnica que visa a qualidade e a expansão da biodiversidade e do manejo sustentável. Entretanto, os monocultivos, o preparo excessivo das áreas de cultivo, a ausência de cobertura do solo, possibilita os processos de erosão, decomposição e mineralização da matéria orgânica (Souza *et al.*, 2021).

Com isso, o manejo deve ser feito visando à manutenção de resíduos vegetais, no intuito de elevar a fertilidade natural do solo e sustentabilidade agrícola da região. Levando em conta que a matéria orgânica do solo (MOS) influencia na disponibilidade de nutrientes pelas culturas agrícolas, bem como na CTC, aumentando o poder-tampão do solo e a retenção de elementos tóxicos e micronutrientes em solos tropicais, que são altamente intemperizados e ácidos.

Além disso, a MOS é sensível às práticas de manejo, tornando-se eficiente no monitoramento de mudanças na qualidade do solo ao longo do tempo (Shukla *et al.*, 2006).

A longo prazo, a necessidade de reduzir do desmatamento, a degradação do solo e mitigar a emissão de gás carbônico na atmosfera, necessitam de ações voltadas para o desenvolvimento socioeconômico sem que haja comprometimento da sustentabilidade dos recursos naturais (Vilela *et al.*, 2012). Nesse sentido, o manejo do solo atrelado a práticas conservacionistas são alternativas viáveis para otimizar o uso da terra visando a produção agrícola a partir de um modelo ambientalmente mais sustentável (MORAES *et al.*, 2011).

A produção mais sustentável como os sistemas agroflorestais baseia-se na manutenção dos serviços ecossistêmicos, que são aqueles oferecidos pelo ambiente, de interesse direto ou indireto do ser humano (MORAES et al., 2011).

De modo geral, entre os serviços ecossistêmicos que serão obtidos com a implementação do sistema consociado de culturas agrícolas com espécies arbóreas no Cambissolo originado de mármore pode-se destacar o sombreamento produzido pelas espécies arbóreas, possibilitando o controle da erosão do solo, aumento da ciclagem de nutrientes e a conservação da biodiversidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo originado de mármore foi classificado como CAMBISSOLOS HÁPLICO Ta Eutrófico, pois apresentou argila de atividade alta (Ta) e alta saturação por bases. Embora as concentrações encontradas de K, P, Mg serem baixas e o solo apresentar a necessidade de doses maiores de fertilizantes, o perfil originado de mármore possui uma boa aptidão agrícola.

Entretanto, devesse atentar para a relação desproporcional do Ca:Mg, ocasionando efeito antagônico na absorção de Mg pelas plantas. Por isso, recomentasse o uso de plantações florestais comerciais que podem auxiliar na ciclagem de nutriente, como eucalipto.

A fertilidade do solo é imprescindível na realização de um plantio florestal, tendo em vista que os solos originados de mármore são ricos em cálcio e esse elemento contribui para a rigidez das plantas, tendo relação direta com o desenvolvimento das raízes, da formação de folhas, além de auxiliar na translocação e no armazenamento das proteínas.

Contudo, recomenda-se que seja desenvolvida práticas conservacionistas nesse solo, com o mínimo revolvimento e mantendo a cobertura vegetal, e, dessa forma, reduzindo os riscos de erosão, perda de fertilidade e produtividade. Levando em consideração que o solo do semiárido é cultivado principalmente por agricultores familiares que carecem de recursos financeiros para investir em fertilizantes minerais e corretivos, as informações presentes podem auxiliar na conservação da fertilidade natural e preparo adequado do solo.

Logo, os resultados encontrados demonstram que a influência do fator material de origem na fertilidade do solo no semiárido necessita de estudos mais detalhados visando o desenvolvimento de novas práticas de manejo que favoreça a sustentabilidade na agricultura, com a manutenção e melhoria da fertilidade natural, buscando aumentar a produtividade da região.

6 REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. D. N.; JUSTI JUNIOR, J. Formação e características dos solos para o entendimento de sua importância agrícola e ambiental. **Complexidade: redes e conexões do ser sustentável. 1ed. Curitiba: SENAR/PR**, p. 511-530, 2014.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R., et al. Reconnaissance Survey of Low and Medium Intensity of Soils of Pernambuco State. **Embrapa Soils**, Rio de Janeiro, p. 53-54, 2000.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N.; MARQUES, F. A. V - Solos da Caatinga. In: Nilton Curi; João Carlos Ker; Roberto Ferreira Novais; Pablo Vidal-Torrado; Carlos Ernesto G. R. Schaefer. (Org.). **Pedologia - solos dos biomas brasileiros**. 1ed. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017, v., p. 227-260.
- BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; SELIGER, R.; EVA, H.D.; SANO, E.; ACHARD, F. Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v. 58, p. 116–127, 2015. <<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>>.
- BRASIL. 2001. Mistério de Minas e Energia. **Geologia e recursos minerais do Estado de Pernambuco**. Serviço Geológico do Brasil e do Estado de Pernambuco, Recife, CPRM.
- BROWN, G.; BRINDLEY, G. W. X-ray Diffraction Procedures for clay mineral Identification. **London: Mineralogical Society**, 1980.
- CHEN, Y. & BARAK, P. Iron nutrition of plants in calcareous soils. **Adv. Agron.**, 35:217-240, 1982.
- CURI, N., KER, J.C., NOVAIS, R.F., VIDAL-TORRADO, P., SCHAEFER, C.E.G.R. 2017. (Editores). **Pedologia - Solos dos Biomas Brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 597.
- EMBRAPA, 2017. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4ª edição. Rio de Janeiro, 353p.
- FORMAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E CARTOGRAFIA DOS SOLOS, Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 10.
- GEBEYEHU, H.R., BAYISSA, L.D. Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, **Ethiopia**. 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227883>. HU, B., XUE, J, ZHOU, Y., SHAO, S., FU, Z., LI, Y., CHEN, S., QI, L., SHI, Z. Modelling bioaccumulation of heavy metals in soil-crop ecosystems and identifying its controlling factors using machine learning. **Environmental pollution**, v. 262, 114308. 2020.

- HU, B., XUE, J, ZHOU, Y., SHAO, S., FU, Z., LI, Y., CHEN, S., QI, L., SHI, Z. 2020. Modelling bioaccumulation of heavy metals in soil-crop ecosystems and identifying its controlling factors using machine learning. *Environmental pollution* 262, 114308.
- IBGE. Manual Técnico de Pedologia. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2015.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis: advanced course. 29. ed. Madison: University of Wisconsin, p. 895, 1975.
- JENNY, H. Factors of Soil Formation. New York: McGraw-Hill Book Company, 1994.
- KAISER, H. F. 1958. The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23,187–200.
- JONES, J.B. Jr. 2012. Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. CRC Press; 2 edition, Boca Raton. p. 304.
- LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo, Oficina de textos, 2011. p. 184.
- OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Cap. 2. p. 21-30.
- MANUAL TÉCNICO DE PEDOLOGIA, Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.
- MARQUES, F. A; RIBEIRO, M. R; SCHULZE, S.M.B.B; NETO, J. de A. L. Caracterização e classificação de cambissolos do arquipélago de Fernando de Noronha, Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31 (5) / 1023-1034, 2007;
- MONTENEGRO, S., RAGAB, R. 2012. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology, Netherlands* 434, 55–68.
- MOORE, D. M.; REYNOLDS, R. C. Identification of Mixed-layered Clay Minerals. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 2 ed. New York: Oxford University Press, 1997.
- NIST - National Institute of Standards and Technology. **Standard Reference Materials -SRM 2709**, p. 2710-2711, 2002.
- NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.,
- NEVES, J.C.L. 2007. (Editores). Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017.
- OLIVEIRA, D. P.; SARTOR, L. R.; SOUZA JUNIOR, V. S.; CORRÊA, M. M.; ROMERO, R. E.; GABRIEL, R. P. A.; FERREIRA, T. O. Weathering and clay formation in semi-arid calcareous soils from Northeastern Brazil. *Catena*, v. 162, 325 – 332. 2018.
- OLIVEIRA, G. F. de S. **Uso de técnicas de sensoriamento remoto para estimar variáveis biofísicas em floresta tropical seca, município de Floresta – PE**. 2020, p,15, Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência Florestal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020.

RODRIGUES, R. A. S. Ciência do solo: morfologia e gênese. Londrina, Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. p. 200.

SANTANA, M.; AZARIAS, V. Solos do Brasil: Cambissolos. Parque CienTec - USP, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, N. S. dos; ALVES, J. M. A.; UCHÔA, S. C. P.; OLIVIRA, N. T. de; ALBUQUERQUE, J. de A. A. de. Absorption of macronutrients by cassava in different harvest dates and dosages of nitrogen. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 4, 2014.

SANTOS, R. D. et al. 2015. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Revista ampliada Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SANTOS, R. D. et al. 2015. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Revista ampliada Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SERRÃO, V., SOARES, C. M., CARNEIRO, A. **Mármore: 2000 anos de História**. Volume 1: Da Antiguidade à idade Moderna (pp.13-54). Lisboa: Theya Editores, 2019.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by fator analysis. *Soil Tillage Research*, v.87, p. 194-204, 2006.

SILVA, A. K. T., Felix GUIMARÃES, J. T. F., LEMOS, V. P., COSTA, M. L., KERN, D. C. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia, v.42(4), p. 477-490, 2012.

SILVA, C. M. C. A. C., BARBOSA, R. S., NASCIMENTO, C. W. A. N., SILVA, Y. J. A. B., SILVA, Y. J. A. B. 2018. Geochemistry and spatial variability of rare earth elements in soils under different geological and climate patterns of the Brazilian Northeast. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 42, 1-17.

SILVA, D. L. A. **Solos e gênese da cerosidade numa topossequência com baixa a alta atividade da fração argila**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, p. 211, 2018.

SILVA, Y. J. A. B., CANTALICE, J. R. B., SINGH, V. P., NASCIMENTO, C. W. A., PISCOYA, V. C., GUERRA, S. M. S. 2015. Trace element fluxes in sediments of an environmentally impacted river. **Environ Sci Pollut Res**. 22(19), 14755-14766.

SOUZA, F. P., FERREIRA, T. O., MENDONÇA, E. S., ROMERO, R. E., OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 148, p. 11–21. 2012.

SOUZA, H. A., LEITE, L. F. C., MEDEIROS, J. C. (Editores). Solos Sustentáveis para a Agricultura no Nordeste. Brasília, Embrapa, 2021. p. 92, 96.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Embrapa, 2017.

TEMPL, M., FILZMOSE, P., REIMANN, C. 2008. Cluster analysis applied to regional geochemical data: problems and possibilities. **Applied Geochemistry**. 23, 2198–2213.

THUONG, N. T., YONEDA, M., IKEGAMI, M., TAKAKURA, M. 2013. Source discrimination of heavy metals in sediment and water of To Lich River in Hanoi City using multivariate statistical approaches. **Environmental Monitoring and Assessment** 185, 8065–8075.

VAN SCHUMS, W. R.; OLIVEIRA, E. P.; DA SILVA FILHO, A. F.; TOTEU, S. F.; PENAYE, J.; GUIMARÃES, I. P. Proterozoic links between the Borborema Province, NE Brazil, and the Central African Fold Belt. **Geol. Soc. Lond., Spec. Publ.**, v. 294, p. 69-99, 2008.

VIDAL, D. L., 2013. Work division in family farm production units: Feminine responsibilities typology in a semi-arid region of Brazil. **Journal of Arid Environments** 97, 242-252.

VILELA, L., MARTHA JUNIOR, G. B., MARCHÃO, R. L., 2012. Integração lavoura-pecuária-floresta: alternativa para intensificação do uso da terra. **Revista UFG**, p.94.

WARD, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**. 58, 236–244.

WRB - World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **World Soil Resources Reports No. 106**. FAO, Rome.

YEOMANS, J. C., BREMMER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 19, p. 1467–1476, 1988.