



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
DOUTORADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

THAIS CRISTINA DE SOUZA LOPES

**ATRIBUTOS ESTRUTURAIS E MINERALÓGICOS EM CLASSES DE SOLOS NA
CHAPADA DO APODI**

MOSSORÓ

2018

THAIS CRISTINA DE SOUZA LOPES

**ATRIBUTOS ESTRUTURAIS E MINERALÓGICOS EM CLASSES DE SOLOS NA
CHAPADA DO APODI**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutorado em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Jeane Cruz Portela – UFRSA.

MOSSORÓ

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Catalogação de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO
TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Setor de Informação e Referência

L864a Lopes, Thais Cristina de Souza.
ATRIBUTOS ESTRUTURAIIS E MINERALÓGICOS EM
CLASSES DE SOLOS NA CHAPADA DO APODI / Thais
Cristina de Souza Lopes. - 2018.
100 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Manejo de Solo e Água, 2018.

1. Estatística multivariada. 2. Agregação. 3.
Semiárido. 4. Agroecossistemas. 5. Difração de
raio X. I. Portela, Jeane Cruz, orient. II.
Título.

THAIS CRISTINA DE SOUZA LOPES

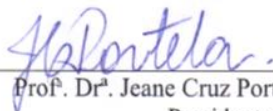
**ATRIBUTOS ESTRUTURAIS E MINERALÓGICOS EM CLASSES DE SOLOS
NA CHAPADA DO APODI**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Doutorado em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Manejo do solo e da água no ambiente agrícola.

Defendida em: 27/07/2018.

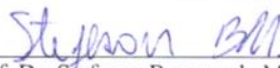
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Jeane Cruz Portela (UFERSA)
Presidente



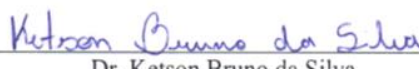
Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)
Examinador Interno



Prof. Dr. Stefeson Bezerra de Melo (UFERSA)
Examinador Interno



Prof. Dr. Carolina Majala Martins Souza (UFERSA)
Examinador Interno



Dr. Ketson Bruno da Silva
Examinador Externo

Aos meus avós **Felix de Souza** e **Maria José de Alcântara** pelas raízes de amor, pelo aconchego e cuidado em dias difíceis, pela sabedoria e ensino transmitidos, despontando que a fé, a humildade, o amor e a bondade são valores essenciais na vida.

Ao meus pais **Waldir Tavares** e **Mercia Tavares**, pelo apoio contínuo, ao meu esposo amado **Aldi Júnior** por seu companheirismo e amor, e minha pequena **Ana Rebeca** pela alegria constante e por ser luz em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

A Jesus Cristo pela graça de tê-lo como melhor amigo, pelo seu amor diário incondicional e sua voz soando como uma brisa, trazendo direção e sentido para minhas decisões. Eu o agradeço principalmente pela oportunidade de o conhecer e prosseguir em conhecer, tu és o único caminho, a verdade e vida.

Aos meus pais Waldir Tavares e Mercia Tavares pelo amor, carinho, força, atenção e dedicação em toda a minha jornada acadêmica. Pai, obrigada por se fazer presente em absolutamente todos os momentos, não há palavras suficientes para demonstrar o tamanho da minha gratidão, eu tenho o melhor pai desse mundo.

Aos meus avós maternos, que também são meus pais, Felix de Souza e Maria José pelo amor desmedido, e por despertar em mim a essência de viver na mata tomando banho de riacho e vivendo com a natureza.

Ao meu companheiro, Aldi Júnior que há dez anos participa da minha trajetória de vida acadêmica e sonhou junto comigo em cada detalhe, nas perspectivas, nos planos, conselhos, e diálogos de fortalecimento, obrigada por permitir sonhar a dois. A minha pequena Ana Rebeca por irradiar sua luz e alegria diariamente, você é um milagre em nossas vidas. Eu amo muito vocês.

À minha estimada orientadora, Jeane Cruz Portela, pela sua paz, por transmitir luz em dias escuros e por ser além de uma excelente orientadora, uma amiga presente e especial. Minha eterna gratidão pelo conhecimento perpassado e apoio desmedido. Obrigada pelo ser humano incrível que és, vou levar em meu coração todos os momentos que tivemos juntas, você é um presente especial que Deus concedeu a todos que tem o privilégio de conviver contigo. Obrigada por se dedicar a me tornar alguém melhor como pessoa e profissional da área de Manejo de Solo e Água.

Aos amigos (as)/irmãos (ãs) Felix de Souza, Walter Tavares, Maria Eduarda, Fernando Augusto, Aline Fernandes, Tereza Letícia, Vinícius Silva, Ellen, João Vitor, Adriana Freire e Alana Assunção pelo ombro amigo, alegria constante e orações.

Aos camponeses (as) do Projeto de Assentamento Terra de Esperança (Governador Dix-Sept Rosado-RN) e Moacir Lucena (Apodi-RN), pela disponibilidade dos ambientes para a realização da pesquisa, bem como a contribuição dada em todas as etapas de campo.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), o Centro de Ciências Agrárias (CCA), Laboratório de Análise de Solo Água e Planta (LASAP), pela oportunidade de progressão profissional;

Aos Professores (as), aos colegas e alunos do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Séri-Árido.

Ao grupo de Alunos Graduando e Pós-Graduando do LASAP, Joaquim Emanuel Fernandes Gondim, Francisco Wellington Andrade da Silva, Tarcísio Jose de Oliveira filho, Pollyana Mona Soares Dias, Sandy Thomaz dos Santos, Phâmella Kalliny Pereira Farias, Joseane Dunga da Costa, Thamirys Duarte Ávila e Valéria Nayara Silva de Oliveira.

À banca pelas ricas contribuições com o nosso trabalho.

A todos (as) que colaboraram de forma direta ou indireta com a realização desse sonho. A minha eterna gratidão.

“Agora, pois, permanecem a fé, a esperança e o amor, estes três, mas o maior destes é o amor.”

1 Coríntios 13:13

RESUMO GERAL

LOPES, T. C. de S. Universidade Federal Rural do Semi-árido. **Atributos estruturais e mineralógicos em classes de solos na Chapada do Apodi.** Orientadora: Dra. Jeane Cruz Portela.

A estrutura do solo desempenha funções essenciais nos fatores de crescimento de plantas em agroecossistemas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos estruturais em associação com físicos, químicos e mineralógicos em classes de solos, utilizando a técnica de estatística multivariada na diferenciação dos ambientes. A pesquisa foi realizada no Projeto de Assentamento Terra da Esperança, no município de Governador Dix-Sept Rosado, e no Projeto de Assentamento Moacir Lucena, em Apodi, no estado do Rio Grande do Norte. Foram selecionados 17 perfis em diferentes agroecossistemas. Coletaram-se amostras de solo nos horizontes de cada perfil, as indeformadas constituíram 10 amostras por horizontes em anéis volumétricos, em blocos de solo (análise de agregados), e as deformadas em triplicatas no laboratório. Foram determinados os atributos estruturais, físicos, químicos e mineralógicos. Os resultados foram analisados submetendo-os a técnicas de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise de agrupamento e a análise fatorial com extração dos fatores em componentes principais. A análise fatorial revelou que as variáveis argila, Ca^{2+} , Na^+ , soma de bases (SB) e saturação por bases (V) para o fator 1 (F1), seguido das variáveis capacidade de troca catiônica (T), carbono orgânico total (COT), macroporosidade, densidade de partículas (Dp), K^+ e microporosidade (F2) foram atributos sensíveis na distinção dos ambientes para as duas áreas de estudo. O uso da análise de agrupamento possibilitou a formação de quatro grupos de solos, os estruturais apresentaram maior similaridade, evidenciando as relações entre o material de origem e usos, seguido dos químicos P, K^+ , T, Ca^{+2} , V e pH (Chernossolo Rêndzico), os estruturais diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), AG RI>2mm, índice de plasticidade (IP) , e limite de plasticidade (LP) (Latossolo Vermelho amarelo) e os físico-químicos condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), Na^+ , silte, macroporosidade, porosidade total calculada (P_{calc}), saturação por alumínio (m), areia total (Areia Tot.), umidade volumétrica (θ), Mg^{+2} e Dp (Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico) para área de Governador Dix-Sept Rosado. A fração argila apresentou inter-relação com os atributos químicos (F1), na distinção das classes e usos. As classes de solos em estudo apresentaram caráter eutrófico ($V \geq 50\%$), inclusive o Latossolo Vermelho-Amarelo (Perfil 4) em função das variáveis Na^+ e Ca^{2+} , apresentando, contudo, valores inferiores as demais classes, o que constitui uma particularidade local, em função do padrão climático da região semiárida. Com relação à caracterização mineralógica o F1 permitiu estimar a influência das variáveis expressivas, destacando-se: argila, Fe extraído com ditionito-citratobicarbonato (Fed), relação do Fe extraído com oxalato ácido de amônio e com ditionito-citratobicarbonato de sódio (Feo/Fed), microporosidade, macroporosidade e Na^+ , isso pode ser justificado em função dos fatores e processos pedogenéticos que são fortemente influenciados pelo padrão climático da região Semiárida. Os solos mais desenvolvidos apresentaram picos evidentes de minerais silicatados (caulinita e illita) e de óxidos de ferro (goethita e hematita). O grupo caracterizado como solos menos desenvolvidos apresentaram picos de menor intensidade da caulinita, com a presença mais evidente de argilominerais do tipo 2:1.

Palavras-Chave: Estatística multivariada. Agregação. Semiárido. Agroecossistemas. Difração de raio X. Argilominerais.

ABSTRACT

LOPES, T. C. de S. Federal Rural University of the Semi-Arid. **Structural and mineralogical attributes in soil classes in the Chapada do Apodi.** Advisor: Dra. Jeane Cruz Portela.

Soil structure plays essential roles in plant growth factors in agroecosystems. The objective of the present work was to evaluate structural attributes in association with physical, chemical and mineralogical properties in soil classes, using the multivariate statistical technique in the differentiation of environments. The research was carried out in the Terra da Esperança Settlement Project, in the municipality of Governador Dix-Sept Rosado, and in the Moacir Lucena Settlement Project, in Apodi, in the state of Rio Grande do Norte. 17 profiles were selected in different agroecosystems. Soil samples were collected in the horizons of each profile, the undisturbed constituted 10 samples per horizons in volumetric rings, in soil blocks (aggregate analysis), and the deformed in triplicates in the laboratory. Structural, physical, chemical and mineralogical attributes were determined. The results were analyzed by subjecting them to multivariate statistical techniques, through correlation matrix, clustering analysis and factorial analysis with factor extraction in main components. The factorial analysis revealed that the variables clay, Ca^{2+} , Na^+ , sum of bases (SB) and saturation by bases (V) for factor 1 (F1), followed by the variables cation exchange capacity (CEC), total organic carbon (TOC), macroporosity, particle density (Dp), K^+ and microporosity (F2) were sensitive attributes in the distinction of the environments for the two study areas. The use of cluster analysis allowed the formation of four groups of soils, the structural ones showed greater similarity, evidencing the relationships between the source material and the uses, followed by the chemicals P, K^+ , T, Ca^{+2} , V and pH (Chernossolo Rêndzico), $\text{AGRI} > 2\text{mm}$, plasticity index (PI), and plasticity limit (PL) (Latossolo Vermelho amarelo) and physical-chemical conductivity (P_{calc}), saturation by aluminum (m), total sand (Sands Tot.), volumetric moisture (θ), Mg^{+2} and Dp (Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico) to Governor Dix-Sept Rosado area. The clay fraction presented an interrelation with the chemical attributes (F1), in the distinction of classes and uses. The soil classes under study presented a eutrophic character ($V \geq 50\%$), including the Latossolo Vermelho-Amarelo (Profile 4) as a function of the Na^+ and Ca^{2+} variables, but presented lower values than the other classes, which is a local peculiarity, according to the climatic pattern of the semi-arid region. In relation to the mineralogical characterization, F1 allowed to estimate the influence of the expressive variables, such as: clay, Fe extracted with dithionite-citrate bicarbonate (Fed), Fe ratio extracted with ammonium acid oxalate and sodium dithionite-citrate bicarbonate (Feo/Fed), microporosity, macroporosity and Na^+ , this can be justified by the factors and pedogenetic processes that are strongly influenced by the climatic pattern of the semi-arid region. The most developed soils showed evident peaks of silicate minerals (kaolinite and illite) and iron oxides (goethite and hematite). The group characterized as less developed soils presented peaks of lower kaolinite intensity, with the most evident presence of 2:1 type clay minerals.

Keywords: Multivariate statistics. Aggregation. Semi-arid. Agroecosystems. X-ray diffraction. Argilominerals.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS ESTRUTURAIS ASSOCIADOS ÀS FRAÇÕES INORGÂNICAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES

Figura 1. Localização da área de estudo.....	37
Figura 2. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.....	46
Figura 3. Variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis com identificação dos grupos formados.....	47
Figura 4. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 1 e 2 (B).....	50
Figura 5. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 3 e fator 4).....	51
Figura 6. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores (fator 5 e fator 6).....	51

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E ESTRUTURAIS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Figura 1. Localização dos perfis no Projeto de Assentamento Moacir Lucena, Apodi/RN.....	61
Figura 2. Dendrogramas resultantes da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos.....	68
Figura 3. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 1 e 2.....	71
Figura 4. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 3 e 4.....	72
Figura 5. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 3 e 4.....	74

CAPÍTULO 3 - MINERALOGIA DA FRAÇÃO ARGILA EM DIFERENTES CLASSES DE SOLO

Figura 1. Localização dos municípios estudados.....	83
Figura 2. Difratomia de raios x da fração argila natural dos horizontes diagnósticos dos perfis mais desenvolvidos. Ct: Caulinita; Il: Ilita; Gt: Goethita; Hm: Hematita.....	92
Figura 3. Difratomia de raios x da fração argila natural dos horizontes diagnósticos dos perfis menos desenvolvidos. 2:1: argilomineral do tipo 2:1; Ct: Caulinita; Il: Ilita; Gt: Goethita; Hm: Hematita.....	92
Figura 4. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.....	94
Figura 5. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 1 e 2 (B).....	96
Figura 6. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 3 e 4 (B).....	97

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS ESTRUTURAIS ASSOCIADOS ÀS FRAÇÕES INORGÂNICAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES

Tabela 1. Usos, classificação e localização dos ambientes estudados.....	38
Tabela 2. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo, no Projeto de Assentamento Terra da Esperança – RN.....	44
Tabela 3. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.....	48

CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E ESTRUTURAIS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Tabela 1. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo, no Projeto de Assentamento Moacir Lucena-RN.....	67
Tabela 2. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.....	69

CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS ESTRUTURAIS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE CLASSES DE SOLOS NA CHAPADA DO APODI

Tabela 1. Localização das classes de solos estudadas.....	84
Tabela 2. Teores de Fe_2O_3 extraídos pelo ataque sulfúrico, DCB e oxalato, e a relação Fe_o/Fed	90
Tabela 3. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo.....	93
Tabela 4. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.....	95

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3. REFERÊNCIAS.....	27
CAPÍTULO 1 - ATRIBUTOS ESTRUTURAIS ASSOCIADOS ÀS FRAÇÕES INORGÂNICAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES.....	32
1. RESUMO.....	33
2. ABSTRACT.....	34
3. INTRODUÇÃO.....	35
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
6. CONCLUSÕES.....	52
7. REFERÊNCIAS.....	53
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E ESTRUTURAIS NO SEMIÁRIDO DO BRASIL.....	56
1. RESUMO.....	57
2. ABSTRACT.....	58
3. INTRODUÇÃO.....	59
4. MATERIAL E MÉTODOS.	61
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
6. CONCLUSÕES.....	75
7. REFERÊNCIAS.....	76
CAPÍTULO 3 - ATRIBUTOS ESTRUTURAIS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE CLASSES DE SOLOS NA CHAPADA DO APODI.....	78
1. RESUMO.....	79
2. ABSTRACT.....	80
3. INTRODUÇÃO.....	81
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	83
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	89
6. CONCLUSÕES.....	98
7. REFERÊNCIAS.....	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região semiárida do Nordeste Brasileiro apresenta características peculiares, como a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial, temperaturas elevadas e consequentemente, altas taxas de evaporação, com predominância de solos pouco desenvolvidos pedogeneticamente (que expõem boas características químicas, porém, limitações físicas) e exclusivo bioma, a Caatinga (Bastos et al., 2012). Frente a essa realidade, torna-se essencial o desenvolvimento de atividades agrícolas de cunho sustentável, que observem as particularidades locais, o que exige a utilizar tecnologias e sistemas de manejo compatíveis com o contexto ambiental e climático da região (Oliveira, 2016).

Os sistemas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas adotados na região semiárida pelos camponeses visam manter, preservar e conservar os recursos naturais (solo e água). Entretanto, sabe-se que também ainda é corriqueiro nessa região práticas inadequadas em relação ao uso e manejo dos solos, como a retirada da vegetação nativa para implantação de monocultivos agrícolas, promoção de queimadas, pecuária extensiva, preparo intensivo do solo e o extrativismo vegetal desordenado, deixando dessa forma os solos expostos à ação direta dos agentes naturais (água e vento) que ocasionam processos de erosão e perda da qualidade física, química e biológica, reduzindo assim sua capacidade produtiva (Giongo et al., 2011; Nunes et al., 2015; Marinho et al., 2016; Cavalcante et al., 2016).

Essa má gestão dos recursos, por parte da ação antrópica vem representando um problema que pode comprometer a qualidade do solo, restringindo dessa forma as funções básicas desempenhadas e sua interação ambiental. No tocante as propriedades físicas, essas são influenciadas pelo uso agrícola e manejo adotados no solo, essas alterações podem ser permanentes ou temporárias (Bertol et al., 2012; Tormena et al., 2016; Stefanosky et al., 2013).

A estrutura do solo é um atributo dinâmico, em virtude do espaço poroso ser facilmente modificado, sendo assim complexo e alterável em função da ação antrópica de forma desordenada, sobretudo naqueles que utilizam o revolvimento e preparo intensivo do solo e ausência de cobertura, destruindo a estrutura e levando a degradação dos atributos do solo (Bertol et al., 2012). Essas modificações afetam de maneira negativa o espaço poroso, e por consequência, reduz estabilidade de agregação estrutural, ocorre o aumento da resistência à penetração das raízes e da densidade do

solo, limitando dessa forma os fatores indispensáveis ao crescimento vegetal (Mazurana et al., 2011).

A recuperação da estrutura do solo dá-se de maneira muito lenta, sendo necessária adoção de práticas que promovam policultivos agrícolas (diversidade de plantas) e preparo mínimo. Sua recuperação é de extrema relevância, e torna-se essencial para o crescimento das plantas, controle da erosão e conservação do solo e da água (Portela et al., 2010).

Nesse sentido, a caracterização dos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo em regiões semiáridas se faz necessário, uma vez que o delineamento dessas características permite avaliar a suas variações espaciais e temporais, contribuindo para a construção de conhecimentos mais concisos no sentido de subsidiar a adoção de práticas adequadas às particularidades locais, além da análise de distinção entre os ambientes em estudo quanto aos usos agropecuários (Santi et al., 2012).

Estudos que relacionam atributos do solo e suas relações com os usos agrícolas e as classes de solo ainda são incipientes no âmbito do semiárido potiguar, haja vista as condições edafoclimáticas, principalmente em áreas de agricultura familiar. Essas informações são relevantes no sentido de buscar estratégias que venham a preencher lacunas referentes à preservação da capacidade produtiva do solo.

Nesta perspectiva, esses estudos geram informações de cunho relevante, em busca da manutenção e ou/melhoria dos recursos naturais, utilizando o bom senso, em função das particularidades inerentes a região em estudo.

As principais hipóteses do presente estudo são de que os atributos estruturais do solo são influenciados pela condição do ambiente e alterações antrópicas, conseqüentemente, apresentarão diferentes potencialidades e limitações sob diferentes usos; a fração argila e silte e os tipos de minerais presentes terão maior influência na diferenciação dos ambientes, por diferirem quanto a litologia e presença das forças de coesão e adesão bem como a fertilidade e; as condições pedogenéticas e antrópicas irão contribuir de modo diferenciado na maior/menor estabilidade de agregados.

Diante do exposto, o estudo teve como objetivo avaliar atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo e caracterizar os ambientes por meio dos atributos mais sensíveis utilizando a técnica de análise multivariada, em diferentes classes e usos agropecuários, nos assentamentos Terra da Esperança e Moacir Lucena, na mesorregião do Oeste Potiguar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Semiárido e a Chapada do Apodi

O Semiárido Brasileiro é uma região extensa, ocupando uma área de aproximadamente 969.598 km², o que corresponde a 90 % da região Nordeste do Brasil. Comporta 1.262 municípios distribuídos em oito estados da região nordeste, além do Norte de Minas Gerais (Alencar, 2010; IBGE, 2011).

A região semiárida é um ambiente de contrastes, apresentando características peculiares em função das particularidades ambientais, formações geológicas diversas, e o padrão climático, evidenciado pelas baixas precipitações pluviiais (variando entre 400 e 800 mm) associadas à má distribuição temporal e espacial das precipitações pluviométricas que se concentram em três a quatro meses dentro da estação úmida (ocorrendo geralmente nos meses de março a junho), além de elevadas temperaturas e taxas evapotranspiratórias, cerca de 2000 mm ano⁻¹ (Santos et al., 2009).

O Bioma Caatinga é exclusivo do semiárido brasileiro e o representa com variedades de espécies animais e vegetais, representando dessa forma uma biodiversidade exuberante, que precisa ser resguardada. A formação vegetal é do tipo xerófila cactáceas, espécies arbóreas, herbáceas e arbustivas (Alencar, 2010). As espécies vegetais são do tipo caducifólias (termo usado em botânica para denominar plantas que perdem suas folhas em determinadas épocas), perdendo suas folhas sobretudo na estação seca, isso se constitui como estratégia fisiológica dessas espécies, para evitar ainda mais a perda de água, sobretudo nas épocas mais secas do ano.

Silva et al. (2017), enfatizam a importância da preservação das terras e da água na região semiárida brasileira, onde os recursos naturais como solo, água e planta devem ser manejados com cautela, conforme as particularidades locais. O solo é um organismo vivo, que quando fora de seu equilíbrio natural reduz o seu potencial produtivo, afetando dessa forma a produção e, conseqüentemente, os que dependem dela para sobrevivência.

No tocante aos fatores pedológicos, os solos da região semiárida apresentam uma gama de variações em relação as suas características físicas, químicas e mineralógicas. As principais classes de solos representativas são: Latossolos (21%), Neossolo Litólico (19,2%), Argissolos (14,7 %), Luvissolos (13,3%), Neossolos

quartzarênicos (9,3%), Planossolos (9,1%), Neossolos regolíticos (4,4%) e Cambissolos (3,6%) (Jacomine, 1996).

A Geologia do estado do Rio Grande do Norte (pertencente a província Borborema) é composta por rochas de origem cristalina, remotas ao período pré-cambriano (cerca de 60% do território). Destaque para as formações serranas: Pico do cabugi, serra rajada e serra caiada. O restante do estado é constituído de rochas sedimentares (40%) remotas a eras geológicas mais atuais (Mesozóica e cenozóica) do grupo Apodi, formação serra de Martins, formação barreiras e serra potiguar (Angelim et al., 2006).

A formação Jandaíra (datada do cretáceo, com conteúdo fossilífero) é caracterizada por apresentar rochas carbonáticas, compostas basicamente por calcarenitos (Angelim et al., 2006). Sua formação geológica é composta de dois tipos de calcário: o calcítico e o dolomítico. Assim como, observa-se a formação de áreas aluvionais provenientes da deposição de sedimentos não consolidados, arenosos, siltosos e argilosos. Em algumas áreas, o calcário é recoberto por sedimentos arenosos, oriundos do Grupo Barreiras (Mota et al., 2008).

Estrutura e agregação do solo

A estrutura é o resultado da agregação das partículas primárias (areia, silte e argila) e de outros componentes do solo, como matéria orgânica, calcário e sais. É frequentemente expressa como o grau de estabilidade dos agregados sendo um fator importante que condiciona processos físicos, químicos e biológicos que conduzem a dinâmica do solo (Pereira & Thomaz, 2014).

A agregação do solo corresponde a junção de partículas primárias minerais do solo (areia, silte e argila), em partículas secundárias (agregados) (Hillel, 1998). De uma forma geral as forças que mantêm a união dessas partículas devem ser superiores as forças que venham a causar perturbações, e possam levar a desagregação, a estabilidade dos agregados e, portanto, influi na função das forças coesivas suportarem a aplicação das forças destrutivas (Kemper & Chepil, 1965; Kemper & Rosenau, 1986).

Lal & Shukla (2004) definem agregação como o processo de complexos de natureza organo-mineral, a partir de partículas primárias e de substâncias húmicas e outras substâncias de ligação.

A estabilidade de agregados refere-se à resistência à desagregação quando estes são submetidos a forças externas (ação de implementos agrícolas e impacto da gota de chuva) ou forças internas (compressão de ar e expansão/contração em agregados, com o umedecimento) que tentam rompê-los. Nesta perspectiva, a manutenção de um adequado estado de agregação do solo é uma condição primordial para garantir sua qualidade física e conseqüentemente uma alta produtividade agrícola (Stefanoski et al., 2013)

A metodologia para o estudo da agregação do solo, consiste em passar os agregados por um conjunto de peneiras com diâmetros decrescentes e quantificar as frações retidas em água ou a seco (no ar). Através dessa determinação, é possível obter a distribuição do tamanho dos agregados e calcular sua média ponderada, chamada de diâmetro médio ponderado (DMP) ou geométrico (DMG) de agregados estáveis.

Para a avaliação da estabilidade dos agregados são levados em consideração o diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA). O DMG relaciona-se ao tamanho da classe de agregado que ocorre em maior percentagem na amostra de solo. Já o DMP maior em função da percentagem de agregados grandes. O índice IEA refere-se a uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados. Quanto maior a quantidade de agregados inferiores a 0,25 mm, maior será o índice de estabilidade de agregados (Castro Filho et al., 1998; Pereira & Thomáz, 2014).

O fenômeno de agregação ocorre em duas etapas: inicialmente pela aproximação das partículas inorgânicas (floculação) e logo após a estabilização, por materiais de natureza cimentantes (exsudatos da biota do solo, óxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica e etc.). Portanto, a agregação ocorre em função de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema, além de ser o fator chave para o estabelecimento da estrutura do solo.

O processo químico deve-se ao efeito da floculação (aproximação) das partículas, sendo um requisito básico para a formação de partículas secundárias (agregados). A floculação é explicada pela predominância de cargas negativas que possui a fração argila, ao ocorrer a aproximação de duas partículas de argila os cátions (principalmente os polivalentes como Ca^{2+} , Fe^{2+} e Al^{3+}) que se interpõem entre elas auxiliam na junção das mesmas.

Além do auxílio dos cátions, a aproximação pode ocorrer via ação argila-argila, onde a carga negativa na superfície plana da fração é atraída pela carga positiva das

bordas de uma outra argila. Para que efetivamente ocorra a estabilização dos agregados é necessário o processo de cimentação, dado pela ação da matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio, sílica e carbonato de cálcio (Baver et al., 1973; Hillel, 1998; Brady & Weil, 2013).

O processo biológico inclui a ação das raízes, à medida que as mesmas extraem a água do solo provocam a aproximação das partículas, e por meio delas fornecem substratos orgânicos para a população microbiana contribuindo assim na agregação, além de envolverem fisicamente os microagregados, e contribuirão para a manutenção dos macroagregados.

A exsudação de compostos de plantas bem como dos organismos do solo, também, contribui para a cimentação das partículas. A secreção de substâncias gomosas por parte de fungos micorrízicos são particularmente eficientes em proporcionar estabilidade aos agregados, esses fungos secretam proteínas denominadas glomalinas que são eficientes agentes cimentantes. As bactérias também secretam polissacarídeos e outras substâncias orgânicas a medida em que decompõe os resíduos orgânicos (Oades, 1978; Tisdall & Oades 1979; França 1993; Brady & Weil, 2013).

Em relação a processos físicos pode-se ressaltar mecanismos de umedecimento e secagem, esses ciclos promovem a aproximação e o afastamento das partículas do solo. O processo de secagem leva a fragmentação, devido ao aumento das forças de ruptura. No processo físico, a ruptura da massa de solo em agregados pode ocorrer via compressão por raízes, ação da fauna do solo (pequenos animais), operações de cultivo, umedecimento e secagem (França, 1993).

Assim, o processo físico é balizado quando os agregados naturais são formados pela ação da fração argila, sob influência dos ciclos de umedecimento e secagem, com a aproximação e afastamento entre as partículas, assim como, por fragmentação, onde agregados menores são formados por unidades maiores; o químico denota da floculação e dispersão da argila, precipitação de óxidos de ferro e alumínio sobre a superfície dos minerais de argila; enquanto os macroagregados se forma pela ação da matéria orgânica pela interação e associação entre matéria orgânica e cátions polivalentes, e estes com as cargas negativas da fase sólida do solo, formando complexos-argilo-metal-húmicos (Campos et al., 2012; Vasconcelos et al., 2010).

Segundo Lepsch (2016), a formação de agregados do solo pode ser observada em diferentes processos: pela aproximação entre as partículas, devido à floculação da argila; à desidratação ou secamento do solo, criando fendas e aproximando partículas;

às raízes, que causam desidratação e exercem pressão sobre as partículas de solo; e aos organismos vivos, como as minhocas, as quais produzem coprólitos de alta estabilidade.

Tisdall & Oades (1982) propuseram uma divisão dos agregados do solo em macro e microagregados. Segundo estes autores, os macroagregados são os agregados superiores a 0,25 mm, enquanto que os microagregados são inferiores a 0,25 mm. Os macroagregados do solo são mais facilmente afetados pelas práticas de manejo adotadas, já os microagregados são mais estáveis e menos suscetíveis a práticas agrícolas de manejo, em função da união por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos (Salton et al., 2008).

Brady & Weil (2013) retratam que a matéria orgânica é um fator importante que auxilia no processo de agregação e estabilização dos macroagregados no solo, pois ela fornece as condições básicas que suportam as comunidades microbianas no solo (substrato energético para a biota do solo), à medida que vai ocorrendo a decomposição dos resíduos orgânicos vão se formando no solo compostos e substâncias gomosas que quando em conjunto com microrganismos (fungos e bactérias) promovem e auxiliam a estabilização e agregação (Fontana et al., 2010).

A estabilidade dos agregados influencia diversos aspectos do comportamento físico do solo, como a infiltração de água, além de ser relacionada ao encrostamento superficial, e a processos que levam ao controle de processos erosivos no solo (Le Bissonnais, 2016).

O manejo que se aplica ao solo afeta a estabilidade de agregados, o preparo intensivo do solo como a utilização de aração e gradagem promove a ruptura e fragmentação dos mesmos. Ao ocorrer essa ruptura, também, ocorre a exposição da matéria orgânica que estava contida intra-agregado, e conseqüente desestabilização dos agregados. Portanto é necessário que os solos sejam manejados de forma a manter ou preservar a agregação, utilizando um preparo mínimo, a utilização e manutenção dos resíduos na superfície é de fundamental importância nesse sentido, pois preservam a estrutura e condicionam melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Thomazini et al. (2013) ao estudarem os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café região sul do Espírito Santo, alcançaram resultados semelhantes, concluindo que sistemas agroecológicos (em função da manutenção do

aporte orgânico no solo) aumenta a estabilidade dos agregados e seu diâmetro em relação aos sistemas que utilizavam preparo convencional.

Cremon et al. (2011) constatou os efeitos dos diferentes sistemas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas estudando a distribuição do tamanho dos agregados de um Cambissolo Háplico Tb, manejado com a cultura do Arroz. O autor verificou que o preparo convencional do solo, que implica intenso revolvimento das camadas superficiais, reduziu a quantidade de agregados de maior diâmetro, tornando-os preponderantemente menores, mais redondos e lisos, comparativamente aos demais tratamentos.

Salton et al. (2008) corroboraram com este pensamento ao estudar a influência do manejo do solo sobre a agregação do solo e estabilidade de agregados em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Foram utilizados três sistemas de manejo do solo (lavoura de soja em plantio direto, lavoura de soja em rotação com pastagem em plantio direto e lavouras permanentes). O estudo concluiu que o solo manejado com pastagem promoveu maior índice de estabilidade de agregados, as gramíneas são plantas eficientes na agregação do solo, em função do seu sistema radicular fasciculado que explora maior região do solo.

2.3 A inter-relação entre os atributos do solo

Enquanto a textura do solo concerne ao tamanho das partículas, a estrutura refere-se ao arranjo e organização destas, formando os agregados do solo. A proporção relativa das classes de tamanho de partículas do solo, comumente conhecidas como textura, granulometria ou distribuição de tamanho de partículas, representa uma característica intrínseca ao solo, inerente ao material de origem (Hillel, 1998).

É considerada um atributo de difícil modificação em função do manejo do solo ou dos cultivos agrícolas adotados (Nunes et al., 2015). Assim por exemplo, operações como aração e gradagem, não modificam a textura do solo, para que ocorra alguma alteração é necessária uma escala de tempo de milhares de anos, por meio de ações promovidas pelo intemperismo.

Por possuir característica permanente, a textura apresenta importante relevância em relação a utilização agrícola dos solos, com influência sobre diversas outras propriedades do solo (retenção, disponibilidade e movimento da água no solo, capacidade de troca catiônica), além de atuar na expansão e contração, susceptibilidade

a erosão e a compactação (Ribeiro et al., 2012). Assim, pode-se afirmar que o uso do solo não afeta a textura, apenas em caso em que há remoção de argilas pelo processo erosivo.

A fração areia é composta basicamente por minerais primários, incluindo quartzo e outros silicatos, enquanto a fração argila define a fertilidade do solo em função dos tipos e quantidades, é constituída por minerais secundários ou pedogênicos, oriundos dos minerais primários que deixam de carregar características dos mesmos, incluindo os argilominerais dos tipos 1:1 e 2:1.

A argila é a fração ativa do solo, em função do tamanho de suas partículas (< 0,002 mm) perfazendo, portanto, uma grande área superficial específica com elevada atividade físico-química (Buckman & Brady, 1979; Reichardt & Timm, 2008).

O solo está em contínua atividade química, onde as reações se desenvolvem ao mesmo tempo dentro de cada uma de suas fases. A maioria dos fenômenos químicos ocorrem na fração coloidal em função da sua alta reatividade, onde a mesma apresenta heterogeneidade pelas características dos minerais, quanto ao tipo e quantidade.

Os solos intemperizados apresentam características físicas favoráveis quanto a infiltração e drenagem de água no solo, porém limitações químicas quanto a fertilidade, apresentando assim, limitada reserva de nutrientes. A baixa retenção de água e a ausência de impedimento físico facilita o crescimento radicular e maior macroporosidade.

A limitação quanto a fertilidade dos solos intemperizados está associada à baixa capacidade de troca de cátions (CTC), que por sua vez, predispõe esses solos ao processo de lixiviação de cátions básicos. Conforme observado por Ciotta et al., 2003; Ramos & Cunha, 1985, esta é uma característica típica dos Latossolos, onde a maior parte da CTC está associada às cargas negativas oriundas da matéria orgânica (que normalmente apresenta baixos teores em condições tropicais).

As frações areia e silte possuem área superficial específica pequena em relação a fração argila, como consequência, apresenta baixa atividade físico-química, mas são importantes na manutenção da macroporosidade do solo, onde predominam fenômenos não capilares, como também são indicativos de reserva nutricional (Baver et al., 1973).

A textura influencia diretamente diversas outras propriedades do solo tais como porosidade, agregação, densidade e retenção de água. Essa influência está ligada diretamente ao espaço poroso. Os solos arenosos possuem maior macroporosidade, em relação aos argilosos; estes por sua vez, possuem maior quantidade de microporos,

dessa forma, apresenta maior porosidade total, portanto possuem capacidade de reter maior quantidade de água e nutrientes (Klein, 2006).

Solos arenosos tendem em geral a apresentarem baixa agregação, em função da natureza mineralógica de suas partículas com predominância de minerais primários (baixa coesão). Por sua vez, a fração argila é responsável pela formação dos agregados primários, a depender do tipo de mineral, e os colóides orgânicos promovem essa interação e agregação das partículas, assim a união dos agregados primários aos secundários, formando assim o complexo argilo-orgânico-mineral, sendo a matéria orgânica fundamental na formação dos agregados secundários e sua estabilidade em solos de regiões tropicais e subtropicais (Oliveira et al., 2016).

Outra variável fortemente dependente de alguns atributos do solo, como a textura é a densidade do solo (Libardi, 2012). Solos arenosos apresentam densidade superior à dos solos argilosos, em função da densidade dos minerais ser elevada, enquanto que os solos siltosos apresentam comportamento intermediário. A densidade de solos arenosos pode variar de 1,3 a 1,8 g/cm³, enquanto em solos argilosos pode ficar entre 0,9 a 1,6 g/cm³, quando o manejo do solo e dos cultivos agrícolas são inadequados podem chegar a valores superiores a solos arenosos, com redução da macroporosidade (Reinert & Reichert, 2006).

A densidade do solo é uma propriedade física que à depender afeta (positiva ou negativamente) diversas outras propriedades do solo, como a porosidade, condutividade hidráulica e umidade do solo (Dam et al., 2005; Sequeira et al., 2014), sendo ainda utilizada como parâmetro de análise estrutural na avaliação do grau de compactação do solo (Reichardt & Timm, 2008; Pires et al., 2011) e no monitoramento e interação com demais atributos (Costa et al., 2007).

O teor de matéria orgânica também contribui para a redução da densidade (Marin, 2002). Esse fato é explicado pela densidade inferior que os compostos orgânicos possuem em relação aos constituintes minerais do solo, geralmente elevados teores de matéria orgânica são correlacionados com baixos valores de densidade do solo.

Os sistemas de preparo do solo provocam modificações na estrutura, e as práticas de preparo convencional com intensa mecanização, como aração e gradagem, tendem a promover a diminuição da densidade do solo logo após as práticas mecânicas desenvolvidas, essa diminuição ocorre devido a aumento do espaço poroso, ou seja, em função da rugosidade superficial. Vale ressaltar, que ao longo do tempo ocorrerá o

processo inverso, a condição de solo exposto resultará na ação dos agentes ativos agindo diretamente na superfície do solo, ocasionando assim um encrostamento, e conseqüentemente a compactação, aumento da densidade do solo e redução do espaço poroso.

Marinho et al. (2016) ao estudar atributos físicos em Cambissolos observou que o COT foi superior na mata nativa preservada (referência) e que a área agroecológica com atuação de práticas conservacionistas e diversidade de plantas consorciadas com a caatinga atingiu um índice de manejo de carbono em condições semelhantes a área de referência, enquanto que os demais usos ficaram distantes do índice de manutenção e/ou preservação dos agroecossistemas, e que o preparo convencional com aração e gradagem apresentou perda de COT nas frações recalcitrantes devido a quebra dos agregados, e a redução dos aportes de resíduos orgânicos, exposição a ação dos agentes ativos (água e vento) que ao longo do tempo provocou rearranjo das partículas do solo contribuindo para a compactação, e conseqüentemente o aumento da densidade do solo.

Tormena et al. (2016) avaliou o impacto de duas práticas de manejo (plantio direto e escarificação do solo) e três níveis de colheita do milho (sem colheita, com a palha permanecendo na superfície do solo, com colheita moderada cerca de 50 % da palha permanecendo sobre a superfície e com remoção de 90 % da palha). Ocorreu elevação da densidade do solo na área de plantio direto, bem como elevação na resistência a penetração em relação ao nível de colheita, podendo ser justificado pela superfície consolidada pela ausência de revolvimento do solo ao longo do tempo.

Por outro lado, sistemas conservacionistas como a utilização de plantas de cobertura protegendo a superfície do solo tendem a diminuir o valor da densidade do solo. Teixeira et al. (2016) ao estudar diferentes sistemas de cobertura como o milheto crotalaria e pousio observou redução da densidade, em função principalmente da utilização de sistemas de cobertura como o milheto.

Outro atributo que está estreitamente relacionado as forças de coesão e adesão refere-se a consistência do solo que pode ser definida como a resposta do solo a deformação em função da aplicação de forças externas, podendo ocasionar compressão da massa de solo, fratura ou fluxo, que é governada pelo conteúdo de água no solo e os agentes cimentantes (argila, óxidos de ferro, carbonatos, matéria orgânica e outros) (Forsythe,1975; Santos et al., 2013). Conforme varia a umidade o solo manifesta-se

diversas formas de consistência (tenaz ou duro, friável, plástica, pegajosa e fluidez) (Vieira, 2006).

Os componentes presentes no processo de agregação do solo estão intrinsecamente relacionados ao tamanho das partículas, a presença de óxidos e sesquióxidos de ferro e de alumínio, quantidade e tipo de argila, presença sílica coloidal, regime hídrico, compostos orgânicos, vegetação, macro e microrganismos.

Assim, a estabilidade dos agregados tem uma influência direta com diversas características do solo, como textura, teor de óxidos de ferro e alumínio, teor de matéria orgânica e atividade microbiana (Carpenedo & Milniczuk, 1990).

Assim, o conhecimento dos atributos do solo para auxiliar na adoção técnicas que venham viabilizar e contribuir na dinamicidade do sistema solo-planta, é importante para o entendimento da complexidade das transformações nos agroecossistemas (Lepsh, 2013).

REFERÊNCIAS

Alencar, Maria Tereza de. Caracterização da macrorregião do Semiárido Piauiense. *Semiárido Piauiense: Educação e Contexto*, Campina Grande: INSA, p. 15-16, 2010.

Angelim, L. A. A.; Medeiros, V. C.; Nesi, J. R. Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

Baver, L.D.; Gardner, W.H.; Gardner, W.R. Física de suelos. México: 4 ed, Hispano-americana. 529 p. 1973.

Bertol, O.J.; Pauletti, V.; Dieckow, J. A transferência de tecnologia em manejo e conservação do solo e da água. *Bol. Inf. SBCS*, v. 37, p. 26-31, 2012.

Brady, N.C. & Weil, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: 3 ed, Bookman, 716 p. 2013.

Buckman, H.O. & Brady, N.C. Natureza e propriedade dos solos. Rio de Janeiro: 5 ed, Biblioteca Universitária Freitas Bastos, 647 p. 1979.

Campos, M. C. C.; Santos, L. A. C.; Silva, D.M.P.; Mantovanelli, B. C.; Soares, M.D.R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *Agroambiente*, v. 6, n.2, p. 102-109, 2012.

Carpenedo, Valcir; Mielniczuk, João. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Bras. Ci. Solo*, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.

Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Viçosa, v. 22, p. 527-538, 1998.

Cavalcante, J.S.J; Portela, J.C; Melo, S.B; Melo, M.R.S; Cosme, C.R; Costa, J.D; Gurgel, G.C.S. Attributes of Neosols associated with agricultural uses in the Semi-arid Region of Rio Grande do Norte, Brazil. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, v. 7, p. 184-190, 2016.

Ciotta, M. N., Bayer, C., Fontoura, S. M. V., Ernani, P. R., & Albuquerque, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. *Ciência rural*. Santa Maria. Vol. 33, n. 6 (nov./dez. 2003), p. 1161-1164, 2003.

Costa, M.J; Rosa Júnior, E.J; Rosa, Y.B.C.J; De Souza, L.C.F; Rosa, C.B.J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 29, p. 701-708, 2007.

Costa, A.B.F.; Araujo-Junior, C.F.; Caramori, P.H.; Yada, I.F.U.; Medina, C.C. Physical and hydraulic properties of a Latosol influenced by land use and management changes. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 3217-3226, 2016.

Cremon, C., Sacco, D., Grignani, C., Rosa Júnior, E. J., & Mapeli, N. C. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 3, 2011.

Dam, R.F; Mehdi, B. B; Burgess, M.S.E; Madramootoo, C.A; Mehuys, G.R; Callum, I.R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 84, p. 41-53, 2005.

Fontana Brito, A.; R. J. D.B; Pereira, M. G., & Kamp; Loss, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos detabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 3, 2010.

Forsythe, W. Física de suelos: manual de laboratorio. New York: University Press, 324p. 1975.

França, I.S. Formação, estabilidade e qualidade de agregados do solo afetados pelo uso agrícola. 1993 137 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

Giongo, V.; Cunha, T.J.F.; Mendes, A.S.M.; Gava, C.A.T. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de geografia física*. v. 6 p. 1233-1253, 2011.

Hillel, D. Environmental soil physics. San Diego: 1 ed, Academic Press, 801p. 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores Sociais Municipais: Uma análise dos resultados do universo do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro, 149 p. 2011.

Jacomine, P.T.K. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez V.V. H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. (Ed.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 96-111. 1996.

Kemper, W. D.; Chepil, W. S. Size distribution of aggregates: Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, p. 449- 510. 1965.

Kemper, W.D & Rosenau, R.C. Aggregate Stability and Size Distribution. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, 1986.

Klein V. A. Densidade relativa - Um indicador de qualidade física de um Latossolo vermelho. *Revista Ciência agro veterinária*, Lages, v.5, p. 26-32, 2006.

Lal, R. & Shukla, M.K. Principles of soil physics. New York: 6nd Edition, Basel, 699 p. 2004.

Le Bissonnais, Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: I. Theory and methodology. European Journal of Soil Science, France, v. 67, p. 1-21, 2016.

Lepsch, Igo Fernando. As necessidades de efetuarmos levantamentos pedológicos detalhados no Brasil e de estabelecermos as séries de solos. Revista Tamoios, v. 9, n. 1, p. 3-15. 2013.

Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: 2^{ed} edição, Editora da Universidade de São Paulo. 352 p. 2012.

Marin, A.M.P. Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. 2002 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

Marinho, A.C.C.S.; Portela, J.C.; Silva E.F.; Dias, N.S.; Sousa Júnior F.S.; Silva A.C.; Silva J.F. Organic matter and physicochemical attributes of a cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. Australian Journal of Crop Science, v. 10, p. 32-41, 2016.

Mazurana, M., Levien, R., Müller, J., & Conte, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. Revista Brasileira de ciência do solo. Campinas. Vol. 35, n. 4 (jul./ago. 2011), p. 1197-1206. 2011.

Mota, J. C. A.; Assis Júnior, R. N. D.; Amaro Filho, J.; Libardi, P. L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 49-58. 2008.

Nunes, A.A.L.; Portela, J.C.; Dias, N.S.; Silva, M.L.N.; Silva, J.F.; Rebouças, C.A.M.; Porto, V.C.N.; Neto, M.F. Alluvial soil quality in agroforestry systems and native forest of the Brazilian semiarid region. African Journal of Agricultural Research, v.10, p.3731-3739, 2015.

Oades, J.M. Mucilages at the root surface. Soil science, USA, v. 29, p.1-16, 1978.

Oliveira, L. L. P. Influência do sistema de cultivo e manejo do solo nas propriedades físico-químicas e hídricas em Cambissolo no Semiárido Potiguar. 2016 86 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e água) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

Pereira, A.A.; Thomaz, E.L. Estabilidade de agregados em diferentes sistemas de uso e manejo no município de Reserva, PR. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, p. 378-387, 2014.

Pires, L.F.; Rosa, J.A.; Timm, L.C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 33, p. 161-170, 2011.

Portela, J.C.; Cogo, N.P.; Bagatini, T.; Chagas, J.P.; Portz, G. Restauração da estrutura do solo por sequências culturais implantadas em semeadura direta, e sua relação com a erosão hídrica em distintas condições físicas de superfície. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, p.1353-1364, 2010.

Ramos, D.P.; Cunha, L.H. Caracterização de solos afetados por sais em condições hidromórficas da região de Campos (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.9, p.155-159, 1985.

Reichardt, K. & Timm, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: 2 edição, Manole. 524 p. 2008.

Reinert, D.J. & Reichert, J.M. Propriedades Físicas do solo. Apostila. Santa Maria, 2006.

Ribeiro, M.R; Oliveira, L.B; Araujo Filho, J.C. In: Ker, J.C; Curi, N; Schaefer, C.N.G.R; Torrado, P.V. (Ed). *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 47-80, 2012.

Salton, J.C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Boeni, M.; Conceição, P.C.; Fabrício, A.C.; Macedo, M.C.M.; Broch, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, p. 11-21, 2008.

Santi, A. L., Amado, T. J. C., Cherubin, M. R., Martin, T. N., Pires, J. L., Della Flora, L. P., & Basso, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1346-1357. 2012.

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumberras, J.F.; Cunha, T.J.F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3. ed. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, 306p. 2013.

Santos, T.E.M.; Montenegro, A.A.A.; Pedrosa, M.E.R. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semiárido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13. P. 217-225, 2009.

Sequeira, C.H.; Wills, S.A.; Seybold, C.A.; West, L.T. Predicting soil bulk density for incomplete databases. *Geoderma*, Amsterdam, v. 213, p. 64-73, 2014.

Silva, Luana Patricia Costa et al. Convivência com o Semiárido: a ameaça da escassez da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) frente aos processos produtivos de camponeses do Cariri Paraibano. *Revista Semiárido De Visu*, v. 5, n. 2, p. 104-113, 2017.

Stefanoski, D. C., Santos, G. G., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Pacheco, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2013.

Teixeira, R.B.; Borges, M.C. R. Z.; Roque, C. G.; Oliveira, M. P. Tillage systems and cover crops on soil physical properties after soybean cultivation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.20, p. 1057-1061, 2016.

Thomazini, A., Azevedo, H. C. D. A. de., Pinheiro, P. L., & de Sá Mendonça, E.. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café na região sul do Espírito Santo. *Coffee Science*, v. 8, n. 4, p. 450-459, 2013.

Tisdall, J.M.; & Oades, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils, *Journal of Soil Science, USA*, v. 33, p. 141-163, 1982.

Tormena, C. A. et al. Corn Stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 166, p. 122-130, 2016.

Tormena, C. A.; Barbosa, M. C.; Costa, A.C.S.; Goncalves, A. C. A. Soil bulk density, porosity and resistance to root penetration in an Oxisol managed by different soil tillage systems. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, p.795-801, 2002.

Vasconcelos, F. B., R., Cantalice, B. J. R., Oliveira, S. V; Costa, J. Y.D., & Kamp; Cavalcante, M.D.. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana- de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 2, 2010.

Vieira, M.L. Propriedades físico-hídrico-mecânicas do solo e rendimento de milho submetido a diferentes sistemas de manejo. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado em agronomia, produção vegetal) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

1 – CAPÍTULO I

ATRIBUTOS ESTRUTURAIS E QUÍMICOS ASSOCIADOS ÀS FRAÇÕES INORGÂNICAS NA CARACTERIZAÇÃO DE AMBIENTES DO SEMIÁRIDO POTIGUAR

1. RESUMO

A estrutura do solo refere-se ao arranjo estrutural das partículas do solo, e desempenha estreita relação com os fatores de crescimento vegetal. As suas inter-relações com a textura e os atributos químicos, constituem um importante instrumento na diferenciação dos ambientes. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar atributos estruturais em associação com físicos e químicos em classes de solos, utilizando a técnica de estatística multivariada na diferenciação dos ambientes. A pesquisa foi realizada no Projeto de Assentamento Terra da Esperança, município de Governador Dix-Sept Rosado, no Rio Grande do Norte na região Semiárida do Brasil. Foram selecionados 10 perfis. As amostras de solo foram coletadas nos horizontes das áreas supracitadas, para as indeformadas constituíram 10 amostras por horizontes em anéis volumétricos como também, em blocos de solo (análise de agregados), e as deformadas em triplicatas no laboratório. Foram determinados os atributos estruturais, físicos e químicos. Os dados foram analisados submetendo-os a técnicas de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise de agrupamento e a análise fatorial com extração dos fatores em componentes principais. A análise fatorial revelou que as variáveis argila, Ca^{2+} , Na^+ , soma de bases (SB) e saturação por bases (V) para o fator 1 (F1), seguido das variáveis capacidade de troca catiônica (T), carbono orgânico total (COT), macroporosidade, densidade de partículas (Dp), K^+ e Microporosidade (F2) foram atributos essenciais na distinção dos ambientes. O uso da análise de agrupamento possibilitou a formação de quatro grupos de solos, os estruturais apresentaram maior similaridade, evidenciando as relações entre o material de origem e usos, seguido dos químicos P, K^+ , T, Ca^{+2} , V e pH (Chernossolo Rêndzico), os estruturais diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), agregados maiores que 2mm (AGRI>2mm), índice de plasticidade (IP), e limite de plasticidade (LP) (Latosolo Vermelho amarelo) e os físico-químicos CE, Na^+ , Silte, macrop., P_{calc}, m, Areia Tot., θ , Mg^{+2} e Dp (Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico). A fração argila apresentou inter-relação com os atributos químicos (F1), na distinção das classes e usos. As classes de solos em estudo apresentaram caráter eutrófico ($V \geq 50\%$), inclusive o Latossolo Vermelho amarelo (Perfil 4) em função das variáveis Na^+ e Ca^{2+} , apresentando, contudo, valores inferiores as demais classes, o que constitui uma particularidade local, em função do padrão climático da região semiárida.

Palavras-chave: Caatinga, Estatística multivariada, Aeração.

2. ABSTRACT

The soil structure refers to the structural arrangement of soil particles, and has a close relationship with plant growth factors. Their interrelations with texture and chemical attributes are an important instrument in the differentiation of environments. In this sense, the objective of the present work was to evaluate structural attributes in association with physical and chemical soil classes, using the multivariate statistical technique in the differentiation of the environments. The research was carried out in the Terra da Esperança Settlement Project, in the municipality of Governador Dix-Sept Rosado, in Rio Grande do Norte in the semi-arid region of Brazil. We selected 10 profiles. The soil samples were collected in the horizons of the aforementioned areas. For the undisturbed plants, 10 samples were collected per horizons in volumetric rings, as well as in soil blocks (aggregate analysis), and deformed in triplicates in the laboratory. Structural, physical and chemical attributes were determined. The data were analyzed by subjecting them to multivariate statistical techniques, through correlation matrix, cluster analysis and factorial analysis with factor extraction in main components. The factorial analysis revealed that the variables clay, Ca^{2+} , Na^+ , sum of bases (SB) and saturation by bases (V) for factor 1 (F1), followed by the variables cation exchange capacity (T), total organic carbon (TOC), macroporosity, particle density (Dp), K^+ and Microporosity (F2) were essential attributes in the distinction of environments. The use of cluster analysis allowed the formation of four groups of soils, the structural ones showed greater similarity, evidencing the relationships between the source material and the uses, followed by the chemicals P, K^+ , T, Ca^{2+} , V and pH (Chernossolo), $\text{AGRI} > 2\text{mm}$, plasticity index (IP), and plasticity limit (LP) (Latosolo Amarelo), and the structural parameters were: weighted average diameter (DMP), geometric mean diameter (DMG), aggregates larger than 2mm ($\text{AGRI} > 2\text{mm}$) physical-chemical CE, Na^+ , Silte, macrop., P_{calc}, m, Sand Tot., θ , Mg^{+2} and Dp (Cambissolo e Neossolo Flúvico). The clay fraction presented an interrelation with the chemical attributes (F1), in the distinction of classes and uses. Soil classes under study presented a eutrophic character ($V \geq 50\%$), including the Latossolo Vermelho amarelo (Profile 4) as a function of the Na^+ and Ca^{2+} variables, but presented lower values than the other classes, which is a local peculiarity, due to the climatic pattern of the semi-arid region.

Key words: Caatinga, Multivariate statistics, Aeration.

3. INTRODUÇÃO

A região Semiárida é um ambiente de contrastes, com uma diversidade de formações geológicas, relevos e vegetação, que em associação com as particularidades locais e posição na paisagem, incidem diretamente sobre a pedodiversidade e feições morfológicas dos solos presentes nessa região, com expressivas diferenciações das classes de solos, caracterizados pela variabilidade espacial e temporal de seus atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos (Carvalho, 2017). Apesar de serem caracterizados, na sua maioria, como pouco desenvolvidos do ponto de vista pedogenético, apresentando restrições físicas limitantes ao desenvolvimento das plantas, esses solos no geral, apresentam fertilidade, em função de sua litologia e o padrão climático, interligados com os demais fatores e processo de formação.

Contudo, a despeito dos atributos do solo dessa região, a lógica com bom senso de utilização dos recursos naturais, traz consigo a necessidade da construção de conhecimentos concisos de suas potencialidades e/ou limitações, o que passa inevitavelmente pelo delineamento de características intrínsecas do solo, do ambiente e das pessoas inseridas no local, que tem estrita relação entre si, fornecendo subsídios para a implantação de atividades que compatibilizem as potencialidades locais do meio físico com as necessidades de utilização do solo para atender aos fins de produção, além de garantir sua conservação e a inserção social (Lepesh, 2015).

A estrutura do solo do ponto de vista da física é facilmente modificado pela ação antrópica, por referir-se ao arranjo estrutural das partículas do solo, desempenha estrita relação com os fatores de crescimento vegetal, refletindo no espaço poroso, influenciando os fluxos de ar, água e calor às raízes das plantas, o suprimento de nutrientes, desenvolvimento do sistema radicular e resistência mecânica à penetração, condições ideais para garantir o desenvolvimento dos cultivos agrícolas (Machado & Mielniczuk, 2009).

Assim, surge à necessidade da caracterização dos atributos estruturais e químicos do solo e suas inter-relações, os quais em conjunto fornecem subsídios para tomada de decisões, a fim de propiciar melhorias e/ou manutenção da capacidade produtiva do solo, levando em consideração suas potencialidades e limitações.

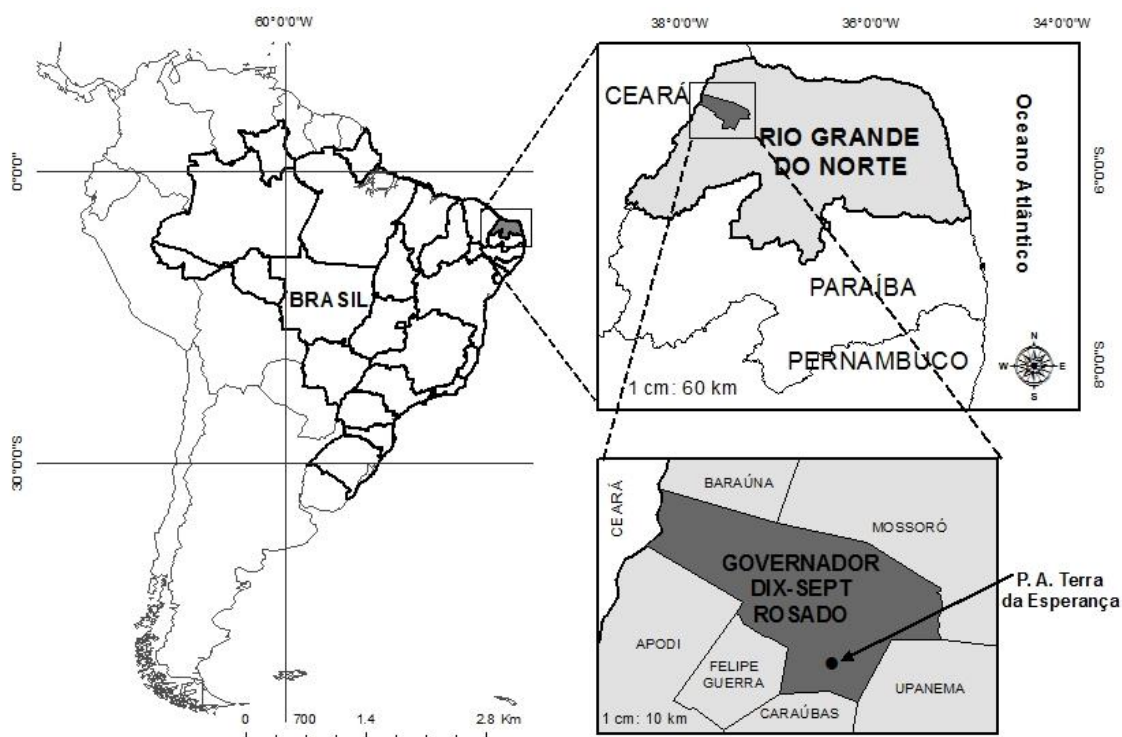
Nesse sentido, Castilho (2017) destaca que a técnica da análise multivariada tem sido utilizada com êxito em estudos envolvendo atributos do solo por permitir detectar e separar os ambientes e quais são os mais sensíveis na sua distinção, avaliando simultaneamente um conjunto de características levando-se em consideração as correlações existentes entre as variáveis.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização dos ambientes, por meio do estudo dos atributos estruturais e químicos em associação com as frações inorgânicas, tendo em vista apontar distinção dos ambientes por meio dos atributos mais sensíveis, utilizando a técnica de análise multivariada em classes de solos, no assentamento Terra da Esperança, na mesorregião do Oeste Potiguar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Projeto de Assentamento (PA) Terra da Esperança, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado, inserido na mesorregião Oeste Potiguar, microrregião da Chapada do Apodi e na região Semiárida do Rio Grande do Norte. O município de Governador Dix-Sept Rosado possui coordenadas: 05° 27' 32,4" de latitude Sul e 37°31'15,6" de longitude Oeste. Apresenta classificação climática segundo Koppen, Semiárido quente, tipo BSw'h, com precipitação pluviométrica média anual de 712 mm durante os meses de fevereiro a maio, com vegetação natural de Caatinga Hiperxerófila, caducifólia (Alvares et al. 2013).

Figura 01. Localização da área de estudo.



Fonte: Grupo de pesquisa de Física e Manejo do Solo, UFERSA (2018).

Para o referido estudo foram investigados diferentes agroecossistemas preservados (áreas de referência) e usos agropecuários, em classes de solos, nos respectivos horizontes. Foram selecionadas dez (10) áreas, sendo definidas pelos perfis (Tabela 1).

Tabela 1. Usos, classificação e localização dos ambientes estudados.

Perfil	Usos	Classe	Localização
1	Área Convencional (1AC)	Cambissolo Háptico	05° 29' 13,0" S 37° 24' 33,1" W
2	Área coletiva (2AC);	Cambissolo Háptico	05° 30' 17,6" S 37° 27' 01,3" W
3	Área Agroecológica (3AGRO)	Cambissolo Háptico	05° 30' 22,9" S 37° 27' 06,8" W
4	Mata nativa (4MN)	Latossolo Vermelho-amarelo	05° 29' 42,7" S 37° 28' 30,3" W
5	Área Convencional de Pastejo (5AC)	Chernossolo Rêndzico	05° 32' 21,18" S 37° 26' 01,2" W
6	Mata Nativa (6MN)	Cambissolo Háptico	05° 32' 24,0" S 37° 25' 59,4" W
7	Mata Nativa (7MN)	Cambissolo Háptico	05°28' 40,7" S 37° 26' 16,3" W
8	Área de Preservação Permanente (8APP)	Neossolo Flúvico	05°29' 45,5" S 37° 27' 50,6" W
9	Mata Nativa (9MN)	Cambissolo Vertissólico	05°28' 54,7" S 37° 24' 52,7" W
10	Área de Cajaraneiras (10CAJA)	Cambissolo Háptico	05°29' 50,9" S 37° 27' 14,8" W

Para caracterização dos ambientes coletaram-se amostras com estruturas deformadas e indeformadas nas áreas supracitadas, nos seus respectivos horizontes, sendo estas acondicionadas em sacos plásticos, e analisadas no complexo do Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Foram determinadas as frações inorgânicas: textura (silte, areia e argila), assim como a densidade de partículas (dp), os limites de consistência: Limite de Liquidez (LL); Limite de Plasticidade (LP); Índice de plasticidade (IP), e os atributos estruturais do solo: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, umidade volumétrica e estabilidade de agregados (Diâmetro Médio Ponderado - DMP; Diâmetro Médio Geométrico - DMG). Os atributos químicos estudados foram: condutividade elétrica (CE), pH em água, porcentagem de sódio trocável (PST), carbono orgânico total (COT), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sendo posteriormente calculada a capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (m).

A granulometria foi obtida pelo método da pipeta utilizando dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) e água destilada em 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA),

com agitação mecânica lenta em agitador (Wagner 50 rpm) por 16 horas, sendo a fração areia (2 a 0,05 mm) quantificada por tamisagem, a argila (< 0,002 mm) por sedimentação e o silte (0,05 a 0,002 mm) por diferença entre as frações areia total e argila. A análise de densidade de partículas foi realizada pelo método do balão volumétrico, descrito por Kiehl (1979), utilizando-se terra fina seca em estufa (TFSE) a 105°C e álcool etílico.

Os testes de consistência do solo foram determinados com base nos limites de liquidez (LL) com a utilização do aparelho de Casagrande. O limite de plasticidade (LP) foi determinado com quatro repetições, retirando-se amostra representativa da parte central do cisalhamento do solo na esfera metálica do equipamento, proveniente da determinação do limite de liquidez e formando-se uma esfera, que é comprimida sobre placa de vidro até formar um bastão cilíndrico entre 3,0 a 4,0 mm de diâmetro, sem quebrar ou fluir, e o índice de plasticidade (IP) pela diferença entre o (LL) e (LP). A umidade gravimétrica foi determinada na condição de plasticidade para os bastões de solo.

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando aparelho tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, sendo coletadas 10 (dez) amostras por horizonte nos respectivos perfis, para avaliação dos atributos densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total e determinada. A densidade do solo foi determinada pelo do anel volumétrico descrito por Forsythe (1975), com volume conhecido, e tomando-se a média dos valores obtidos, sendo representada pelo quociente da massa das partículas sólidas do solo pelo volume total do solo, e expressa em kg.dm^{-3} .

A análise da macroporosidade, microporosidade e porosidade total, as amostras indeformadas nos anéis volumétricos foram saturadas por 48 horas e pesadas (para determinar a porosidade total). O método empregado para a determinação dessas propriedades foi o da “mesa de tensão”, segundo Kiehl (1979), na tensão de 6 kPa (microporosidade). A microporosidade foi determinada, pelo conteúdo de água retida no solo para o valor de h igual a 60 cm de água (aproximadamente um raio de poro de 25 μm). E a macroporosidade do solo foi determinada por meio da diferença entre a porosidade total e microporosidade do solo.

Para o estudo dos agregados foram extraídos blocos, nos respectivos horizontes em cada classe e passados em peneiras com abertura de malha de 4,00 e 2,00 mm, preservando a estrutura dos agregados pelas unidades de fraqueza. Utilizou-se o método

de peneiramento via úmida com peneiras de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25, no aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), conforme (Kemper & Rosenau, 1986). Após a separação dos agregados obtidos por agitação em água as amostras foram levadas à estufa para secagem a 105°C. Após a obtenção da massa seca, descontou-se a fração areia, e posteriormente obteve-se a distribuição do tamanho dos agregados, a percentagem de agregação e de agregados estáveis em água e o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Para realização das análises químicas foram utilizadas amostras deformadas, sendo avaliados os atributos: potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica (CE) em água, carbono orgânico total (COT), por digestão da matéria orgânica e os macronutrientes: cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) com extrator cloreto de potássio, análise do fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+) com extrator Mehlich 1, sendo posteriormente calculada a capacidade de troca de cátions (T), e saturação por bases (V), sendo interpretados conforme Manual de Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais (Ribeiro & Guimarães, 1999).

Os dados dos atributos com estrutura deformada foram expressos por meio da média de quatro repetições, e submetidos à análise estatística por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal utilizada na detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes nos solos sob diferentes usos, utilizando o programa Software Statistica 7.0 (Stansoft, 2004).

Para interpretação dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes em estudo, os dados foram submetidos à análise de estatística multivariada como ferramenta principal, especificamente por meio das análises de componentes principais, fatorial e agrupamento.

Foi utilizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para as 26 variáveis, entre atributos do solo com o objetivo de garantir que estas possuíssem correlações mínimas suficientes para justificar o seu uso na matriz de dados. Os resultados analíticos foram padronizados pela matriz de correlação e posteriormente submetidos a técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento (AA), análise fatorial (AF) e análise de componentes principais (ACP) (Hair et al. 2009).

A análise de agrupamento (AA) foi representada pelo dendograma vertical da matriz de distância, adotou-se a distância euclidiana como medida de similaridade e o método de Ward para ligar os casos entre si. Na AA a importância de cada variável na distinção dos ambientes é mensurada em função da sua menor distância em relação ao

eixo de referência, eixo do x ou do y, sendo que o eixo que contém o maior valor de variância acumulada explica boa parte das causas de variação (Sá Paye et al., 2012).

Para a AF, os fatores com autovalores maiores que 1 foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Para este estudo estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (Hair Jr. et al. 2009).

Atribuindo-se o valor 4 para a distância de ligação no dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento, foi possível identificar quatro grandes grupos de solos (Figura 1). Na (AF) observa-se a contribuição de cada variável em relação a cada fator, sendo os fatores definidos pelos atributos diferenciadores dos ambientes.

Como ferramenta para distinção de ambientes foram confeccionados seis diagramas dos componentes principais (Fator 1 e 2, Fator 3 e 4, Fator 5 e 6) para os atributos físico-químicos. A partir desses dados foram criados diagramas bidimensionais para distinção das áreas e diagramas de projeção de vetores para verificação dos atributos do solo sensíveis na distinção dos ambientes estudados (Hair et al. 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlações significativas foram encontradas principalmente entre o atributo DMP e os elementos AGRI (%) >2 mm, LL, IP, PT det., P_{calc.}, Microp., Areia Tot, Argila, V e m (Tabela 01).

O pH apresentou correlações significativas com CE, Ca²⁺, V e m %, sendo essas características explicadas e diferenciadas entre as classes de solo, e da formação geológica da região em estudo, assim como, os processos pedogenéticos atuando em conjunto na diferenciação dos atributos do solo e suas correlações. Assim, as correlações altas entre o pH e os valores de CE, Ca²⁺ e V indicam a contribuição dessas variáveis para os níveis de alcalinidade, evidenciadas sobretudo na Classe de Chernossolo Rêndzico. Quanto a CE, esta refere-se à quantidade de sais solúveis no complexo de troca, e é diretamente proporcional à quantidade de íons, e valores elevados de bases trocáveis tornam o solo alcalino, e limitando o desenvolvimento das culturas (Ribeiro et al., 2007).

Dentre as bases trocáveis, destacou-se o Ca²⁺, em função da litologia local, que de acordo com Angelim et al. (2006) a região da Chapada do Apodi está sob a formação geológica calcário Jandaíra, composta basicamente por calcário, com rochas ricas em carbonatos, fornecendo quantidades elevadas de cálcio e magnésio, contribuindo para a alcalinidades encontrada nessas áreas. Mota et al. (2008) ao realizar caracterização dos solos na região da Chapada do Apodi - RN, constatou os efeitos da litologia da região sobre o pH, evidenciando que solos derivados de calcário apresentam reação de neutra a alcalina em consequência dos elevados teores carbonatos, refletindo nas bases trocáveis, conforme observado por Marinho et al. (2016).

Verificou-se correlação entre o pH e a m% (saturação por alumínio), consequência da solubilidade deste sob diferentes faixas de pH, sendo que a m % representa a proporção de alumínio solúvel em relação aos teores das bases trocáveis e do alumínio na CTC do solo. Estas variáveis são inversamente proporcionais, tendo o valor de pH=5,5 como faixa crítica, sendo que valores abaixo dessa faixa o Al³⁺ torna-se mais solúvel, com a perda das bases trocáveis e sílica pelo processo de lixiviação, predominando assim, os índices de acidez Al³⁺ e o H+Al, que são liberados da rocha para a solução do solo (Perin et al., 2010), em função do processo pedogenético de latolização, típico da classe de Latossolo.

O COT apresentou correlações significativas para P, K^+ , Ca^{+2} e T, o que refletiu na diferenciação do grupo IV (Tabela 1 e Figura 1), identificado pelo Chernossolo Rêndzico, sendo esta explicada pela contribuição do COT sobre estes índices de fertilidade. Quanto ao K^+ por não ser metabolizado pelas plantas e sim, incorporado na fitomassa vegetal, formando ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade, conseqüentemente, rápida taxa de liberação pelos resíduos (Perin et al., 2010). A alta correlação entre o P e a matéria orgânica (MO) deve-se a ciclagem deste nutriente no solo por meio da atividade microbiana pelo suporte energético vegetal, nas formas lábil e não lábil, sobretudo, nos horizontes superficiais, sendo esse efeito acentuado em áreas de mata nativa preservada, em função da constante deposição de resíduos vegetais (Turrión et al., 2010).

Vale ressaltar que a contribuição do COT para a liberação de P se torna mais expressiva nos solos intemperados das regiões tropicais, onde os argilominerais do tipo 1:1, de atividade coloidal baixa, apresentam força de adsorção elevada, favorecendo assim, a complexação das formas orgânicas e inorgânicas do P na matriz do solo, o que torna esse elemento pouco lábil, constituindo baixa fertilidade (Machado et al., 2012), nesse sentido, o P orgânico destaca-se na disponibilidade desse elemento ao solo.

Pereira et al. (2011) ao estudar a MOS leve e o P remanescente em usos agrícolas, concluiu que em áreas de semeadura direta, com plantas de cobertura ocorreu o aumento nos teores MOS leve, reduzindo a adsorção de P no solo, em função da MOS adsorver, e/ou bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas de baixa atividade coloidal. Leite et al. (2017) verificaram a contribuição da MOS no incremento de P orgânico lábil no solo, ao constatar que a manutenção de cobertura vegetal na área de cultivo (cana crua) possibilitou maior teor de P orgânico e das demais formas de P (P total, P disponível, P inorgânico e P nas substâncias húmicas), quando comparado às áreas de queimadas.

Tabela 2. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo, no Projeto de Assentamento Terra da Esperança – RN.

	DMP	DMG	AGRI	LL	LP	IP	PT det.	Ptcal	Microp.	Macrop.	Areia	Silte	Argila	Dp	θ	pH	CE	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	T	V	m	
DMP	1,00																										
DMG	0,26	1,00																									
AGRI (%)	0,44	0,05	1,00																								
>2 mm																											
LL	0,42	0,16	0,42	1,00																							
LP	0,20	0,07	0,54	0,69	1,00																						
IP	0,42	0,16	0,14	0,82	0,15	1,00																					
PT det.	0,57	-0,11	0,43	0,34	0,03	0,44	1,00																				
Ptcal.	0,33	0,07	0,31	0,18	0,14	0,13	0,61	1,00																			
Microp.	0,66	-0,12	0,46	0,46	0,15	0,50	0,93	0,52	1,00																		
Macrop.	-0,04	-0,02	0,06	-0,18	-0,28	-0,02	0,46	0,37	0,10	1,00																	
Areia Tot	-0,46	0,10	-0,28	-0,37	-0,15	-0,39	-0,58	-0,31	-0,49	-0,39	1,00																
Silte	0,14	0,05	0,05	0,03	0,04	0,00	0,13	0,17	-0,02	0,39	-0,74	1,00															
Argila	0,43	-0,21	0,31	0,47	0,15	0,52	0,62	0,20	0,69	0,00	-0,33	-0,39	1,00														
Dp	-0,09	0,13	-0,18	-0,03	0,02	-0,06	-0,46	-0,06	-0,44	-0,19	0,15	0,09	-0,34	1,00													
θ	0,03	0,02	-0,14	-0,11	0,02	-0,17	-0,30	-0,09	-0,24	-0,24	0,19	-0,08	-0,14	0,26	1,00												
pH	0,19	-0,07	0,25	-0,08	0,07	-0,17	0,19	0,08	0,16	0,13	-0,42	0,49	-0,11	0,20	0,03	1,00											
CE	0,06	-0,06	0,07	0,22	0,17	0,17	0,14	0,29	0,07	0,22	-0,52	0,62	-0,15	0,21	-0,07	0,35	1,00										
COT	0,10	0,03	0,06	0,02	0,08	-0,03	0,06	0,14	0,20	-0,32	0,18	-0,07	-0,14	0,15	0,07	0,22	-0,02	1,00									
P	0,12	-0,05	0,32	0,29	0,26	0,20	0,12	0,24	0,17	-0,08	0,00	0,03	-0,05	0,20	-0,05	0,15	0,17	0,56	1,00								
K ⁺	0,18	-0,03	0,10	0,00	0,18	-0,13	0,02	0,21	0,18	-0,38	0,21	-0,26	0,07	0,08	0,19	0,17	0,04	0,66	0,31	1,00							
Na ⁺	-0,11	0,03	-0,03	0,08	-0,01	0,11	0,06	0,14	-0,10	0,40	-0,54	0,72	-0,28	0,13	-0,05	0,30	0,67	-0,19	0,00	-0,27	1,00						
Ca ²⁺	0,29	-0,03	0,18	0,03	-0,09	0,10	0,55	0,13	0,52	0,24	-0,17	-0,10	0,37	-	0,00	0,47	-0,15	0,36	0,21	0,14	-0,14	1,00					
Mg ²⁺	-0,18	0,00	-0,17	-0,20	-0,17	-0,13	-0,32	-0,03	-0,47	0,26	-0,14	0,46	-0,46	0,36	0,13	-0,09	0,31	-0,18	0,19	-0,20	0,53	-0,39	1,00				
T	0,16	-0,06	0,01	-0,09	-0,22	0,05	0,36	0,14	0,24	0,38	-0,22	0,14	0,10	-	0,08	0,33	0,06	0,34	0,36	0,12	0,20	0,77	0,25	1,00			
V	0,38	0,02	0,45	0,10	0,20	-0,02	0,43	0,20	0,44	0,10	-0,43	0,27	0,20	0,06	0,07	0,87	0,21	0,21	0,14	0,25	0,14	0,61	-0,30	0,33	1,00		
m	-0,35	-0,09	-0,36	-0,06	-0,16	0,05	-0,41	-0,23	-0,43	-0,08	0,25	-0,20	-0,06	-	-0,05	-0,70	-0,15	-0,19	-0,08	-0,18	-0,10	-0,50	0,28	-0,23	-0,87	1,00	

Nota: DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; AGRI (%) > 2 mm - Agregados maiores que 2 mm; LL – Limite de liquidez; LP – Limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade; Ptdet. – Porosidade total determinada; Ptcal – Porosidade total calculada; Microp – Microporosidade; Macrop – Macroporosidade; Areia Tot – Areia Total; Silte; Argila; Dp – Densidade de Partículas; θ - umidade volumétrica; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; COT – carbono orgânico total; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; T – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; m – saturação por alumínio.

No dendograma vertical obtido pela análise de agrupamentos (Figura 1) a leitura é feita da direita para esquerda, no qual o eixo y indica as distâncias entre os grupos formados e o eixo x, representa os grupos unidos por ordem decrescente de semelhança, em que a alta dissimilaridade indica que dois indivíduos são distintos em relação ao conjunto.

A análise permitiu a formação de quatro grupos: I, II, III e IV, sendo que os grupos I e IV foram agrupados por uma única classe de solo (I Cambissolos háplicos e IV- Chernossolo Rêndzico), com exceção do grupo II, (Cambissolos e Latossolos) e III (Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico). Os resultados apresentados na figura 1 mostram que os atributos físicos foram determinantes na dissimilaridade dos horizontes nas respectivas classes, para os grupos (I, II e III) e químicos (IV).

O grupo I é representado pelas áreas de mata nativa (MN), onde a consolidação da superfície pela ausência de revolvimento do solo sob a classe dos Cambissolos Háplicos, incidiu diretamente sobre os atributos físicos em destaque: DMP, PTdet., Microp., Paeração, argila, $AGRI (\%) > 2mm$ e os limites de consistência (LP, LL e IP), estando em concordância com os valores da matriz de correlação (Tabela 1) e no dendrograma (Figura 2).

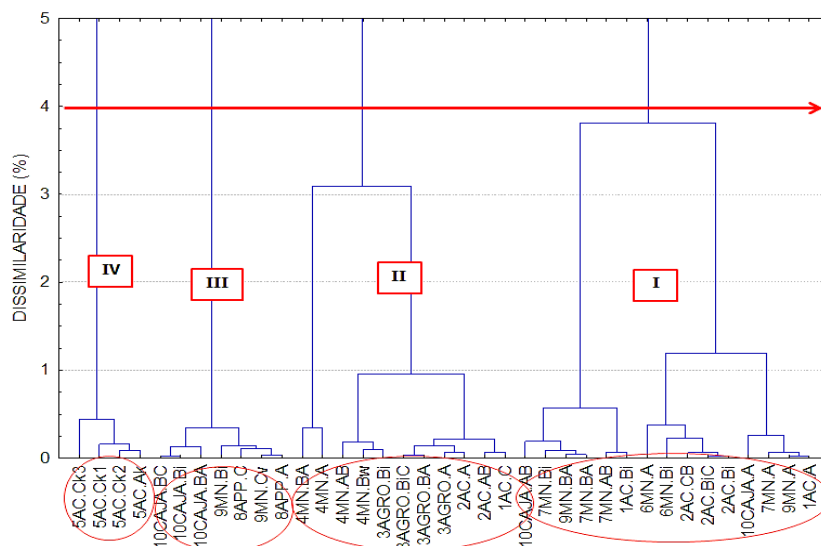
Esses valores se correlacionam com a classe dos Cambissolos Háplicos em função da fração argila que é à fração ativa do solo, onde diferentes tipos de argila conferem características distintas, quanto às forças de coesão e adesão, refletindo nos atributos estruturais.

É importante observar que essas propriedades foram influenciadas pelo material de origem dos Cambissolos em estudo que pertencem ao calcário Jandaíra, conferindo expressivas forças de adesão e coesão, governadas pela umidade, destacando-se a consistência, como também, a agregação, por refletirem na estabilidade estrutural, dependente do teor e tipo de argila (formação dos agregados primários), sendo os mais estáveis e (formação dos agregados secundários) sendo dependente do aporte energético (MOS) por meio da atividade microbiana (Brady & Weil, 2013; Mota et al., 2008).

Na Figura 2, referente ao grupo II destacam-se as variáveis: DMG, Dp , Mg^{+2} , θ , AreiaTot., m %, com predominância da fração areia em superfície, sendo o Latossolo mais expressivo para esses atributos, podendo ser justificado pelo intemperismo avançado nessa classe frente as demais. Esses valores de correlação devem-se a fração argila, que influencia os atributos físicos diversos, refletindo nos seus atributos estruturais.

Ghidin et al. (2006) ao estudar a relação entre mineralogia da fração argila e suas propriedades estruturais, concluiu que os teores dos minerais na fração argila foram mais importantes que suas características cristalográficas na definição da estrutura e porosidade dos solos estudados, corroborando com Vasconcelos et al. (2010) que enfatiza a contribuição dos diferentes tipos de argila sobre a diferenciação de atributos físicos do solo.

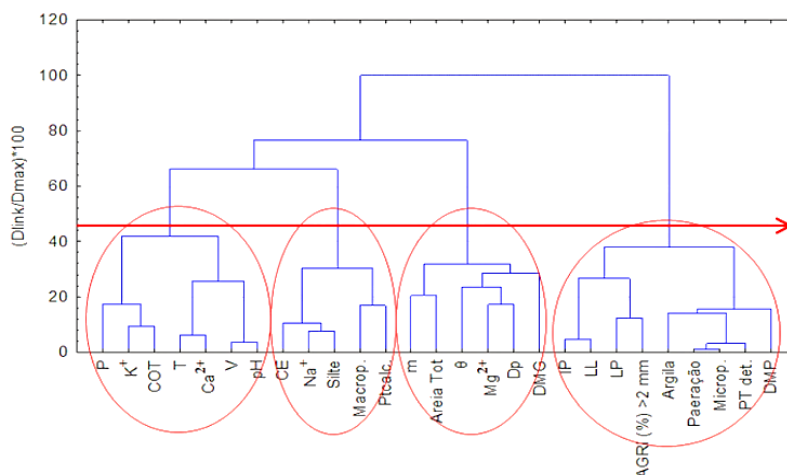
Figura 2. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.



O grupo III apresentou os atributos P_{calc}, Macrop, silte, Na⁺, CE em destaque para o Neossolo Flúvico, sendo um indicativo de solos jovens, pouco intemperizados, sendo eutrófico (soma de bases $\geq 50\%$), com a sua fertilidade mascarada em função do Na⁺, como também, destaque para os valores de CE, que indicam a quantidade de sais solúveis (Figura 1).

O IV grupo foi diferenciado dos demais, por apresentar unicamente a classe do Chernossolo Rêndzico, como também, na diferenciação dos ambientes foram evidenciados os atributos químicos: pH, V, Ca⁺², T, COT, K⁺ e P, conforme matriz de correlação (Tabela 1 e a Figura 2), sendo indicativo de solos jovens, pouco intemperizados, com limitações físicas, quanto a drenagem de água no solo em função das características intrínsecas do solo e da localização da paisagem, pois o mesmo localiza-se em cotas mais baixas da paisagem.

Figura 3. Variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis com identificação dos grupos formados.



No Tabela 3 são apresentados os fatores extraídos das 27 variáveis estudadas, sendo que a proporção acumulada foi do Fator 1 (F1) ao Fator (F6) que explicou cerca de 80 % da variabilidade total dos resultados obtidos. O F1 permitiu estimar a influência das variáveis expressivas, com cargas fatoriais positivas na diferenciação dos ambientes, destacando-se: argila, Na^+ , Ca^{2+} , SB e V, sendo seus atributos variáveis entre as classes e os ambientes em estudo, consequência dos fatores e processos pedogenéticos que são fortemente influenciados pelo padrão climático da região Semiárida do Nordeste do Brasil e a localização na paisagem.

A análise fatorial revelou que a maior parte das causas de variação (F1= 26,72 %) deve-se as inter-relações entre as frações inorgânicas (em destaque a argila) e os atributos químicos, conforme os resultados apresentados (Tabela 2 e 3 e Figuras 2 e 3). Corroborando com Souza et al. (2018), onde os atributos argila, areia total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , MO e SB foram os que mais contribuíam na discriminação dos ambientes.

Quanto ao F2, as variáveis que se destacaram foram: Macrop, microp, Dp, K^+ e T, apresentando cargas fatoriais positivas (17,30 %). No F3 foram as variáveis: DMP, DMG e AGR (%) >2 mm descrevem dados de agregação do solo (12,39 %), enquanto F4 destacam-se a variáveis IP, PTcalc e Areia Tot (10,13 %). Quanto aos demais fatores (F5e F6) estes foram menos expressivos, com valores de cargas fatoriais inferiores, para os atributos selecionados (θ , pH, CE e LP), (7,39 %, 4,73 %) respectivamente, sendo fortemente influenciados pelos fatores (F1 e F2).

Evidenciando que as frações inorgânicas (areia, silte e argila) exerceram influência direta nos atributos químicos (F1) e nos estruturais (F2), pois os diferentes

teores de argilas foram essenciais na diferenciação dos ambientes, explicando 26,72 % das causas de variação. Vale ressaltar, que o somatório das variâncias acumuladas (F1 e F2) explicam 44,03 % das causas de variação, portanto, foram os fatores de maior contribuição para a distinção dos ambientes em estudo.

Tabela 3. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

Atributos	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
	Granulometria e químicos	Estruturais e químicos	Agregação	Consistência, estruturais e granulometria	Físico-químicos	Consistência
DMP	-0,02	0,10	0,91	0,20	0,08	0,18
DMG	-0,01	0,10	0,91	0,21	0,08	0,19
AGRI (%) >2 mm	0,13	0,03	0,81	-0,11	0,09	-0,08
LL	0,33	-0,06	0,41	0,32	0,07	0,50
LP	0,04	-0,06	0,17	-0,25	-0,12	0,70
IP	0,33	0,08	0,16	0,86	0,06	0,15
PT det.	0,05	0,46	-0,42	0,47	-0,22	0,24
Ptcalc.	0,30	-0,13	0,28	0,74	0,34	0,03
Microp.	-0,32	-0,65	-0,26	-0,46	0,15	-0,08
Macrop.	0,22	0,85	0,00	0,03	-0,09	0,04
Areia Tot	0,08	0,20	0,05	-0,74	0,06	0,15
Silte	0,12	-0,11	-0,08	-0,50	0,14	0,23
Argila	0,87	0,31	-0,10	-0,07	0,13	-0,10
Dp	0,15	0,77	0,23	-0,02	0,11	-0,18
θ	0,17	-0,18	0,01	0,04	0,84	-0,10
pH	-0,01	0,15	0,20	0,02	0,81	0,12
CE	0,23	-0,28	0,13	-0,16	0,66	-0,18
COT	0,07	0,92	-0,02	-0,03	-0,08	0,00
P	0,58	-0,20	-0,22	0,49	0,32	0,25
K ⁺	-0,36	0,67	-0,28	-0,30	0,14	0,24
Na ⁺	-0,91	-0,02	-0,07	-0,06	-0,04	-0,11
Ca ²⁺	-0,96	-0,09	-0,10	-0,05	-0,07	-0,07
Mg ²⁺	0,46	0,21	-0,35	0,32	0,49	0,36
SB	0,97	0,09	0,08	0,08	0,10	0,03
T	0,05	0,91	0,08	-0,08	-0,11	-0,08
V	0,97	0,09	0,08	0,08	0,10	0,03
Autovalores	6,95	4,50	3,22	2,63	1,92	1,23
Variância Total (%)	26,73	17,31	12,39	10,13	7,40	4,73
Variância Acumulada (%)	26,73	44,03	56,43	66,56	73,96	78,69

Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Nota: DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; AGRI (%) > 2 mm - Agregados maiores que 2 mm; LL – Limite de liquidez; LP – Limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade; Ptdet. – Porosidade total determinada; Ptcál – Porosidade total calculada; Microp – Microporosidade; Macrop – Macroporosidade; Areia Tot – Areia Total; Silte; Argila; Dp – Densidade de Partículas; θ - umidade volumétrica; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; COT – carbono orgânico total; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; T – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases.

No círculo de correlação (Figura 3A) as frações inorgânicas não se concentraram próximas, assim, pode-se inferir que os perfis estudados (classes de solos) apresentaram variabilidade, quanto à textura, esse efeito reflete na predominância das variáveis que mais discriminaram os ambientes, retratando as inter-relações existentes para cada particularidade local (Figura 3A e 3B).

No círculo de correlação, os vetores representados pelas variáveis Ca^{2+} e Mg^{2+} , COT e T, P_{calc} e P_{total}, indicam alta correlação entre si. Da mesma forma, a localização da microp (microporosidade) no quadrante oposto a macrop (macroporosidade) indica correlações negativas. Formaram-se três agrupamentos de variáveis reunidas em função das inter-relações: Argila, SB, V, P_{calc}, P_{total}, LL; IP, Mg^{2+} , V, DMG, DMP, AGRI>2mm, pH, CE, θ e IP no lado esquerdo do gráfico.

As variáveis Na^+ e Ca^{2+} apresentaram sinal e posicionamento contrário no gráfico (P_{calc}, P_{total}, LL, IP, Mg^{2+} , V, DMG, DMP, AGRI>2mm, pH, CE, θ e IP), indicando contraste entre si, e que as concentrações dessas variáveis foram maiores, conseqüentemente, redução dos níveis de Na^+ e Ca^{2+} . Esses valores evidenciaram a classe do Latossolo Vermelho - amarelo (Figura 3 B).

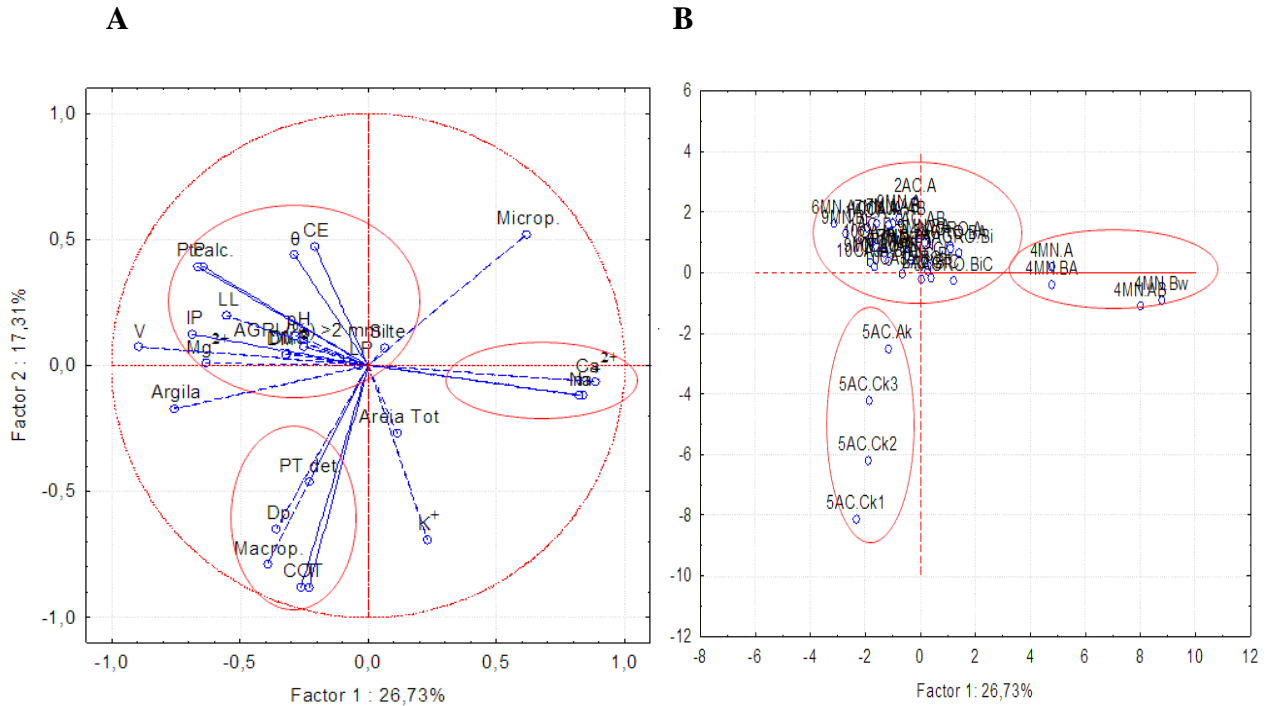
As classes de solos em estudo apresentaram caráter eutrófico ($V \geq 50\%$), inclusive o Latossolo Vermelho – amarelo (Perfil 4), sendo assim, uma particularidade local, em função do padrão climático da região semiárida, com precipitação pluvial baixa, e alta taxa de evaporação, o que retardou o processo de lixiviação das bases trocáveis. Ker (1997) relata que a variabilidade das características físicas, químicas e mineralógicas dos Latossolos, podem lhes conferir caráter eutrófico e/ou distróficos, em função dos fatores e processos de formação do solo, inferindo-lhe caráter especial ao padrão climático da região, interferindo principalmente no intemperismo químico.

Vale ressaltar, que se formou um aglomerado (em destaque na Figura 3B) agrupando-se em torno do eixo (F1), positivamente correlacionadas com as variáveis P, Mg^{2+} , Argila, Micro e θ , destacando (P3 e P6) referente aos Cambissolos Háplicos; para as variáveis CE e Silte (P3) na área Agroecológica e o (P6) na mata nativa, com destaque a fração silte, sendo assim, um indicativo de solos jovens, pouco intemperizados.

A Figura 3 A e 3B referente ACP, as variáveis P_{Tdet}, D_p, Macro, COT e T se correlacionaram positivamente com os perfis (1, 2, 3, 6, 7, 8, 9 e 10) de Cambissolos Háplicos e o perfil 5 (Chernossolo Rêndzico), no entanto, se diferenciou dos demais, para os atributos supracitados, em destaque os atributos químicos. Portanto, a

diferenciação desse ambiente foi influenciada tanto pelas características intrínsecas do solo, quanto pelo material de origem e a localização na cota mais baixa do terreno.

Figura 4. Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 1 e 2 (B).



A distribuição da nuvem de variáveis no círculo de correlações, Figura (4A) e distribuição da nuvem de pontos (4B) demonstram separações entre os ambientes. No F3 destacaram-se as variáveis estruturais (DMP,DMG e AGRI>2mm), correlacionadas com a agregação, visto que estes possuem solos com diferentes teores e tipos de argila, atuando de forma diferenciada como agentes cimentantes, consequentemente, argila de atividade coloidal confere maior estabilidade dos agregados, reduzindo a erodibilidade do solo (Brady & Weil, 2013).

E para o F4 as variáveis em destaque foram: (IP), Areia Tot e Ptcalc, refletindo em ambientes distintos pelas proporções diferenciadas das frações inorgânicas (areia, silte e argila), em cada particularidade local.

6. CONCLUSÕES

Os atributos físicos argila, densidade de partículas (Dp), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), agregados maiores que 2 mm (AGRI>2mm), índice de plasticidade (IP), Areia Total, umidade volumétrica (θ), limite de plasticidade (LP), e os químicos Na^+ , Ca^{2+} , soma de bases (SB), saturação por bases (V), carbono orgânico total (COT), K^+ , capacidade de troca catiônica (T), pH, condutividade elétrica (CE) foram indicadores na diferenciação de classes e usos, todavia, as variáveis argila, Na^+ , Ca^{2+} , SB, V, microporosidade, macroporosidade, Dp, CE, COT, K^+ e T foram os mais sensíveis.

Os atributos químicos P, K^+ , T, Ca^{2+} , V e pH foram mais sensíveis na diferenciação da classe do Chernossolo Rêndzico, enquanto os atributos estruturais DMP, DMG, AGRI>2mm, IP, LP, distinguiram os Latossolos e os físico-químicos CE, Na^+ , Silte, macrop., P_{calc}, m, Areia Tot., θ , Mg^{+2} e Dp, os Cambissolos Háplicos e Neossolo Flúvico.

A fração argila apresentou inter-relação com os atributos químicos (F1), distinguindo as classes e usos, em função do material de origem e das particularidades locais.

As classes de solos em estudo apresentaram caráter eutrófico ($V \geq 50\%$), inclusive o Latossolo Vermelho-amarelo (Perfil 4), destacando-se o Na^+ e Ca^{2+} , apresentando, contudo, valores inferiores aos encontrados nas demais classes, o que constitui uma particularidade local, em função do padrão climático da região semiárida.

7. REFERÊNCIAS

- 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, 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Angelim, L. A. A.; Angelim, V. C.; Nesi, J.R. 2006. Programa Geologia do Brasil–PLGB. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.
- Beltrão, B.A.; Rocha, D. E. G. A.; Mascarenhas, J.C.; Souza Júnior, L.C.; Pires, S. T.M.; Carvalho, V. G. D. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 10 p. 2005.
- Brady, N. C., & Weil, R. R.. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Bookman Editora, 2013.
- Carvalho, A. E. M., Lima, L. A., de Sousa Oliveira, L., & Costa, M. C. G.. Diagnóstico do uso e conservação do solo em região de reforma agrária no semiárido. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(3), 568-573, 2017.
- Castilho, K. B., Cortez, J. W., Olszewski, N., Salviano, A. M., & Trindade, M. H. Análise multivariada da qualidade química de um Latossolo sob sistemas de manejo do solo. *Agrarian*, v. 10 n, 36. 162-169, 2017.
- Forsythe, W.. *Manual de laboratorio: Física de suelos* (No. IICA-LME 25). IICA, San José (Costa Rica), 1975.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L.. *Análise multivariada de dados*. Bookman Editora, 2009.
- Ghidin, A. A., Melo, V. D. F., Costa Lima, V., & Jonasson Costa Lima, J. M.. Topossequências de latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I-Mineralogia da fração argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2006.
- Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. *Aggregate stability and size distribution*. 1986.
- Ker, J. C. *Latossolos do Brasil: Uma Revisão*. *Geonomos*, v.5, p.17-40, 1997.
- Kiehl, E.J.. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo: Ceres. 262p. 1979.
- Leite, J. N. F., Cruz, M. C. P. D., Ferreira, M. E., Andrioli, I., & Braos, L. B. Organic and inorganic P forms in soil as affected by cover crops and nitrogen fertilization. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 1880-1889. 2016.
- Lepsch, I. F., Espindola, C. R., Vischi Filho, O. J., & Hernani, L. C.. *Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas: SBCS. 2015.

Machado Vezzani, F., & Mielniczuk, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2009.

Machado, V. J., & de Souza, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal*, 2012.

Marinho, A. C. C. S.; Portela, J. C.; Silva, E. F.; Dias, N. S.; Sousa Júnior, F. S.; Silva, A. C.; Silva, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a Cambisol under different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, v.10, p.32-41, 2016.

Mota, A. J. C., Nonato de Assis Júnior, R., Amaro Filho, J., & Libardi, P. L.. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2008.

Pereira, M. G., Loss, A., Beutler, S. J., & Torres, J. L. R. (2011). Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45(5), 508-514. 2011.

Perin, A., Silva Santos, R. H., Urquiaga Caballero, S. S., Marinho Guerra, J. G., & Gusmão, L. A.. Acúmulo e liberação de P, K, Ca e Mg em crotalária e milho solteiros e consorciados. *Revista Ceres*, 57(2). 2010.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a. aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Ribeiro, K. D., Menezes, S. M., de Freitas, M. D. G. B., & Sampaio, F. D. M. T.. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG Soil physical properties, influenced by pores distribution, of six soil classes in the region of Lavras- G. *Ciência e Agrotecnologia*, 1167-1175. 2007.

Sá Paye, H., Vargas de Mello, J. W., & Bezerra de Melo, S.. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 2012.

Souza, H. S., Tsukamoto Filho, A. D. A., de Souza, É. C., Arriel, D. A. A., & Medeiros, R. A.. Análise multivariada de atributos químicos e físicos do solo em sistema agroflorestal com teca. *Scientia agraria*, 87-93. 2018.

Stasoft. Statistica Version 7.0. StatSoft. Retrieved from: <http://www.statsoft.com>. 2004.

Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.

Turrión, M. B., López, O., Lafuente, F., Mulas, R., Ruipérez, C., & Puyo, A. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. *Science of the Total Environment*, 195-198. 2007.

Vasconcelos, R. D., Cantalice, J. R. B., Silva, A. J. N. D., Oliveira, V. D., & Silva, Y. J. A. B.. Limites de consistência e propriedades químicas de um Latossolo amarelo distrocoeso sob aplicação de diferentes resíduos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 639-648. 2010.

2 – CAPÍTULO II

CARACTERIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS E ESTRUTURAIS DE CLASSES DE SOLO NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

1. RESUMO

O estudo da caracterização do solo e a inter-relação dos seus atributos permite uma proposta sistemática das particularidades locais, subsidiando práticas adequadas para manutenção e/ou preservação da sua capacidade produtiva. Neste sentido, o trabalho teve por objetivo avaliar a influência dos atributos estruturais em associação com físicos e químicos em classes de solos, utilizando a técnica de estatística multivariada na diferenciação dos ambientes. A pesquisa foi realizada no Projeto de Assentamento Moacir Lucena localizado no município de Apodi, Rio Grande do Norte. Assim, foram escolhidos três (3) ambientes representativos que se seguem: Perfil 1 (P1) - Latossolo Vermelho-Amarelo - Área em recuperação (1AR), P2 - Cambissolo Háplico - Área de Lagoa, (2AL) e P3 - Latossolo Amarelo - Área do Cajueiro (3AC). As amostras de solo foram coletadas nos horizontes das áreas supracitadas, para as indeformadas coletou-se dez (10) amostras por horizontes em anéis volumétricos como também, em blocos de solo (análise de agregados), e as deformadas em triplicatas no laboratório. Foram determinados os atributos estruturais, físicos e químicos. Os dados foram analisados submetendo-os a técnicas de estatística multivariada, com a matriz de correlação, análise de agrupamento e a análise fatorial realizada a extração dos fatores em componentes principais. O uso da análise de agrupamento possibilitou a formação de quatro grupos para as classes e atributos dos solos; as frações inorgânicas foram determinantes para diferenciação dos ambientes, onde a areia foi discriminante para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo, e a argila e silte para o Cambissolo Háplico. A maior similaridade foi observada nos horizontes de transição na Classe dos Latossolos. Os atributos físicos e estruturais foram determinantes na dissimilaridade para o Cambissolo Háplico, refletindo em restrições físicas ao crescimento de plantas. A análise fatorial revelou que as variáveis densidade de partículas (D_p), Ca^{2+} , Mg^{3+} , soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (CTC) para o fator 1, seguida das variáveis pH, P, K^+ , Areia Total, Argila e Ds para o fator 2, são atributos de solo importantes para a distinção dos ambientes estudados.

Palavras-chaves: Caatinga, área de preservação permanente, estabilidade de agregados.

2. ABSTRACT

The study of the soil characterization and the interrelationship of its attributes allows a systematic proposal of the local particularities, subsidizing adequate practices for maintenance and/or preservation of its productive capacity. In this sense, the objective of this work was to evaluate the influence of structural attributes in association with physical and chemical soil classes, using the multivariate statistical technique in the differentiation of environments. The research was carried out in the Moacir Lucena Settlement Project located in the city of Apodi, Rio Grande do Norte. Thus, three representative environments were chosen as follows: Profile 1 (P1) – Latossolo Vermelho-amarelo - Area in recovery (1AR), P2 – Cambissolo Háplico - Lagoa Area, (2AL) and P3 – Latossolo Amarelo - Cajueiro Area (3AC). The soil samples were collected in the horizons of the aforementioned areas. Ten (10) samples were collected per horizons in volumetric rings as well as in soil blocks (aggregate analysis), and deformed in triplicates in the laboratory. Structural, physical and chemical attributes were determined. The data were analyzed by subjecting them to multivariate statistical techniques, with correlation matrix, clustering analysis and factorial analysis performed the extraction of the factors into main components. The use of clustering analysis allowed the formation of four groups for soil classes and attributes; the inorganic fractions were determinant for environmental differentiation, where the sand was discriminant for the Latossolo Vermelho-amarelo and the Latossolo Amarelo, and the clay and silt for the Cambissolo Háplico. The greatest similarity was observed in the transition horizons in the Oxisols Class. The physical and structural attributes were determinant in the dissimilarity for the Cambissolo Háplico, reflecting in physical restrictions to the growth of plants. The factor analysis revealed that the variables D_p , Ca^{2+} , Mg^{3+} , sum of bases (SB) and cation exchange capacity (CTC) for factor 1, followed by pH, P, K^+ , Total Sand, Clay and D_s for factor 2, are important soil attributes to distinguish the environments studied.

Keywords: Caatinga, permanent preservation area, stability of aggregates.

3. INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro apresenta variabilidade quanto à litologia, padrão climático, paisagem e vegetação, conferindo-lhe características peculiares quanto aos atributos dos solos (morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos), e conseqüentemente, suas propriedades estruturais, sendo consideradas como uma das mais importantes do ponto de vista agrícola, por influir indiretamente nos fatores de crescimento vegetal, uma vez que controla a entrada de ar, água e calor, disponibilidade de nutrientes, e resistência mecânica ao desenvolvimento da raiz (Carvalho et al., 2017; Meurer et al., 2007).

Sendo a estrutura do solo uma propriedade dinâmica e funcional, facilmente modificada pela ação antrópica, o seu estudo se faz necessário como auxílio para a tomada de decisão, quanto às práticas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas a serem adotadas, levando em consideração suas potencialidades e/ou restrições locais.

A atividade do agronegócio voltado à fruticultura irrigada tornou-se um dos segmentos de destaque em áreas do semiárido do Oeste Potiguar, com a finalidade de atender a demanda de exportação de frutas para os mercados internacionais, incorporando cada vez mais novas áreas. Vale ressaltar, que a ação antrópica nesses ambientes pela agricultura irrigada, tem levado a degradação do solo, com reflexo à redução da capacidade produtiva, pois quando este passa a ser utilizado de forma inadequada e sem a observância dos princípios básicos de conservação do solo, da água e dos cultivos, não levando em consideração as particularidades locais, ocorre o rompimento da dinamicidade do solo com as demais esferas, impedindo que este desempenhe adequadamente suas funções, comprometendo toda a biodiversidade, além dos impactos sociais que isentam os agricultores (as) locais (Conceição et al., 2014).

Vale ressaltar que as áreas em estudo estão inseridas no Projeto de Assentamento Moacir Lucena-RN, e que os camponeses (as) adotam sistemas conservacionistas dos recursos naturais e vêm sendo afetadas pelas atividades do agronegócio. Assim, estudos de caracterização dos atributos estruturais associados aos físicos e químicos são escassos na região, nesta perspectiva, faz-se necessário o estudo da caracterização dos ambientes, quanto aos atributos dos solos e suas inter-relações, com a utilização de técnicas da multivariada, como ferramenta eficiente na distinção dos atributos mais sensíveis.

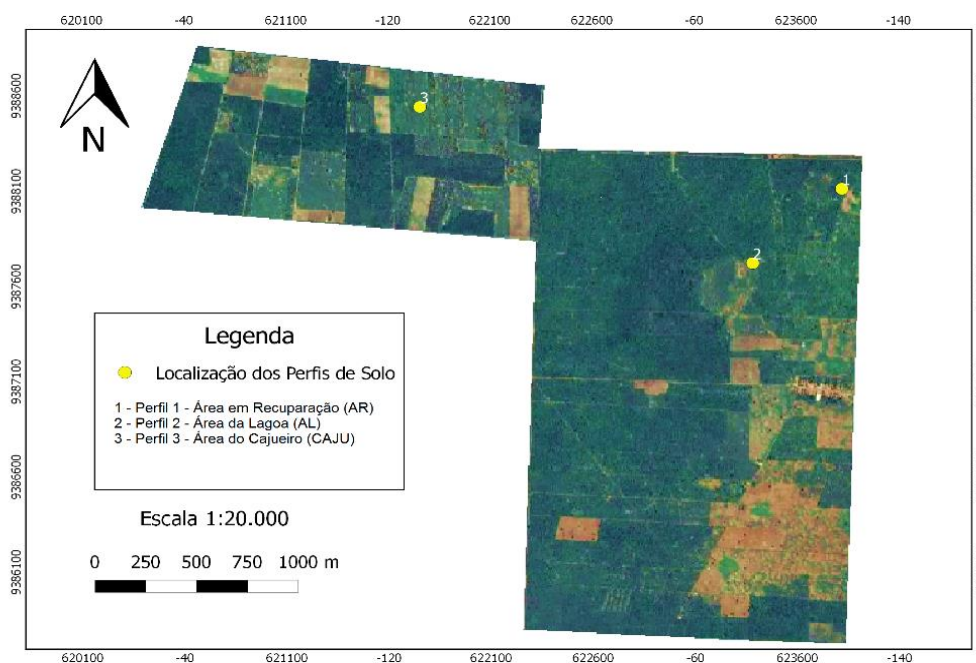
Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi realizar a caracterização dos ambientes, por meio do estudo dos atributos estruturais e químicos em associação com as frações inorgânicas, tendo em vista apontar a distinção dos ambientes por meio dos atributos mais sensíveis, utilizando a técnica de análise multivariada em classes de solos, no assentamento Moacir Lucena, na mesorregião do Oeste Potiguar.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Projeto de Assentamento Moacir Lucena localizado no município de Apodi (05° 39' 51'' S, 37° 47' 56'' W), estado do Rio Grande do Norte. O município de Apodi encontra-se na região do Semiárido Potiguar, inserido na microrregião da Chapada do Apodi e mesorregião do Oeste Potiguar. O clima segundo classificação climática de Köppen e do tipo BSw^h, ou seja, muito quente. Com vegetação natural de Caatinga Hiperxerófila, caducifólia (Alvares et al., 2013).

Assim, foram escolhidos três (3) ambientes representativos do Assentamento que se seguem: Perfil 1 (P1) - Latossolo Vermelho Amarelo - Área em recuperação (1AR), P2 - Cambissolo Háplico - Área de Lagoa (2AL) e P3 - Latossolo Amarelo eutrófico - Área do Cajueiro (3AC).

Figura 1. Localização dos perfis no Projeto de Assentamento Moacir Lucena, Apodi/RN.



Fonte: Autoria-própria, (2018).

A 1AR refere-se a uma área em pousio, está inserido dentro e nos limites da Área de Preservação Permanente (APP) com aproximadamente 2,5 hectares, onde os assentados plantavam algodão, mas está em repouso há 16 anos para recuperação da mata nativa e do solo. A 2AL está localizado nos limites da APP possuindo uma área

em torno de 4 a 5 hectares onde, devido a uma diferença de declividade, quando ocorrem bons períodos chuvosos, a área fica totalmente alagada ao ponto de tornar-se uma lagoa temporária. A 3CAJU anteriormente utilizada para plantio de algodão, feijão e outras culturas de sequeiro, inserida na área coletiva, em 2007, no espaço de 20 hectares, foram implantados cajueiros onde no início do inverno um trator passa revolvendo o solo entre os cajueiros para plantio de feijão, fazer tratamentos culturais como poda de manutenção todos os anos.

Em cada um dos três ambientes de estudo foram realizadas aberturas de trincheiras objetivando a descrição da classe de solo, posteriormente coletadas amostras com estrutura deformada e não deformada em seus horizontes, sendo estas acondicionadas em sacos plásticos e analisadas no complexo do Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Foram determinadas as frações inorgânicas: textura (areia, silte e argila), assim como a densidade de partículas (dp), os limites de consistência: Limite de Liquidez (LL); Limite de Plasticidade (LP); Índice de plasticidade (IP), e os atributos estruturais do solo: densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade volumétrica e estabilidade de agregados (Diâmetro Médio Ponderado - DMP; Diâmetro Médio Geométrico - DMG). Os atributos químicos estudados foram: condutividade elétrica (CE), potencial hidrogeniônico (pH) em água, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE), porcentagem de sódio trocável (PST), carbono orgânico total (COT), fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sendo posteriormente calculada a capacidade de troca catiônica (CTC), e saturação por bases (V).

A granulometria foi obtida pelo método da pipeta utilizando dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) e água destilada em 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA), com agitação mecânica lenta em agitador (Wagner 50 rpm) por 16 horas, sendo a fração areia (2 a 0,05 mm) quantificada por tamisagem, a argila ($< 0,002$ mm) por sedimentação e o silte (0,05 a 0,002 mm) por diferença entre as frações areia total e argila. A análise de densidade de partículas foi realizada pelo método do balão volumétrico, utilizando-se terra fina seca em estufa (TFSE) a $105^{\circ}C$ e álcool etílico.

Os testes de consistência do solo foram determinados com base nos limites de liquidez (LL) com a utilização do aparelho de Casagrande. O limite de plasticidade (LP)

foi determinado com três repetições, retirando-se amostra representativa da parte central do cisalhamento do solo na esfera metálica do equipamento, proveniente da determinação do limite de liquidez e formando-se uma esfera, que é comprimida sobre placa de vidro até formar um bastão cilíndrico entre 3,0 a 4,0 mm de diâmetro, sem quebrar ou fluir, e o índice de plasticidade (IP) pela diferença entre o (LL) e (LP). A umidade gravimétrica foi determinada na condição de plasticidade para os bastões de solo.

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando aparelho tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, sendo coletadas 10 (dez) amostras por horizonte nos respectivos perfis, para avaliação dos atributos densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total e determinada. A densidade do solo foi determinada pelo do anel volumétrico descrito por Forsythe (1975), com volume conhecido, e tomando-se a média dos valores obtidos, sendo representada pelo quociente da massa das partículas sólidas do solo pelo volume total do solo, e expressa em kg dm^{-3} .

Para a análise da macroporosidade, microporosidade e porosidade total, as amostras indeformadas nos anéis volumétricos foram saturadas por 48 horas e pesadas (para determinar a porosidade total). O método empregado para a determinação dessas propriedades foi o da “mesa de tensão”, segundo Kiehl (1979), na tensão de 6 kPa (microporosidade), sendo a porosidade total do solo (Pts) determinada medindo-se a umidade de saturação das amostras, conforme a equação: $Pt = ((M_{\text{sat}} - M_s)/VT) \cdot 100$, Na qual M_{Sat} é a massa do solo na condição de saturação; M_s é a massa do solo seco e VT o volume da amostra. A microporosidade foi determinada, pelo conteúdo de água retida no solo para o valor de h igual a 60 cm de água (aproximadamente um raio de poro de $25\mu\text{m}$). A macroporosidade do solo foi determinada por meio da diferença entre a porosidade total e microporosidade do solo.

Para o estudo dos agregados foram extraídos blocos dos perfis, nos respectivos horizontes e passados em peneiras com abertura de malha de 4,00 e 2,00 mm (conjuntamente). Utilizou-se o método de peneiramento via úmida com peneiras de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 no aparelho de oscilação vertical (Kemper & Rosenau, 1986). Após a separação dos agregados obtidos por agitação em água por meio do aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), as amostras foram levadas à estufa para secagem a 105°C . Após a obtenção da massa seca descontou-se o

teor de areia, e posteriormente obteve-se a distribuição do tamanho dos agregados, a percentagem de agregação e de agregados estáveis em água e o DMP e o DMG.

Para realização das análises químicas foram utilizadas amostras deformadas, sendo avaliados os atributos: pH em água, CE em água, PST, COT, por digestão da matéria orgânica e os macronutrientes: cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) com extrator cloreto de potássio, análise do fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+) com extrator Mehlich 1, sendo posteriormente calculada a CTC, V e PST, sendo interpretados conforme Manual de Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais (Ribeiro & Guimarães, 1999).

Os dados dos atributos com estrutura deformada foram expressos por meio da média de quatro repetições, e submetidos à análise estatística por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal utilizada na detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes nos solos sob diferentes usos, utilizando o programa Software Statistica 7.0 (StatiSoft, 2004).

Os resultados analíticos foram padronizados pela na matriz de correlação de Pearson e submetidos a técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento (AA), análise fatorial (AF) e análise de componentes principais (ACP).

Foi utilizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para as 28 variáveis com o objetivo de garantir que estas possuísem correlações mínimas suficientes para justificar o seu uso na matriz de dados na AF. Para a AF, os fatores com autovalores maiores que 1 foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Para este estudo estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (Hair Jr. et al. 2009).

A análise de agrupamento (AA) foi representada pelo dendograma vertical da matriz de distância, adotou-se a distância euclidiana como medida de similaridade e o método de Ward para ligar os casos entre si. Na AA a importância de cada variável na distinção dos ambientes é mensurada em função da sua menor distância em relação ao eixo de referência, eixo do x ou do y, sendo que o eixo que contém o maior valor de variância acumulada explica boa parte das causas de variação (Sá Paye et al., 2012).

Atribuindo-se o valor 0,1 para a distância de ligação no dendograma para os ambientes e 2 para os atributos obtidos a partir da análise de agrupamento, foi possível identificar quatro grupos para ambos (Figura 1A e B).

Na AF, os fatores com autovalores maiores que 1,0 foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax.

Estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (Hair Jr. et al., 2009).

Na AF observa-se a contribuição de cada variável em relação a cada fator, sendo os fatores definidos pelos atributos diferenciadores dos ambientes. Como ferramenta para distinção de ambientes e seus diferentes usos foram confeccionados seis diagramas dos componentes principais (Fator 1 e 2, Fator 3 e 4, Fator 5 e 6) para os atributos físico-químicos. A partir desses dados foram criados diagramas bidimensionais para distinção das áreas e diagramas de projeção de vetores para verificação dos atributos do solo que mais distinguiram nas áreas pesquisadas.

Conforme descrito por Souza (2018) a associação de atributos físico-químicos do solo em diferentes usos nos agroecossistemas evidencia a correlação existente entre as variáveis por meio da análise conjunta com inúmeros fatores e características, sendo possível a explicação da variabilidade do conjunto original de variáveis, distinguindo os ambientes por meio dos atributos mais sensíveis.

Todas as análises estatísticas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (StatSoft, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlações significativas entre as variáveis foram encontradas principalmente para o atributo AGRI (%) >2 mm, DMP, DMG com a Areia T, Silte, Ca^{2+} , Mg^{3+} , SB, CTC, Macroporosidade, Paeração. O DMG apresentou ainda, correlação com a Argila. A areia total obteve correlação significativa com silte, argila, Ds, P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{3+} , SB, CTC, Ptotal, Paeração e Pcalc. O silte apresentou correlações significativas com Ca^{2+} , Mg^{3+} , SB, CTC, v, PST, Ptotal, Microp, Macro e Paeração. A argila com Ds, pH, P, K^+ . O Ca^{2+} com Mg^{3+} , SB, CTC, v, Microp. e Paeração (Tabela 1).

Posterior à padronização dos dados pela matriz de correlação foi realizada a AA, representada pelo dendrograma (Figura 01), com variação expressiva nos valores de distância euclidiana entre as áreas para o conjunto de variáveis consideradas. Com a análise de agrupamento dos resultados analíticos formou-se quatro grupos para as classes de solos e para os atributos dos solos analisados demonstrando maior similaridade entre si.

A partir dos atributos selecionados foi produzida uma primeira classificação das áreas em função da similaridade entre os ambientes estudados. O primeiro grupo (G1) foi definido com referência ao horizonte superficial de cada perfil (1AR.A, 2AL.A, e 3CAJU.Ap), onde o mesmo traduz que as características intrínsecas do solo atuaram como fator determinante. Isso pode ser justificado em função da textura do solo, onde a variável areia que teve uma maior concentração no G1, com quantidade marcante na superfície dos três ambientes (Figura 1A). A 3CAJU (Latosolo) apresenta uma maior dissimilaridade no G1 em relação a 1AR.A e 2AL.A, com maior percentagem da fração areia (813 g.cm^{-3}) em relação as demais áreas. Os atributos físicos em destaque para este grupo foram: AGRI (%) > 2mm, DMP, DMG, PST, Macrop e LP, estando em concordância com os valores de correlação entre as variáveis apresentadas na matriz (Tabela 1) e no dendrograma (Figura 2A).

O G2 diferenciado pelo dendrograma, onde as áreas relacionadas para os aos ambientes foram: 1AR e 3CAJU (1AR.AB; 3CAJU.BC e 3CAJU.BA); a individualidade dessas áreas estão relacionadas a classe de solo (Latosolo), evidenciando assim, que a 2AL (Cambissolo) possuem características distintas em relação aos atributos analisados.

Tabela 1. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo, no Projeto de Assentamento Moacir Lucena-RN.

	AGRD>2mm	DMP	DMG	Areia T	Silte	Argila	Ds	Dp	pH	CE	COT	P	K+	Na+	Ca ²⁺	Mg ³⁺	SB	CTC	v	PST	Ptotal	Microp.	Macrop.	Paeração	Ptcalc	LL	LP	IP	
AGRD>2mm	1,00																												
DMP	0,99	1,00																											
DMG	0,87	0,86	1,00																										
Areia T	0,58	0,59	0,71	1,00																									
Silte	-0,64	-0,67	-0,70	-0,63	1,00																								
Argila	-0,45	-0,45	-0,58	-0,95	0,37	1,00																							
Ds	-0,06	-0,05	-0,33	-0,68	0,12	0,77	1,00																						
Dp	0,12	0,16	-0,07	-0,26	0,43	0,14	0,19	1,00																					
pH	-0,18	-0,19	0,09	0,35	0,36	-0,56	-0,84	0,15	1,00																				
CE	-0,03	-0,02	0,23	0,44	-0,11	-0,48	-0,82	-0,26	0,65	1,00																			
COT	0,09	0,12	0,37	0,34	-0,55	-0,20	-0,34	-0,15	0,08	0,44	1,00																		
P	0,10	0,05	0,35	0,57	0,09	-0,72	-0,76	0,11	0,79	0,40	0,26	1,00																	
K _s	0,15	0,12	0,32	0,76	-0,24	-0,82	-0,86	-0,34	0,60	0,59	0,20	0,70	1,00																
Na _s	-0,28	-0,27	-0,12	-0,12	0,22	0,06	-0,47	0,08	0,48	0,77	0,29	0,10	0,19	1,00															
Ca _s	-0,56	-0,55	-0,58	-0,49	0,81	0,27	-0,17	0,55	0,50	0,24	-0,19	0,17	-0,07	0,64	1,00														
Mg _s	-0,59	-0,65	-0,51	-0,55	0,89	0,31	-0,09	0,30	0,49	0,07	-0,37	0,27	-0,02	0,43	0,82	1,00													
SB	-0,59	-0,60	-0,57	-0,50	0,86	0,26	-0,19	0,48	0,54	0,22	-0,25	0,24	-0,02	0,61	0,98	0,91	1,00												
CTC	-0,64	-0,66	-0,61	-0,53	0,86	0,30	-0,16	0,43	0,50	0,19	-0,24	0,22	-0,01	0,59	0,97	0,92	0,99	1,00											
v	-0,32	-0,33	-0,20	-0,13	0,72	-0,12	-0,43	0,41	0,80	0,39	-0,22	0,47	0,07	0,45	0,73	0,69	0,75	0,69	1,00										
PST	0,43	0,47	0,44	0,26	-0,66	-0,06	-0,13	-0,21	-0,24	0,44	0,47	-0,31	0,05	0,46	-0,25	-0,52	-0,35	-0,37	-0,37	1,00									
Ptotal	-0,42	-0,44	-0,55	-0,72	0,68	0,60	0,41	0,24	-0,06	-0,14	-0,35	-0,32	-0,63	0,15	0,44	0,46	0,44	0,42	0,49	-0,28	1,00								
Microp.	-0,49	-0,52	-0,43	-0,48	0,75	0,28	0,07	0,30	0,38	-0,13	-0,42	0,16	-0,27	0,12	0,58	0,74	0,65	0,64	0,62	-0,58	0,46	1,00							
Macrop.	0,57	0,61	0,36	0,36	-0,63	-0,19	0,08	-0,07	-0,45	-0,07	0,14	-0,30	0,12	-0,22	-0,50	-0,71	-0,58	-0,59	-0,57	0,49	-0,39	-0,92	1,00						
Paeração	-0,58	-0,57	-0,84	-0,59	0,69	0,44	0,20	0,27	0,03	-0,12	-0,47	-0,28	-0,32	0,17	0,64	0,46	0,60	0,61	0,40	-0,34	0,65	0,49	-0,32	1,00					
Ptcalc	-0,20	-0,19	-0,50	-0,73	0,41	0,72	0,79	0,45	-0,52	-0,80	-0,42	-0,50	-0,80	-0,44	0,16	0,15	0,13	0,14	-0,02	-0,44	0,57	0,25	-0,02	0,51	1,00				
LL	-0,26	-0,25	0,03	0,18	0,13	-0,27	-0,64	-0,28	0,63	0,91	0,24	0,25	0,36	0,76	0,34	0,26	0,34	0,31	0,51	0,28	0,10	0,16	-0,34	0,02	-0,67	1,00			
LP	0,66	0,73	0,36	0,24	-0,48	-0,10	0,18	0,36	-0,36	-0,09	0,05	-0,36	-0,20	-0,09	-0,25	-0,65	-0,40	-0,45	-0,29	0,57	-0,12	-0,47	0,66	-0,03	0,12	-0,27	1,00		
IP	-0,21	-0,19	0,08	0,23	0,07	-0,31	-0,64	-0,29	0,61	0,92	0,27	0,24	0,37	0,75	0,29	0,20	0,29	0,26	0,48	0,32	0,06	0,12	-0,30	-0,02	-0,70	1,00	-0,22	1,00	

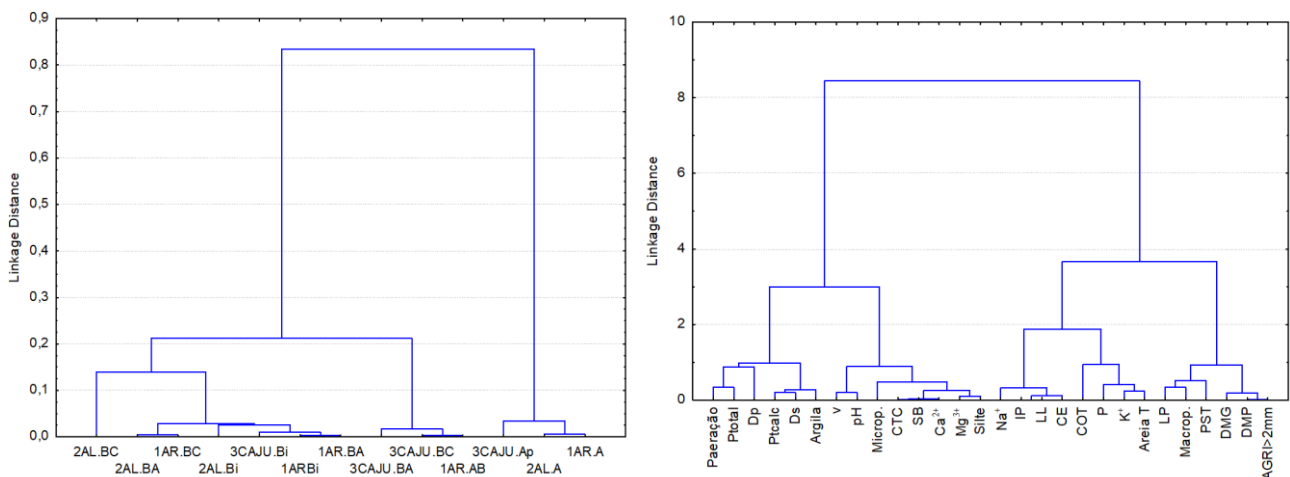
Nota: AGRD (%) > 2 mm - Agregados maiores que 2 mm; DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; Areia Tot – Areia Total; Silte; Argila; Ds – Densidade do solo; Dp – Densidade de Partículas; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; COT – carbono orgânico total; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; PST – Porcentagem de sódio trocável; LL – Limite de liquidez; LP – Limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade; Ptdet. – Porosidade total determinada; Ptcac – Porosidade total calculada; Microp – Microporosidade; Macrop – Macroporosidade; θ – umidade volumétrica; e m – saturação por alumínio.

No G3 destacou-se todos os horizontes diagnósticos dos ambientes de estudo (1AR.Bi, 3CAJU.Bi e 2AL.Bi), assim como os horizontes de transição no P1 e P2 (1AR.BA, 1AR.BC, 2AL.BA). Na caracterização dos grupos, o G3 apresentou maior similaridade entre eles, com exceção da 2AL.BC (Cambissolo) que apresentou maior dissimilaridade em relação as demais, o que indica que esse ambiente possui particularidades diferenciadas em relação ao conjunto e em função das variáveis analisadas. Isso pode ser justificado pelo maior teor de argila, e de microp., Ptotal, Paeração, ou seja, as frações inerentes ao material e origem e os atributos físicos e estruturais foram determinantes na dissimilaridade para o Cambissolo, identificando condições críticas para restrições ao crescimento radicular por impedimento mecânico ou deficiência de aeração.

A análise dos dendrogramas (Figura 2 A e B) corroborou com a formação de agrupamentos distintos para os atributos do solo, esses reuniram variáveis que estão relacionadas na determinação da característica do solo, onde se destacaram quatro grupos de variáveis, e a menor dissimilaridade foi observada entre o DMP e AGRO>2mm, a SB e o Ca²⁺, e Mg²⁺ e o silte. Ocorreu a formação de agrupamentos com classes de solos distintas, reunindo variáveis das respectivas classes com características similares entre elas, destacando-se três grupos. A menor dissimilaridade foi observada nos horizontes de transição na Classe de Latossolo (1AR.AB e 3CAJU.BC).

Figura 2. Dendrogramas resultantes da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos.

A



B

Obteve-se seis fatores (F1 a F6) que foram extraídos das 27 variáveis, onde a proporção acumulada explicou 93 % da variabilidade total dos resultados, mostrando a influência dos atributos dos solos na diferenciação dos ambientes, onde as cargas fatoriais indicam quanto um fator explica cada variável. Assim, o quadro 2 apresenta a distribuição das cargas fatoriais, com os respectivos autovalores, a percentagem de explicação dos valores de variância total e acumulada. Dp, Ca²⁺, SB, CTC, Areia Total, Argila e Ds.

Tabela 2. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
AGRI>2mm	-0,22	-0,18	-0,13	-0,87	-0,26	-0,07
DMP	-0,21	-0,16	-0,11	-0,89	-0,32	-0,07
DMG	-0,31	-0,34	0,09	-0,79	0,00	-0,35
Areia T	-0,35	-0,79	0,14	-0,41	-0,19	-0,08
Silte	0,64	0,15	-0,04	0,39	0,46	0,41
Argila	0,17	0,89	-0,15	0,34	0,05	-0,07
Ds	-0,13	0,82	-0,51	0,01	-0,02	0,08
Dp	0,82	0,14	-0,31	-0,39	0,01	0,04
pH	0,43	-0,66	0,42	0,00	0,39	0,08
CE	0,10	-0,42	0,88	0,00	-0,07	-0,12
COT	-0,11	-0,13	0,29	-0,06	-0,16	-0,78
P	0,25	-0,83	0,02	-0,11	0,39	-0,18
K ₊	-0,08	-0,93	0,22	0,11	-0,13	-0,07
Na ₊	0,51	0,02	0,80	0,15	-0,09	-0,22
Ca ₂₊	0,89	0,06	0,23	0,32	0,15	0,12
Mg ₃₊	0,65	0,02	0,07	0,41	0,53	0,10
SB	0,85	0,01	0,20	0,37	0,28	0,12
CTC	0,82	0,02	0,16	0,45	0,27	0,08
V	0,63	-0,18	0,36	-0,03	0,50	0,34
PST	-0,17	0,18	0,54	-0,34	-0,58	-0,35
Ptotal	0,29	0,62	0,14	0,13	0,31	0,45
Microp.	0,39	0,16	0,01	0,17	0,77	0,25
Macrop.	-0,25	-0,07	-0,17	-0,29	-0,84	-0,02
Paeração	0,46	0,31	0,02	0,44	-0,06	0,61
Ptcalc	0,23	0,64	-0,62	0,07	0,03	0,27
LL	0,07	-0,20	0,94	0,11	0,19	0,02
LP	0,04	0,19	-0,03	-0,66	-0,66	0,15
IP	0,04	-0,21	0,95	0,07	0,16	0,01
Autovalores	10,65	7,80	2,92	2,41	1,26	1,14
Variância Total (%)	38,04	27,85	10,41	8,61	4,49	4,06
Variância Acumulada (%)	38,04	65,90	76,31	84,92	89,41	93,47

Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax. (2) Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Nota: AGRI (%) > 2 mm - Agregados maiores que 2 mm; DMP – Diâmetro médio ponderado; DMG – Diâmetro médio geométrico; Areia Tot – Areia Total; Silte; Argila; Ds – Densidade do solo; Dp – Densidade de Partículas; pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; COT – carbono orgânico total; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; V – saturação por bases; PST – Percentagem de sódio trocável; LL – Limite de liquidez; LP – Limite de plasticidade; IP – Índice de plasticidade; Ptdet. – Porosidade total determinada; Ptcál – Porosidade total calculada; Microp – Microporosidade; e Macrop – Macroporosidade.

O F1 permitiu estimar a influência da variável Dp, Ca²⁺, Mg³⁺, SB e CTC para a diferenciação dos ambientes. Quanto ao F2, as variáveis que se destacaram foram: Areia Total, Argila, pH, P, K⁺, em conjunto (F1 e F2) apresentam uma variância acumulada de 65,89%, isso quer dizer que estes são o que mais discriminam os ambientes. As variáveis que se destacaram no Fator 3 foram (F3): CE, Na⁺, LL e IP. No Fator 4 (F4) foram variáveis que descrevem os agregados no solo: DMP, DMG e AGRI (%) >2 mm e o LP.

As variáveis Microp., Macrop., e COT representam os demais fatores (F5 e F6) menos expressivos, porém, influenciados pelos atributos selecionados no F1 e F2, com decréscimo do número de atributos do solo e variância total dos dados (Tabela 2).

Os fatores (F1 e F2) explicam 65,89% da variação total dos atributos (físicos, químicos e estruturais) sendo assim, as variáveis que mais caracterizam as classes de solos em estudo (Quadro 2). O F1 explicou 38,04% da variação total, e os maiores coeficientes de correlação ($\geq |0,65|$) foram identificados para as variáveis Dp, Ca²⁺, Mg²⁺, SB e CTC, conforme (Figura 2). A variável Dp, que se refere aos sólidos (matriz do solo) destacou-se pelo fato de que os solos em estudo são considerados minerais, variando entre 2,51 a 3,04 g.cm⁻³, associadas às características químicas e estruturais (F1 ao F6).

Quanto aos atributos químicos Ca²⁺, Mg²⁺, SB e CTC, a representatividade no F1 foi para o Cambissolo (P2) em função das características mineralógicas das argilas, provenientes do material de origem do Calcário Jandaíra, (DNOCS, 1978). De acordo com Ronquim et al., (2010) parte da CTC destes solos está ocupada por cátions essenciais como Ca²⁺, Mg²⁺ com predominância de argila de atividade alta, como a ilita (2:1), mica (2:1) e vermiculita (2:1), conferindo fertilidade natural. com exceção dos Latossolos (P1 e P2) que se distanciou (Figura 2), por ser formado por sedimentos pertencentes ao Grupo Barreiras.

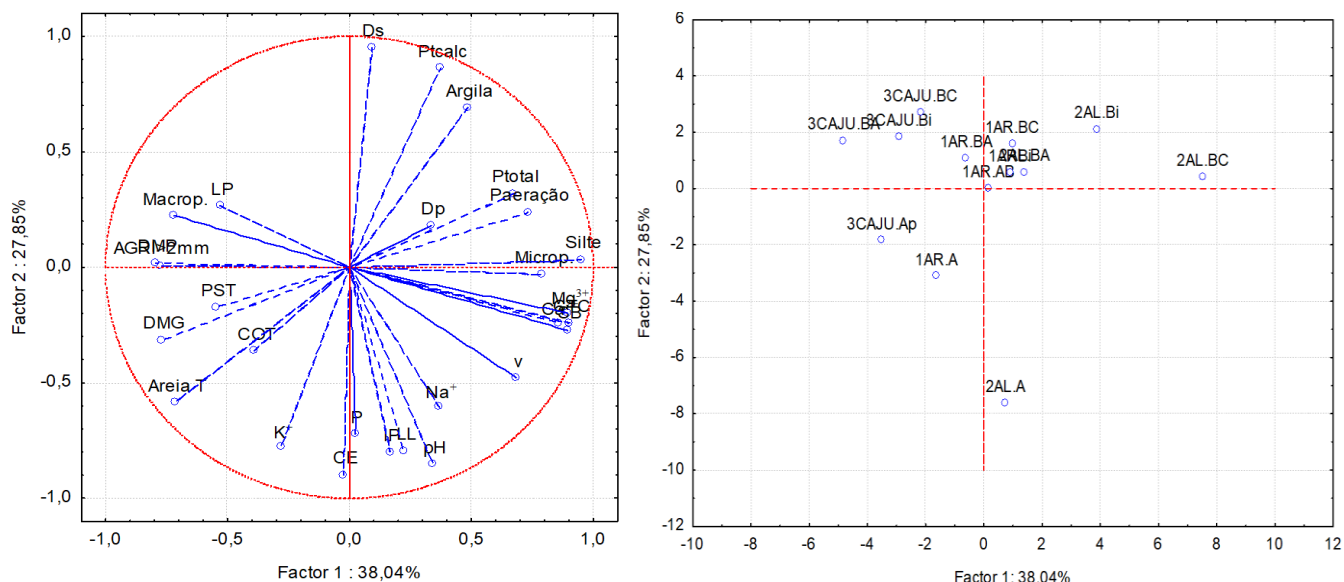
No F2, a variância explicada foi de 27,85 %, envolvendo atributos intrínsecos ao solo, químicos e estruturais: Areia T, Argila, Ds, pH, P, K⁺, evidenciando assim, as inter-relações entre os mesmos.

Assim, a estrutura do solo refere-se à disposição organizada da fase sólida que governa o espaço poroso (macroporos e microporos), e conseqüentemente, sua estrutura do ponto de vista da física que é dinâmico e funcional (Ferreira et al., 2010). Os resultados apresentados em função da fração granulométrica do solo (argila, silte e areia) que são inerentes ao material de origem (litologia), associados aos fatores e processos de formação do solo.

Ocorreu diferenciação das frações inorgânicas entre as classes, sendo que a fração areia foi discriminante para o Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo Eutrófico, pertencente ao Grupo Barreiras, enquanto o caráter eutrófico deve-se ao padrão climático da região semiárida do Nordeste do Brasil, reduzindo o intemperismo químico e a lixiviação das bases trocáveis. O PST foi uma variável determinante para a classe do Latossolo Vermelho eutrófico (3CAJU) em concordância com a análise de agrupamento (Figura 1). Vale ressaltar que é uma particularidade local da região em função da escassez de chuvas, com intemperismo químico e lixiviação das bases trocáveis sendo reduzidos. Ker (1997) aponta que existe variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo para classe de Latossolo onde o padrão climático influencia fortemente no intemperismo químico corroborando com os resultados encontrados na pesquisa, tendo assim, condições físicas favoráveis a drenagem de água no solo, porém, a particularidade local foi um agente limitante na lixiviação das bases (Ca²⁺, Mg³⁺, Na⁺, K⁺).

As frações silte e argila diferenciaram o Cambissolo Háptico (2AL) pertencente à formação do Calcário Jandaíra, sendo solos jovens, pouco intemperizados, com boas características químicas e limitações físicas, quanto ao espaço poroso, em função da localização do solo na cota mais baixa da paisagem (colúvio), com reflexo na má drenagem e aporte de sedimentos oriundos das cotas mais altas, com predominância de bases trocáveis e alta CTC, conforme a Figura 2.

Figura 3. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 1 e 2.



A

B

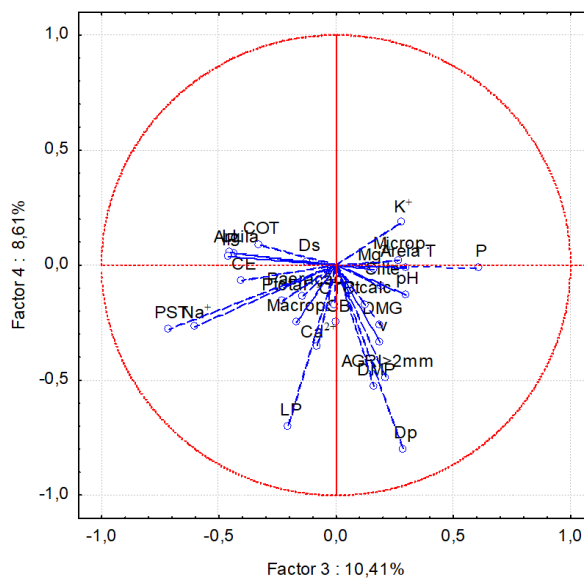
As variáveis com maiores pesos para o fator 3 foram: LL, IP, CE e Ca²⁺ e para o fator 4 AGRI>2mm, DMP e DMG. Esses resultados demonstram a inter-relação entre os atributos físicos e químicos associados com os estruturais.

O F3, gerado para os atributos do solo explicou 10,41 % da variação total dos atributos estudados, as variáveis que se destacaram foram: CE, Na⁺, LL e IP. No Fator 4 (F4) foram variáveis que descrevem os agregados no solo: DMP, DMG e AGRI (%) >2 mm e LP explicando 8,61% dos dados.

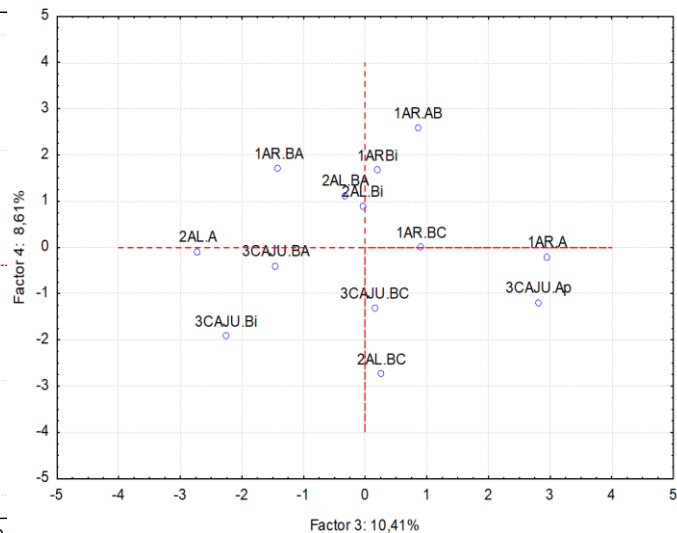
A análise dos agregados revelou que o 3CAJU (área de Cajueiro) que refere-se a uma área manejada periodicamente resultou em menor percentagem de agregados maiores que 2 mm e menor DMP, significando uma estruturação inferior as demais área em virtude do manejo.

A disposição dos poros e agregados, delineada pela estrutura do solo, possui grande influência sobre os processos envolvidos na formação, estabilidade e agregação. O manejo inadequado influencia diretamente nos aspectos estruturais do solo, sobretudo nos horizontes superficiais. Os valores de DMG foram similares em comparação com os demais ambientes.

Figura 4. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 3 e 4.



B



A

As variáveis Microp., Macrop., e COT representam os demais fatores (F5 e F6) com variação de 4,49 % e 4,06 % respectivamente. A maior macroporosidade foi encontrada no Latossolo (3CAJU), para Goés et al., (2018) em solo estruturado ocorre maiores valores de macroporosidade, que resulta em espaços maiores, favorecendo a drenagem e a aeração do solo, sem restrições físicas, quanto ao crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas.

Os menores valores de DMP foram encontrados no horizonte 2AL (Latossolo), em função da predominância da fração areia, em detrimento da argila, apresentando menor força de coesão. Com exceção, o DMP no horizonte 3CAJU (Latossolo) diferiu das demais, variando de 2,35 a 2,53 mm, o que está associado ao incremento da fração argila do tipo 1:1 e dos óxidos de Fe e Al, como também, o incremento do COT, explicando assim o processo de agregação, conseqüentemente maior estabilidade de agregados.

No horizonte 1AR (Latossolo) verificou-se elevado valor da agregação no horizonte superficial e posteriormente decresceu ao longo do perfil, isso pode ser explicado pela atividade microbiana atuando sobre os resíduos vegetais presentes na camada superficial do solo, onde os teores de matéria orgânica são maiores.

Os solos estruturados normalmente favorecem o desenvolvimento radicular, pois o caminho natural do crescimento das raízes no solo é favorecido pelos macroporos, ou

espaços vazios entre os agregados, que em solos não compactados são interligados (Tavares, 2018).

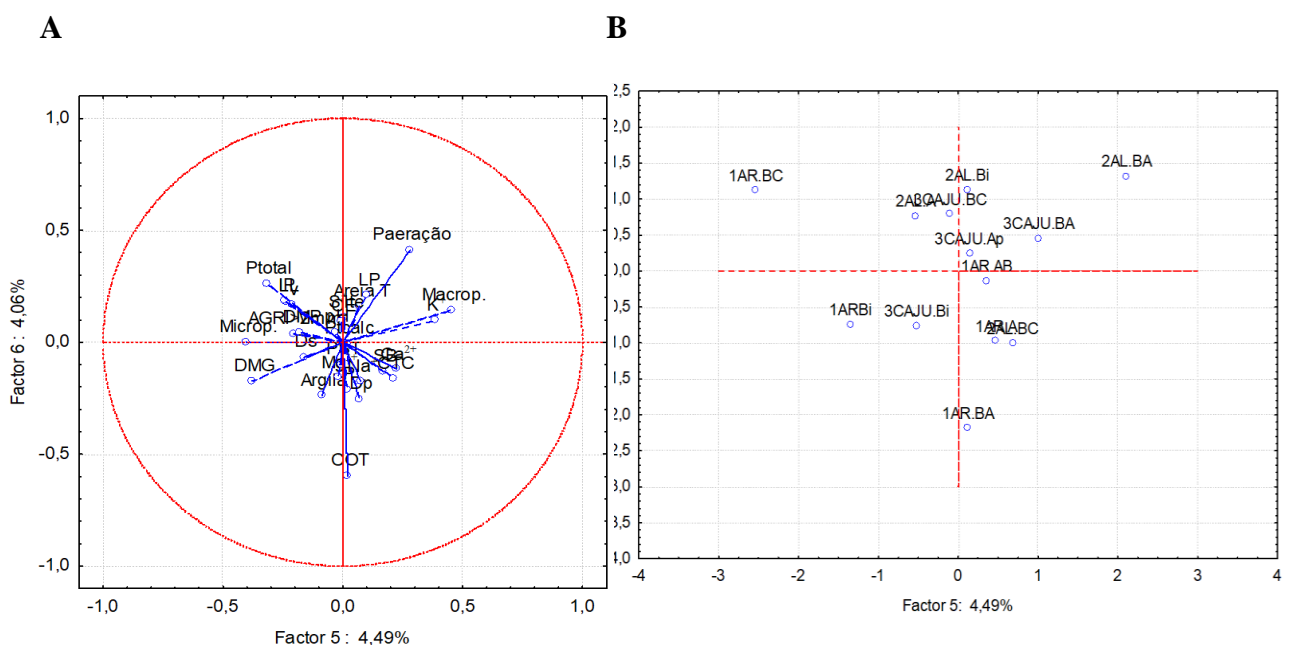
O F5 representado pela microporosidade, macroporosidade, LP e o F6 pelo COT. Analisando as Figuras (4A e B), o COT foi o atributo que mais discriminou a área 1AR.BA (Latossolo), com valores inferiores aos encontrados na classe de Cambissolo na superfície. Marinho et al. (2016) encontrou resultados semelhantes, com teores de COT representativos para um ambiente de condição semiárida na classe de Cambissolo Háplico.

Um dos atributos que está correlacionado com os aspectos estruturais do solo é a agregação, e visto que este possui solos com altos teores de argila, as partículas de argila agem como agente cimentante, proporcionando maior estabilidade dos agregados.

Segundo Brito et al. (2017),

o Cambissolo Háplico é o tipo mais frequente nas áreas sobre o calcário, são solos que apresenta estágio de intemperismo intermediário, isto é, que não sofreram transformações químicas e físicas muito avançadas.

Figura 5. Diagrama de projeção dos vetores (A), e diagrama de ordenação dos componentes principais para as áreas em estudo (B) para os fatores 3 e 4.



6. CONCLUSÕES

Os atributos físicos, químicos e estruturais foram indicadores na diferenciação nas classes e usos do solo, todavia, os mais sensíveis foram densidade de partículas (Dp), Ca^{2+} , Mg^{2+} , soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), areia total, argila, densidade do solo (Ds), pH, P e K^+ .

A análise da correlação de Pearson e a análise fatorial revelaram que as variáveis Dp, Ca^{2+} , Mg^{3+} , SB e CTC para o fator 1, seguida das variáveis pH, P, K^+ , areia total, argila e Ds para o fator 2, são atributos de solo importantes para a distinção dos ambientes estudados.

Houve a formação de agrupamentos com classes de solos distintas, reunindo variáveis das respectivas classes com características similares entre elas, destacando-se três grupos. A menor dissimilaridade foi observada nos horizontes de transição na Classe de Latossolo (1AR.AB e 3CAJU.BC).

Ocorreu diferenciação das frações inorgânicas entre as classes, a fração areia foi discriminante para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo eutrófico, e a argila e silte para o Cambissolo Háplico.

A análise de agrupamento identificou para o Cambissolo Háplico que a fração argila e os atributos estruturais (microporosidade, porosidade total, porosidade de aeração) com maior dissimilaridade, identificando condições críticas para restrições ao crescimento radicular por impedimento mecânico ou deficiência de aeração.

A percentagem de sódio trocável (PST) foi uma variável determinante para a classe do Latossolo Vermelho eutrófico (3CAJU) em concordância com a análise de agrupamento e análise fatorial com extração dos componentes principais.

7. REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. 2013.

Brito, R. F. D.; Neto, M. F.; Dias, N. D. S.; Holanda, J. S. D.; Lira, R. B. D.; Gomes, J. W. D. S.. Morfologia e fertilidade do solo em áreas de produção do semiárido. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(3), 525-532. 2017.

Carvalho, A. E. M.; Lima, L. A.; Oliveira, L. S.; Costa, M. C. G. Diagnóstico do uso e conservação do solo em região de reforma agrária no semiárido. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 12(3), 568-573. 2017.

Conceição, P. C.; Boeni, M.; Bayer, C.; Dieckow, J.; Salton, J. C.; Reis, C. E. S. Eficiência de soluções densas no fracionamento físico da matéria orgânica do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 490-497. 2015.

DNOCS. Plano diretor para o aproveitamento dos recursos de solo e água do Vale do Apodi - Rio Grande do Norte. São Paulo, Hidroservice/Ministério do Interior/DNOCS (3ª Diretoria Regional). v. I. Tomo 1. 1978.

Ferreira, M. M. Caracterização física do solo. Física do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1-27. 2010.

Forsythe, W. Manual de laboratorio: Física de suelos (No. IICA-LME 25). IICA, San José (Costa Rica). 1975.

Marinho, L. B., Frizzone, J. A., Júnior, J. B. T., Paulino, J., Flumigan, D. L., & Góes, D. B.. DINÂMICA DA ÁGUA NO SISTEMA SOLO-PLANTA NO CULTIVO DA PIMENTA TABASCO SOB DÉFICIT HÍDRICO1. *IRRIGA*, 1(01), 246. 2018.

Hair, J. F.; Black, W. C.; Babin, B. J.; Anderson, R. E.; Tatham, R. L. Análise multivariada de dados. Bookman Editora. 2009.

Kemper, W. D.; Rosenau, R. C. Aggregate stability and size distribution. 1986.

Ker, J. C. Latossolos do Brasil: Uma Revisão. *Geonomos*, v.5, p.17-40, 1997.

Kiehl, E.J. (1979). Manual de edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Ceres. 262p.

Marinho, A. C. C. S.; Portela, J. C.; Silva, E. F.; Dias, N. S.; Sousa Júnior, F. S.; Silva, A. C.; SILVA, J. F. Organic matter and physicochemical attributes of a Cambisol under

different agricultural uses in a semi-arid region of Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, v.10, p.32-41. 2016.

Meurer, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 65-90. 2007.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a. aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*. 2010.

Statsoft. *Statistica Version 7.0*. StatSoft. Retrieved from <http://www.statsoft.com> 2004.

Sá Paye, H.; Vargas de Mello, J. W.; Bezerra de Melo, S. Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 2012.

Souza, H. S.; Tsukamoto Filho, A. D. A.; Souza, É. C.; Arriel, D. A. A.; Medeiros, R. A. Análise multivariada de atributos químicos e físicos do solo em sistema agroflorestal com teca. *Scientia agraria*, 19(1), 87-93. 2018.

Tavares, M. H. F.; Silva Feliciano, J. J.; Vaz, C. M. P. Análise comparativa de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. *Irriga*, 13(4), 517-524. 2018.

Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira, G. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.

3 - CAPÍTULO III

ATRIBUTOS ESTRUTURAIS, QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DE CLASSES DE SOLOS NA CHAPADA DO APODI

1. RESUMO

A influência da mineralogia na estrutura e agregação dos solos do Semiárido ainda é estudado de forma incipiente. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito de atributos estruturais e a mineralogia dos óxidos de ferro (Fe) pedogênicos em diferentes classes de solo. Amostras de solos foram coletadas em 17 perfis da camada subperifical (horizonte diagnóstico) de diferentes classes e usos dos solos, em dois municípios do Semiárido Potiguar, localizados na região da Chapada do Apodi. Para as amostras indeformadas constituíram 10 amostras no horizonte diagnóstico de casa perfil em anéis volumétricos como também, em blocos de solo (análise de agregados), e as deformadas em triplicatas no laboratório. Foram determinados os atributos estruturais e químicos. Os dados foram analisados submetendo-os a técnicas de estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise de agrupamento e a análise fatorial com extração dos fatores em componentes principais. A identificação mineralógica foi realizada por difração de raios X (DRX), sendo também determinados os teores de Fe por ataque sulfúrico (Fes), Fe extraídos por DCB (ditionito-citrato-bicarbonato de sódio) para Fed, e ferro por oxalato (Feo). Foram identificados dois grupos de solos, o grupo 1, distinguidos por solos mais desenvolvidos e o grupo 2, elencados por solos menos desenvolvidos (menor intemperismo). Em relação a teor de óxidos de ferro, os perfis foram classificados como hipoférrico. O perfil 3 (Latosolo Amarelo) apresentou a maior quantidade de ferro cristalino. O perfil 10 (Cambissolo Háptico) apresentou menor quantidade de ferro amorfo, já no perfil 17 (Cambissolo Háptico) a quantidade de ferro amorfo se encontra próxima ao cristalino, inferindo que o processo de intemperização é o fator que interfere diretamente na quantidade de óxidos de ferro. A fração argila dos horizontes diagnósticos apresentou picos evidentes de caulinita e ilita para o grupo 1, como também hematita e goethita, indicativos de solos mais intemperizados.

Palavras-chave: Argilominerais. Difratomia de raio X. Óxidos de Ferro.

2. ABSTRACT

The influence of mineralogy on the structure and aggregation of the semiarid soils is still studied in an incipient way. This study aimed to evaluate the effect of structural attributes and the mineralogy of pedogenic iron oxides (Fe) in different soil classes. Soil samples were collected in 17 profiles of the subperfolial layer (diagnostic horizon) of different classes and land uses, in two municipalities of the Potiguar Semiarid, located in the region of Chapada do Apodi. For the undeformed samples, 10 samples were taken in the diagnostic horizon of the household profile in volumetric rings as well as in soil blocks (aggregate analysis), and the deformed samples in triplicates in the laboratory. Structural and chemical attributes were determined. The data were analyzed by subjecting them to multivariate statistical techniques, through correlation matrix, cluster analysis and factorial analysis with factor extraction in main components. The mineralogical identification was performed by X-ray diffraction (XRD), and Fe values were determined by sulfuric attack (Fe), Fe extracted by DCB (dithionite-citrate-sodium bicarbonate) for Fed, and iron by oxalate (Feo). Two groups of soils, group 1, distinguished by more developed soils and group 2, identified by less developed soils (less weathering) were identified. In relation to iron oxide content, the profiles were classified as hypoferric. Profile 3 (Latossolo Amarelo) presented the highest amount of crystalline iron. The profile 10 (Cambissolo Háplico) showed a lower amount of amorphous iron. In profile 17 (Cambissolo Háplico), the amount of amorphous iron is close to the crystalline, inferring that the weathering process is the factor that directly interferes with the amount of oxides of iron. The clay fraction of the diagnostic horizons showed evident peaks of kaolinite and illite for group 1, as well as hematite and goethite indicative of more temperate soils.

Keywords: Argilominerals. X-ray diffractometry. Iron Oxides.

3. INTRODUÇÃO

A estrutura é resultante da agregação das partículas primárias (areia, silte e argila) e de outros componentes do solo, como matéria orgânica, calcário e sais. Os agregados do solo resultam de uma combinação de partículas minerais primárias com materiais orgânicos e inorgânicos, esse processo é influenciado pela interação de vários fatores, incluindo componentes ambientais, manejo do solo e o efeito de plantas.

Este processo é definido como a ampliação e desenvolvimento das etapas normais dos fenômenos inseridos no sistema, balizado como aglutinador dos mecanismos na formação de agregados, o qual, conforme a sua natureza, é classificado em físico, químico e biológico.

O processo físico é balizado quando os agregados naturais são formados por ciclos de umedecimento e secagem, com a aproximação e afastamento entre as partículas, assim como, por fragmentação, onde agregados menores são formados por unidades maiores; o químico denota da flocculação e dispersão da argila, precipitação de óxidos de ferro e alumínio sobre a superfície dos minerais de argila, interação e associação entre matéria orgânica e cátions polivalentes, e estes com as cargas negativas da fase sólida do solo; no processo biológico, é refletido nas ações dos microrganismos e das plantas, atuando na formação dos agregados. É importante ressaltar que embora apresentados de forma separada, esses processos ocorrem concomitantemente na maioria dos casos

A formação Jandaíra é caracterizada por apresentar rochas carbonáticas, sua formação geológica é composta de dois tipos de calcário: o calcítico e o dolomítico. Assim como, observa-se a formação de áreas aluvionais provenientes da deposição de sedimentos não consolidados, arenosos, siltosos e argilosos. Em algumas áreas, o calcário é recoberto por sedimentos arenosos, oriundos do Grupo Barreiras (Mota et al., 2008). Quando refere-se a estudos da mineralogia dos solos da Chapada do Apodi, no Rio Grande do Norte, há registro dos trabalhos de Ernesto Sobrinho (1980) e Lemos et al. (1997).

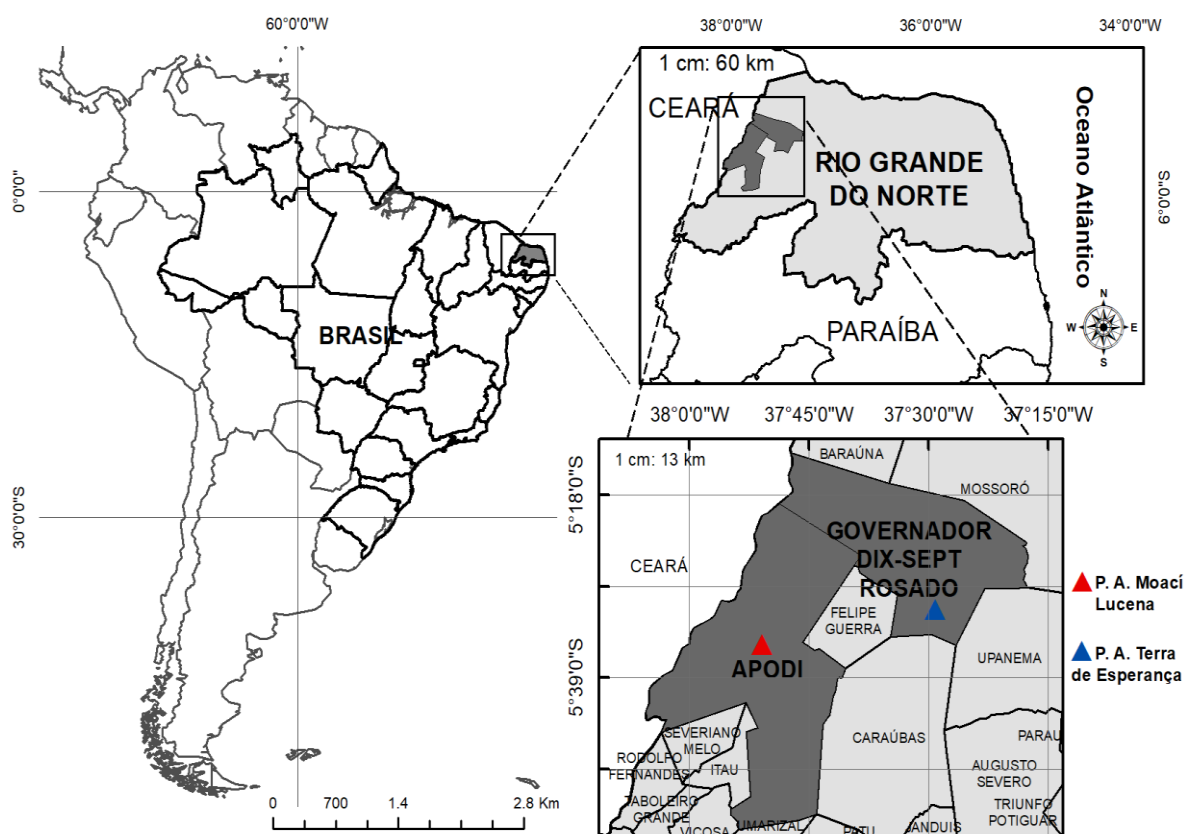
O grau de cristalinidade dos óxidos tem sido comumente estudado pela relação entre os teores do elemento Fe extraído com oxalato ácido de amônio e com DCB, indicando a reserva do ferro em função de outros grupos minerais (Feo/Fed) (Kämpf, 1988). Essa avaliação é constantemente utilizada para avaliar o grau de pedogênese em várias classes de solo

Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar diferentes classes de solo da Chapada do Apodi, em relação aos aspectos mineralógicos e constatar o comportamento das formas extraíveis de ferro, Feo, Fed e Fes, e suas relações no tocante aos atributos estruturais e químicos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Projeto de Assentamento (PA) Terra da Esperança, situado no município de Governador Dix-Sept Rosado, e no Projeto de Assentamento Moacir Lucena, localizado no município de Apodi, ambos inseridos na mesorregião Oeste Potiguar, microrregião da Chapada do Apodi, no estado do Rio Grande do Norte. O município de Governador Dix-Sept Rosado possui coordenadas: 05° 27' 32,4" S e 37°31'15,6" W e o município de Apodi: 05° 39' 51" S, 37° 47' 56" W. Apresentam classificação climática segundo Koppen, Semiárido quente, tipo BSw'h, (Beltrão et al., 2005), com vegetação natural de Caatinga Hiperxerófila, caducifólia.

Figura 1. Localização dos municípios estudados.



Fonte: Autoria-própria, (2018).

Para o referido estudo foram investigados diferentes agroecossistemas preservados (áreas de referência) e usos agropecuários, em classes de solos, nos horizontes diagnósticos. Foram selecionadas 17 áreas, sendo definidas pelos perfis:

Tabela 1. Localização das classes de solo estudadas.

Perfil	Horizonte	Classe	Usos	Município	Localização
1	Bt (48 - 120)	Latossolo Vermelho-Amarelo	Área em recuperação	Apodi	05°32'05,2" S 37°52'55,7" W
2	Bi (15 - 54)	Cambissolo Háptico	Área da lagoa	Apodi	05°32'17,9" S 37°53'09,9" W
3	Bt (25 - 97)	Latossolo Amarelo	Área de reserva	Apodi	05°32'09,8" S 37°53'18,1" W
4	Bw (16 - 95)	Argissolo Amarelo	Área agroecológica	Apodi	05°33'16,8" S 37°53'19,1" W
5	Bi (18 - 60)	Cambissolo Háptico	Área coletiva	Apodi	05°32'07,9" S 37°53'51,6" W
6	Bt (40 - 120)	Latossolo Amarelo	Área do cajueiro	Apodi	05°31'53,7" S 37°53'50,8" W
7	Bt (23 - 75)	Latossolo Amarelo	Área do cajueiro	Apodi	05°31'51,2" S 37°54'02,9" W
8	Bi 8-37	Cambissolo Háptico	Área Convencional	Governador	05° 29' 13,0" S 37° 24' 33,1" W
9	Bi 7-22	Cambissolo Háptico	Área coletiva	Governador	05° 30' 17,6" S 37° 27' 01,3" W
10	Bi 10-42	Cambissolo Háptico	Área Agroecológica	Governador	05° 30' 22,9" S 37° 27' 06,8" W
11	Bw 25-50	Latossolo Vermelho-Amarelo	Mata nativa	Governador	05° 29' 42,7" S 37° 28' 30,3" W
12	Ak 0-20	Chernossolo Rêndzico	Área Convencional de Pastejo	Governador	05° 32' 21,18" S 37° 26' 01,2" W
13	Bi 5-27	Cambissolo Háptico	Mata Nativa	Governador	05° 32' 24,0" S 37° 25' 59,4" W
14	Bi 35-75	Cambissolo Háptico	Mata Nativa	Governador	05°28' 40,7" S 37° 26' 16,3" W
15	A 0-30	Neossolo Flúvico	Área de Preservação Permanente	Governador	05°29' 45,5" S 37° 27' 50,6" W
16	Bi 19-60	Cambissolo Vertissólico	Mata Nativa	Governador	05°28' 54,7" S 37° 24' 52,7" W
17	Bi 41-92	Cambissolo Háptico	Área de Cajaraneiras	Governador	05°29' 50,9" S 37° 27' 14,8" W

Para caracterização dos ambientes coletaram-se amostras com estruturas deformadas e indeformadas nas áreas supracitadas, nos seus respectivos horizontes, sendo estas acondicionadas em sacos plásticos, e analisadas no complexo do Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semiárido (LASAP-CCA-UFERSA), seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017).

Foram determinados atributos estruturais do solo: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade determinada (Pt det.), porosidade de aeração (Paeração), e estabilidade de agregados (Diâmetro Médio

Ponderado - DMP; Diâmetro Médio Geométrico - DMG). Os atributos químicos estudados foram: carbono orgânico total (COT), cálcio (Ca^{2+}) e sódio (Na^+).

A fração argila ($< 0,002$ mm) foi obtida pelo método da pipeta utilizando dispersante químico (Hexametáfosfato de sódio) e água destilada em 20 g da terra fina seca ao ar (TFSA), com agitação mecânica lenta em agitador (Wagner 50 rpm) por 16 horas, quantificada por sedimentação.

As amostras indeformadas foram coletadas utilizando aparelho tipo Uhland e anéis com dimensões de 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, sendo coletadas 10 amostras por horizonte nos respectivos perfis, para avaliação dos atributos D_s , M_a e M_i , $P_{tdet.}$, e $P_{aeração}$. A D_s foi determinada pelo do anel volumétrico descrito por Forsythe (1975), com volume conhecido, e tomando-se a média dos valores obtidos, sendo representada pelo quociente da massa das partículas sólidas do solo pelo volume total do solo, e expressa em kgdm^{-3} .

Para a análise da M_a , M_i e porosidade total, as amostras indeformadas nos anéis volumétricos foram saturadas por 48 horas e pesadas (para determinar a porosidade total). O método empregado para a determinação dessas propriedades foi o da “mesa de tensão”, segundo Kiehl (1979), na tensão de 6 kPa (microporosidade). A microporosidade foi determinada, pelo conteúdo de água retida no solo para o valor de h igual a 60 cm de água (aproximadamente um raio de poro de $25\mu\text{m}$). A macroporosidade do solo foi determinada por meio da diferença entre a porosidade total e microporosidade.

Para o estudo dos agregados foram extraídos blocos, nos respectivos horizontes em cada classe e passados em peneiras com abertura de malha de 4,00 e 2,00 mm, preservando a estrutura dos agregados pelas unidades de fraqueza. Utilizou-se o método de peneiramento via úmida com peneiras de malha de 4,76; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25, no aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), conforme (Kemper & Rosenau, 1986). Após a separação dos agregados obtidos por agitação em água as amostras foram levadas à estufa para secagem a 105°C . Após a obtenção da massa seca, descontou-se a fração areia, e posteriormente obteve-se a distribuição do tamanho dos agregados, a percentagem de agregação e de agregados estáveis em água e o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG).

Para realização das análises químicas foram utilizadas amostras deformadas, sendo avaliados os atributos: COT, por digestão da matéria orgânica e o cálcio trocável (Ca^{2+}) e sódio (Na^+) com extrator Mehlich 1 (Ribeiro & Guimarães, 1999).

Os dados dos atributos com estrutura deformada foram expressos por meio da média de quatro repetições, e submetidos à análise estatística por meio da técnica de análise multivariada como ferramenta principal utilizada na detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes nos solos sob diferentes usos, utilizando o programa Software Statistica 7.0 (Stasoft, 2004).

Análises mineralógicas

Identificação das fases minerais

A caracterização mineralógica foi realizada na fração argila dos horizontes diagnósticos dos perfis de solo estudados. Separou-se a argila das demais frações granulométricas por meio da dispersão química com hexametáfosfato de sódio $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ e mecânica com agitador tipo “Wagner” por 16 h. Após cada coleta de sifonação, o volume de cada proveta foi completado com solução de carbonato de sódio a pH 10, mantendo o pH entre 8,0 e 8,5. Esse procedimento foi repetido por várias vezes até a total retirada da fração argila (Teixeira et al. 2017). A identificação dos das fases minerais presentes na argila foi realizada por difratometria de raios X (DRX). Foi utilizado difratômetro SHIMADZU modelo XRD - 6000, empregando-se emissão $\text{K}\alpha_1$ do cobre. O potencial da fonte foi de 40 kV e a corrente de 30 mA. Foi aplicada uma velocidade de varredura com um passo de $0,02^\circ$ a cada segundo. A faixa de varredura (2θ) foi de 5 a 70° . A identificação dos picos foi realizada com o auxílio do programa Raio X v. 1.0.0.37 e os minerais foram identificados de acordo com Chen (1977).

Quantificação dos óxidos de ferro

Foram realizadas três análises distintas para quantificação dos óxidos de ferro presentes nos horizontes diagnósticos dos solos estudados. Inicialmente foi realizado o ataque sulfúrico (Vettori, 1969), onde é quantificado o ferro presente nos minerais secundários (Fes). Para tanto, utilizou-se 0,5 g de TFSA colocadas em tubos de digestão

de 75 ml, juntamente com 20 ml de H₂SO₄ (relação 1:1 com H₂O deionizada), levando ao bloco digestor para aquecer a temperatura aproximada de 180 °C por uma hora. Ao resfriamento, foram adicionados 50 ml de água deionizada, e em seguida filtrados em papel filtro faixa azul para balões de 250 ml. A determinação de Fe foi realizada por Espectrofotometria de Absorção Atômica (Teixeira et al. 2017).

Em seguida foi realizada a determinação do ferro por DBC (Ditionito-Citrato-Bicarbonato), para quantificação do Fe em formas cristalinas (Fed) (Mehra & Jackson, 1960), onde pesou-se 0,2 g de argila que foram colocados em tubos de centrífuga de 50 ml, depois adicionados 10 ml da solução de citrato 0,2 mol L⁻¹ e 0,5 g de ditionito de sódio em pó. Depois os tubos foram levados ao banho-maria (a 50 °C) por 30 minutos.

Logo após os tubos foram retirados e deixados resfriando até temperatura ambiente e levados para a centrífuga a 2000 rpm, ao final o extrato foi colocado em um balão volumétrico de 50 ml. Todas as etapas foram repetidas por três vezes. Em seguida o balão foi completado com água deionizada, paralelamente a análise, foi feita uma prova em branco contendo os reagentes exceto a amostra de solo. Com o extrato final foi realizada a leitura do ferro no Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

Finalmente foi realizada a determinação do ferro por oxalato, para quantificação do ferro em formas amorfas (Feo) (Mehra & Jackson, 1960), onde 0,2 g de argila foram pesados e colocados em tubos de centrífuga recobertos por papel alumínio, em seguida foi adicionado 10 mL da solução “reagente de Tamm” (Oxalato de amônio 0,2mol L⁻¹ + ácido oxálico 0,2 mol L⁻¹ a pH 3,0), posteriormente os tubos foram tampados e levados ao agitador horizontal, onde foram fixados paralelamente à direção do movimento e agitados por duas horas. Em seguida as amostras foram centrifugadas por 10 minutos a uma rotação de 2000 rpm, o extrato final foi transferido para balões volumétricos de 50 mL e completados com água deionizada. Paralelamente a análise, foi feita uma prova em branco contendo os reagentes exceto a amostra de solo. As leituras dos extratos foram realizadas também em Espectrofotômetro de Absorção Atômica.

Para interpretação dos atributos mais sensíveis na distinção dos ambientes em estudo, os dados foram submetidos à análise de estatística multivariada como ferramenta principal, especificamente por meio das análises de componentes principais, fatorial e agrupamento (Statística 7, 2004).

Foi utilizada a análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) para as 15 variáveis com o objetivo de garantir que estas possuíssem correlações mínimas suficientes para justificar o seu uso na matriz de dados na AF. Para a AF, os fatores com autovalores

maiores que 1 foram extraídos por componentes principais, e os eixos fatoriais foram rotacionados pelo método Varimax. Para este estudo estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas (Hair Jr. et al. 2009).

Os resultados analíticos foram padronizados pela matriz de correlação e submetidos a técnicas multivariadas, como a análise de agrupamento (AA), análise fatorial (AF) e análise de componentes principais (ACP). A análise de agrupamento (AA) foi representada pelo dendograma vertical da matriz de distância, adotou-se a distância euclidiana como medida de similaridade e o método de Ward para ligar os casos entre si.

Na AA a importância de cada variável na distinção dos ambientes é mensurada em função da sua menor distância em relação ao eixo de referência, eixo do x ou do y, sendo que o eixo que contém o maior valor de variância acumulada explica boa parte das causas de variação (Sá Paye et al., 2012).

Na AF observa-se a contribuição de cada variável em relação a cada fator, sendo os fatores definidos pelos atributos diferenciadores dos ambientes. Como ferramenta para distinção de ambientes foram confeccionados quatro diagramas dos componentes principais (Fator 1 e 2, Fator 3 e 4) para os atributos estruturais e químicos. A partir desses dados foram criados diagramas bidimensionais para distinção das áreas e diagramas de projeção de vetores para verificação dos atributos do solo sensíveis na distinção dos ambientes estudados (Hair et al., 2009).

Atribuindo-se o valor 20 para a distância de ligação no dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento, foi possível identificar dois grandes grupos de solos (Figura 1). Na (AF) observa-se a contribuição de cada variável em relação a cada fator, sendo os fatores definidos pelos atributos diferenciadores dos ambientes. Como ferramenta para distinção de ambientes foram confeccionados seis diagramas dos componentes principais (Fator 1 e 2, Fator 3 e 4, Fator 5 e 6) para os atributos físico-químicos. A partir desses dados foram criados diagramas bidimensionais para distinção das áreas e diagramas de projeção de vetores para verificação dos atributos do solo sensíveis na distinção dos ambientes estudados (Hair et al. 2009).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação das fases minerais presentes na fração argila permitiu separar as classes de solo em dois grupos, o G1 caracterizado como solos mais desenvolvidos, pertencentes as classes: P1 - Latossolo Vermelho-Amarelo, P2 - Cambissolo Háplico, P3 - Latossolo Amarelo, P4 - Argissolo Amarelo, P5 - Cambissolo Háplico, P6 - Latossolo Amarelo, P7 - Latossolo Amarelo e P11 - Latossolo Vermelho-amarelo (Figura 1); e o G2 com solos menos desenvolvidos, pertencente as classes: P8 - Cambissolo Háplico, P9 - Cambissolo Háplico, P10 - Cambissolo Háplico, P12 - Chernossolo Rêndzico, P13 - Cambissolo Háplico, P14 - Cambissolo Háplico, P15 - Neossolo Flúvico, P16 - Cambissolo Vertissólico, P17 - Cambissolo Háplico (Figura 2).

Todos as classes estudadas apresentaram teor de óxidos de ferro baixo, isso pode ser explicado em função do material de origem sedimentar que comumente apresenta pouco acúmulo de Fe. A presença de Fe foi observada de forma qualitativa, visualizada no campo apresentando-se na forma de concreções com diâmetro médio acima de 2 mm.

Em relação ao grau de cristalinidade dos óxidos de ferro (razão Feo/Fed) observou-se a variação de 0,19 (Latossolo Vermelho-Amarelo) a 3,10 (Chernossolo Rêndzico), sendo um indicador de solos mais desenvolvidos quando estão apresentam valores menores que 1. A maioria das classes estudadas apresentaram valores maiores 1 com exceção do P11 (Latossolo Vermelho-amarelo), o P12 (Chernossolo Rêndzico), P14 (Cambissolo Háplico), P15 (Neossolo Flúvico), P16 (Cambissolo Vertissólico), e P17 (Cambissolo Háplico).

O P3 (Latossolo Amarelo) apresentou menor teor de Fed ($3,25 \text{ g kg}^{-1}$) entre as demais classes, e para a quantidade de Feo (ferro amorfo) que variou de 0,21 a $1,71 \text{ g kg}^{-1}$, o mesmo obteve $0,90 \text{ g kg}^{-1}$, podendo indicar para classe em estudo mais desenvolvimento em relação a sua pedogênese, com menos características preservadas do material de origem, indicando solos mais intemperizados. Silva Neto (2008) em regiões subtropicais brasileiras encontrou valores superiores de ferro cristalino para mesma classe de solo.

Os teores de Fed podem variar conforme o material de origem, de acordo com Pötter & Kämpf (1981) e Kämpf & Dick (1984), rochas mais ácidas com o material de origem arenito, oriundo das rochas sedimentares, apresentam valores inferiores de Fed que as rochas básicas.

O P12 (Chernossolo) apresentou menor teor de Fed ($0,11 \text{ g kg}^{-1}$) o que indica a condição de solo menos intemperizado, com características intrínsecas do material de origem. O P8, P9, P10, e P13, todos pertencentes a classe de Cambissolo Háplico, mesmo estando no grupo de solos menos desenvolvidos (G2), os mesmos apresentam distinção em relação ao grau de pedogênese, isso pode ser observado pelo teor de Fes, percebe-se que para o P8 a contribuição dos óxidos de Fe é menor quando comparado a P17.

Como os óxidos de Fe são importante indicadores do avanço pedogênese pode-se compreender que boa parte do Fe detectado pelo Fes está presente em argilominerais silicatados, o que não ocorre tão expressamente no P17, caracterizando assim o P8 como um solo menos desenvolvido. Com relação a razão de Feo/Fed, a maioria das classes apresentaram valores menores que 1, condizendo com a sua natureza de ambiente mais intemperizado.

Tabela 2. Teores de Fe_2O_3 extraídos pelo ataque sulfúrico, DCB e oxalato, e a relação Feo/Fed.

Perfil/Hoz.	Fes	Fed	Feo	Feo/Fed	Argila
g/kg					
Latossolo Vermelho-amarelo					
P1 – Bw	13,31	2,89	0,54	0,19	506
Cambissolo Háplico					
P2 – Bi	7,81	2,08	1,65	0,79	536
Latossolo Amarelo					
P3 – Bw	8,82	3,25	0,90	0,28	512
Argissolo Amarelo					
P4 – Bt	4,45	1,85	0,45	0,25	651
Cambissolo Háplico					
P5 – Bi	1,33	0,57	0,33	0,58	467
Latossolo Amarelo					
P6 – Bw	13,20	0,72	0,27	0,38	455
Latossolo Amarelo					
P7 – Bw	8,82	0,51	0,34	0,66	560
Cambissolo Háplico					
P8 – Bi	8,96	0,62	0,36	0,57	366
Cambissolo Háplico					
P9 – Bi	8,64	0,75	0,43	0,58	281
Cambissolo Háplico					
P10 – Bi	10,36	0,75	0,21	0,28	298
Latossolo Vermelho-amarelo					
P11 – Bw	6,91	0,54	0,67	1,25	295
Chernossolo Rêndzico					
P12 – Ak	9,37	0,11	0,35	3,10	174
Cambissolo Háplico					
P13 – Bi	7,31	0,97	0,73	0,75	305
Cambissolo Háplico					
P14 – Bi	7,70	0,76	1,70	2,24	414
Neossolo Flúvico					
P15 – A	3,70	1,16	1,71	1,48	513
Cambissolo Vertissólico					
P16 – Bi	4,13	0,69	0,96	1,39	485
Cambissolo Háplico					
P17 – Bi	3,23	1,25	1,34	1,07	530

Os espectros de difratometria de raios X (DRX) na argila natural dos horizontes diagnósticos são apresentados nas figuras 1 e 2. Entre os grupos de argilominerais foram detectados os óxidos de Fe (goethita e hematita), argilominerais do tipo 1:1 (caulinita), assim como, a illita, um argilomineral 2:1 não expansivo e derivado de mica, foi observado em todos os solos estudados.

A caulinita (Ct) apresentou picos bem definidos nos difratogramas, o que indica que a caulinita é o mineral dominante. Para Kampf et al. (2012) a Ct é um mineral geralmente formado em ambientes com clima quente e úmido a partir de minerais primários (micas e feldspatos) e minerais 2:1 secundários, quando ocorre a tempo médio de intemperismo de diversos minerais e remoção parcial de cátions básicos e de Si. Melo e Alleoni (2009) afirmam que a Ct intervém em diversos processos físico-químicos do solo: porosidade, formação de agregados, retenção de água, drenagem, lixiviação de nutrientes e reações de troca.

Assim, as análises de DRX apresentaram picos característicos principalmente da caulinita e illita. Este comportamento parece comum em solos da região pois Mota (2008) estudando Latossolos também na região da Chapada revelou que minerais de argila, apresentaram o mesmo comportamento.

Na Figura 1 consta os solos caracterizados pelo G1 como grupo dos solos mais desenvolvidos, a mineralogia é coerente com o estágio de evolução que os solos apresentam em que todos os perfis apresentaram picos bem definidos de caulinita (Ct), despontando que este mineral apresenta nível mais avançado de cristalização, em função das condições climáticas e do processo de intemperismo.

É importante ressaltar que os teores mais elevados de Fed observados na Tabela 1 indicam solos mais desenvolvidos, sendo o relevo plano um fator importante neste processo.

Na Figura 2 consta os solos caracterizados pelo G2 como grupo de solos menos desenvolvidos, apresentando dois picos bem expressivos de illita (Il) na maioria dos perfis, o que demonstra que tais solos ainda apresentam minerais menos intemperizados o que pode ser justificado pelo fator climático e por ser um mineral 2:1.

A hematita (Hm) é comum em solos e rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas, sendo o segundo óxido de Fe mais encontrado na natureza. Mello & Alleoni (2009) retratam que a Hm é comum na região tropical, presente nas posições mais estáveis de relevo e acumulando em solos de drenagem livre. Assim, pela DRX observa-se a incidência, ainda que discreta, deste óxido no G1.

Figura 2. Difratomia de raios x da fração argila natural dos horizontes diagnósticos dos perfis mais desenvolvidos. Ct: Caulinita; Il: Ilita; Gt: Goethita; Hm: Hematita.

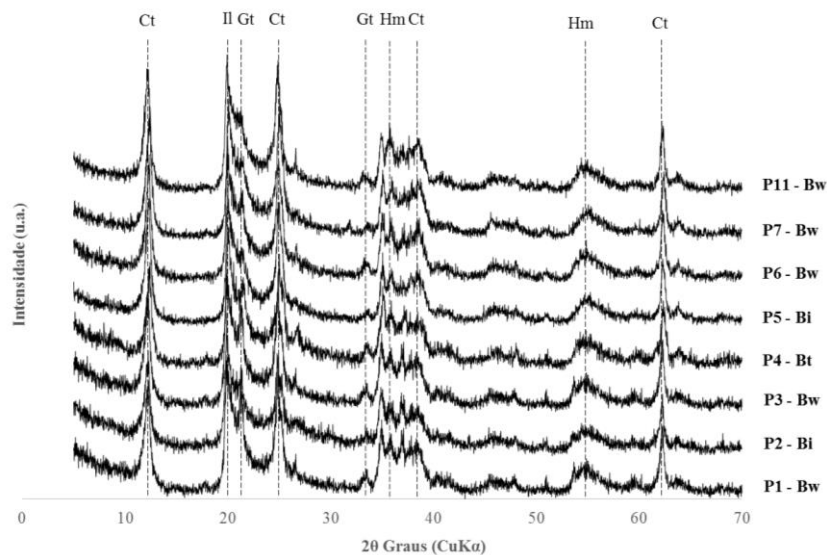
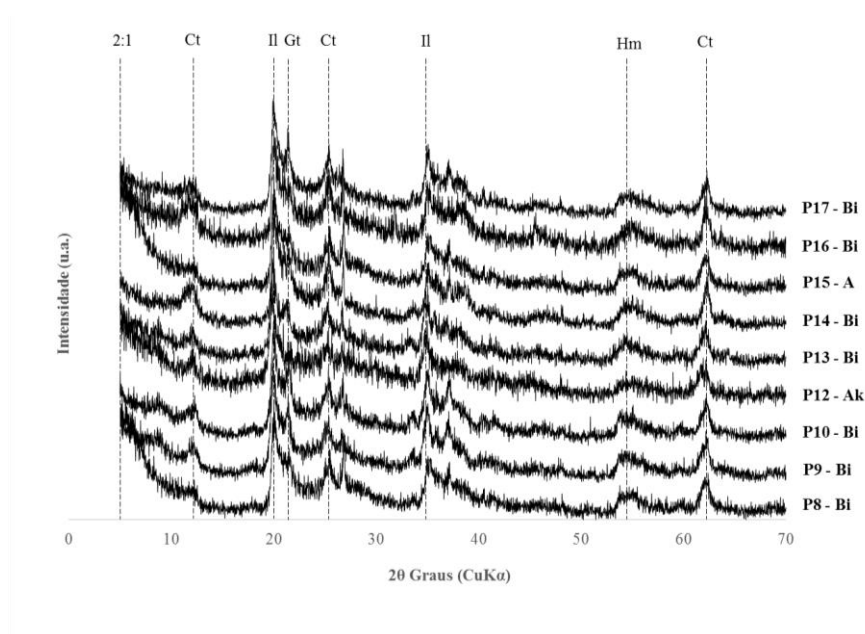


Figura 3. Difratomia de raios x da fração argila natural dos horizontes diagnósticos dos perfis menos desenvolvidos 2:1: argilomineral do tipo 2:1; Ct: Caulinita; Il: Ilita; Gt: Goethita; Hm: Hematita



Análise Estatística

Correlações significativas foram encontradas principalmente entre o atributo Argila e Fed com os e os elementos Mi, Ma e Ca^{2+} . Assim como para Mi com Ma, Na^+ , Ca^{2+} e Ds. As variáveis Fes e DMG não apresentaram correlação com as demais, podendo afirmar que estas são independentes (Tabela 3).

Tabela 3. Matriz de correlação entre as variáveis dos atributos do solo nas áreas em estudo.

	Argila	Fes	Fed	Feo	Feo/Fed	Ptdet.	P.aeração	DMP	DMG	Mi	Ma	Na ⁺	Ca ²⁺	Ds	COT
Argila	1														
Fes	-0,29	1													
Fed	0,54	0,18	1												
Feo	0,32	-0,37	0,26	1											
Feo/Fed	-0,44	-0,18	-0,48	0,35	1										
Ptdet.	-0,17	-0,08	-0,23	0,51	0,41	1									
P.aeração	-0,06	-0,1	0,2	0,59	0,23	0,76	1								
DMP	0,34	-0,43	-0,43	-0,14	0,09	-0,15	-0,28	1							
DMG	0,11	-0,14	-0,33	-0,24	0,22	0,17	0,09	0,67	1						
Mi	-0,55	-0,25	-0,51	0,27	0,54	0,55	0,54	0	0,04	1					
Ma	-0,78	0,02	-0,48	-0,08	0,46	0,22	0,07	-0,28	-0,23	0,63	1				
Na ⁺	-0,62	-0,01	-0,49	-0,09	0,72	0,34	0,27	-0,02	0,32	0,66	0,51	1			
Ca ²⁺	-0,27	-0,2	-0,32	0,18	0,18	0,5	0,6	-0,01	0,15	0,79	0,23	0,54	1		
Ds	0,34	0,17	0,42	-0,42	-0,47	-0,76	-0,64	0,01	-0,07	-0,8	-0,48	-0,55	-0,7	1	
COT	-0,52	0,08	-0,24	-0,12	0,2	0,27	0,35	-0,1	0,1	0,4	0,38	0,39	0,39	-0,47	1

Nota: Argila; Fes – Ferro por ataque sulfúrico; Fed – Ferro por ditionito; Feo – Ferro por oxalato; DMP – Diâmetro médio ponderado; Ptdet. – Porosidade total determinada; P.aeração – Porosidade de aeração; DMG – Diâmetro médio geométrico; Mi – Microporosidade; Ma – Macroporosidade; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Ds – Densidade do Solo; COT – carbono orgânico total.

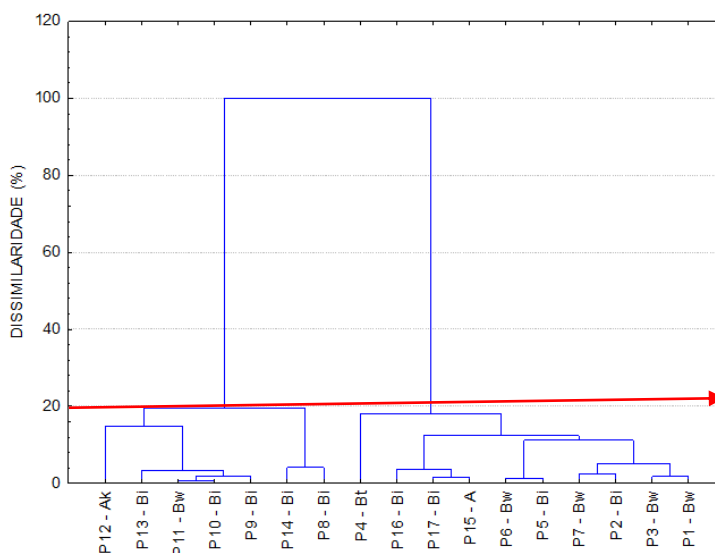
No dendograma vertical obtido pela análise de agrupamentos (Figura 3) a leitura é feita da direita para esquerda, no qual o eixo y indica as distâncias entre os grupos formados e o eixo x, representa os grupos unidos por ordem decrescente de semelhança, em que a alta dissimilaridade indica que dois indivíduos são distintos em relação ao conjunto. O mesmo permitiu a formação de dois grupos, sendo que o G1 predominou as classes de solos com pedogênese mais desenvolvida, com exceção do P15, P17 e P16.

A análise de agrupamento (AA), em sua aplicação, engloba uma variedade de técnicas e algoritmos, sendo que o objetivo é encontrar e separar objetos em grupos similares e uni-los por características comuns. Quando se obtém mensuração de diferente natureza, pode-se observar se há similaridades no conjunto de dados (Santi et al., 2012).

Verifica-se, na figura 3, que o P1 e P3, ambas da classe de Latossolo foram as que possuem a maior semelhança, no dendograma, por possuírem a menor distância euclidiana, sendo estes inseridos no primeiro grupo.

O P12 (Chernossolo) manteve-se distinto das demais classes de solo, participando do último grupo, pelo fato da variável possuir pouca semelhança em relação às outras e apresentando uma maior distância euclidiana.

Figura 4. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.



No Tabela 4 são apresentados os fatores extraídos das 15 variáveis estudadas, sendo que a proporção acumulada foi do Fator 1 (F1) ao Fator (F4) que explicou cerca de 80% da variabilidade total dos resultados obtidos.

O F1 permitiu estimar a influência das variáveis expressivas, com cargas fatoriais significativas na diferenciação dos ambientes, destacando-se: argila, Fed, Feo/Fed, Mi, Ma e Na^+ , isso pode ser justificado em função dos fatores e processos pedogenéticos que são fortemente influenciados pelo padrão climático da região Semiárida do Nordeste do Brasil, podendo ser observada essa variação entre as classes de solo.

A análise fatorial revelou que a maior parte das causas de variação (F1= 37,54 %) deve-se as inter-relações entre a argila, os óxidos de Fe e os atributos estruturais (Ma e Mi), conforme os resultados apresentados (Tabela 1 e 2).

Quanto ao F2, as variáveis que se destacaram foram: Ptdet., P.aeração, Ca^{2+} e Ds (17,40 %). Quanto aos demais fatores (F3 e F4) estes foram menos expressivos, com valores de cargas fatoriais inferiores, para os atributos selecionados, as quais se destacaram para o F3 as variáveis: DMP e DMG que descrevem dados de agregação do solo (15,57 %), enquanto o F4 variáveis Fes e Feo (8,48 %) foram mais sensíveis.

Vale ressaltar, que o somatório das variâncias acumuladas (F1 e F2) explicam 54,95 % das causas de variação, portanto, foram os fatores de maior contribuição para a distinção dos ambientes em estudo.

Tabela 4. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Argila	0,82	-0,09	-0,20	-0,45
Fes	0,09	-0,10	0,30	0,74
Fed	0,77	0,02	0,46	0,03
Feo	0,15	0,53	0,33	-0,71
Feo/Fed	-0,69	0,26	-0,09	-0,33
Ptdet.	-0,16	0,83	0,02	-0,14
P.aeração	0,09	0,94	0,14	-0,05
DMP	-0,01	-0,17	-0,88	-0,31
DMG	0,02	0,17	-0,90	0,10
Mi	-0,67	0,63	-0,03	-0,12
Ma	-0,85	0,09	0,31	0,09
Na₊	-0,71	0,38	-0,21	0,16
Ca₂₊	-0,28	0,75	-0,18	0,07
Ds	0,46	-0,78	0,03	0,12
COT	-0,35	0,45	-0,06	0,48
Autovalores	5,63	2,61	2,33	1,27
Variância Total (%)	37,54	17,40	15,57	8,48
Variância Acumulada (%)	37,54	54,95	70,51	78,99

Na ACP observando-se o círculo de correlação (Figura 4A) percebe-se que as variáveis argila e Fed obtiveram representatividade semelhante, ou seja, indicam boa correlação entre si. Estas variáveis foram mais sensíveis para distinção do P1 (Latossolo Vermelho-amarelo), P2 (Cambissolo Háplico), P3 (Latossolo Amarelo) e P4 (Argissolo Amarelo), com destaque para o P1 (Latossolo) corroborando com os teores de Fed apresentados na tabela 2. As variáveis Ma e Na⁺ no quadrante oposto indica correlações negativas.

A figura 3A apresenta o círculo unitário, e uma de suas funções é a realização da sobreposição deste sobre o plano fatorial. Desta forma, é possível identificar visualmente quais variáveis estão relacionadas com os casos em estudo. Assim, algumas variáveis estão sobrepostas umas às outras demonstrando que as mesmas possuem a mesma representatividade no gráfico.

As variáveis Feo, argila, Fed, P.aeração, Ptdet, Mi e Ds estão bem próximas ao círculo unitário. Isso mostra que estas possuem uma maior contribuição, em relação às variáveis que estão mais afastadas.

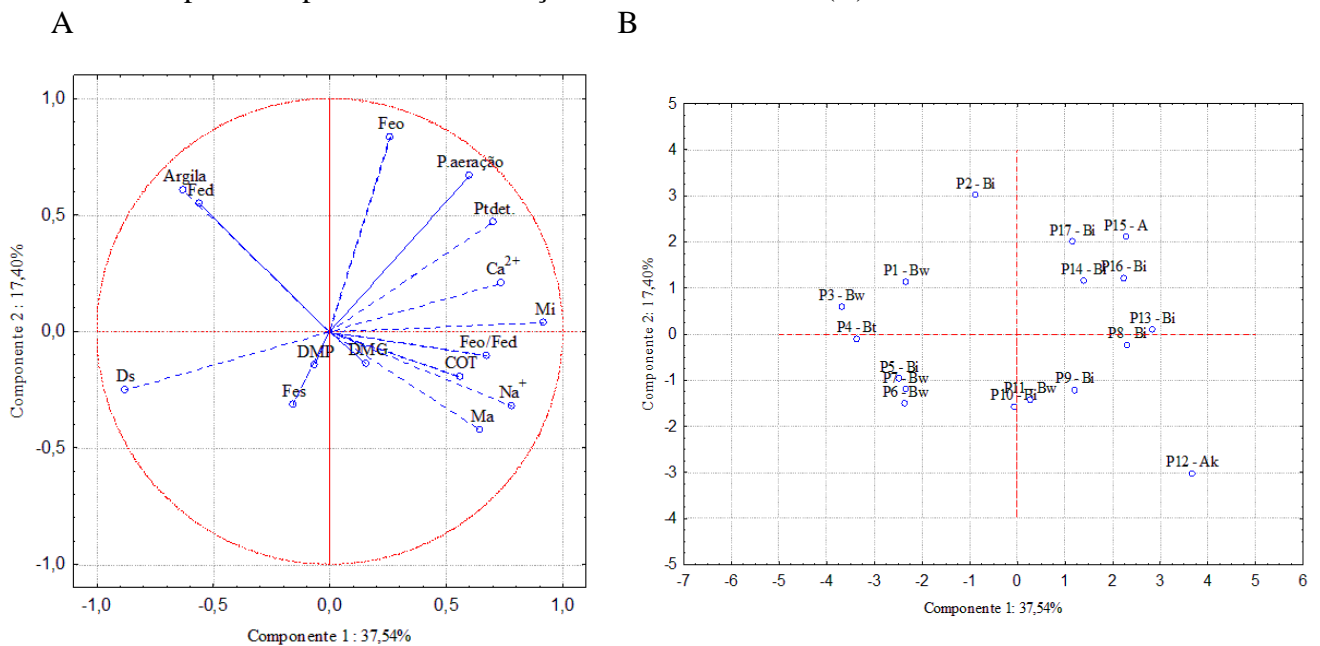
Analisando-se o gráfico da Figura 3A, que apresenta a distribuição da nuvem de variáveis em relação ao gráfico da Figura 3B, da distribuição da nuvem de pontos, pode-

se concluir que as variáveis que mais se destacam na primeira componente são Mi, Feo, Fed, COT, Ca^{2+} , enquanto na segunda componente foram o Feo, argila e Fed.

Nesse sentido podemos observar no gráfico 3 a formação de alguns grupos como também alguns solos isolados, isso se deve a variação das classes de solo em função das variáveis estudadas.

Os solos P5 (Latosolo), P6 (Latosolo) e P7 (Cambissolo Háplico) apresentaram a Ds como variável discriminante. O Ca^{2+} e a Mi foram atributos discriminantes para o P8 e P13, ambos da classe de Cambissolo Háplico. Enquanto a variável de Ma foi sensível para distinção do P12 (Chernossolo Rêndzico).

Figura 5. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 1 e 2 (B).

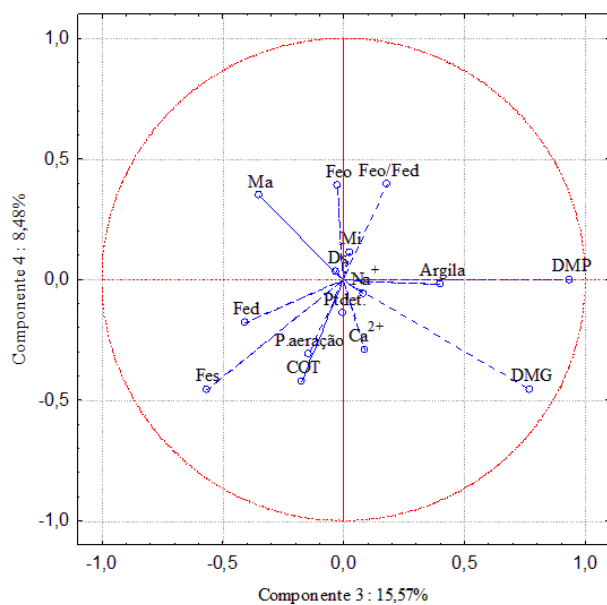


As variáveis de maior peso para o F3 foram: DMP, DMG, Ds e Ca^{2+} (tabela 4) demonstrando a inter-relação entre os atributos estruturais e agregação, visto que estes possuem solos com diferentes teores e tipos de argila, atuando de forma diferenciada como agentes cimentantes. O P16 (Cambissolo vertissólico) foi sensível para variável de DMG, e o P4 (Argissolo Amarelo) e P7 (Latosolo Amarelo) para DMP.

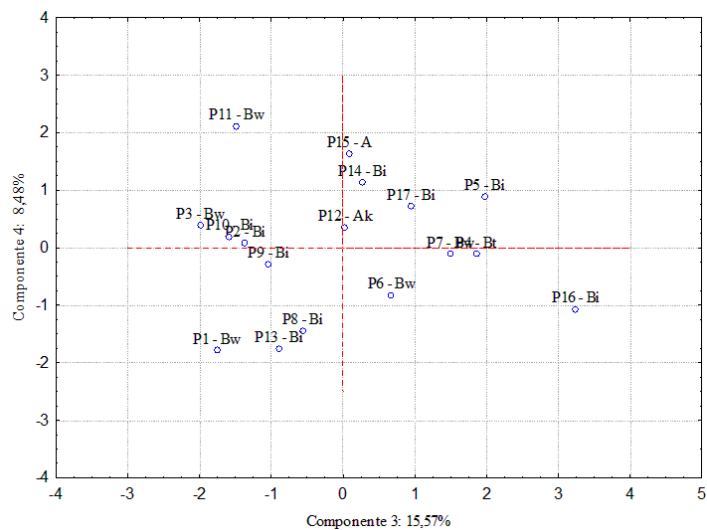
As variáveis discriminantes para o F4 foram: Fes e Feo (Tabela 4). Na ACP o Fes foi sensível para o P1 (Latosolo Vermelho-amarelo), em que pode ser constatado a presença de maior teor de Fes (Tabela 2).

Figura 6. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre fatores 3 e 4 (B).

A



B



6. CONCLUSÕES

Os solos caracterizados como mais desenvolvidos apresentaram picos evidentes de caulinita e illita e picos com menor intensidade de óxidos de ferro (goethita e hematita). Já o grupo caracterizado como solos menos desenvolvidos apresentam picos de menor intensidade da caulinita e presença mais evidente de argilominerais do tipo 2:1.

A maioria das classes apresentaram valores menores que 1 para razão de Feo/Fed, condizendo com a sua natureza de ambiente mais intemperizado.

A mineralogia é coerente com o estágio de evolução que os solos apresentam em que todos os perfis do grupo 1, em que apresentaram picos bem definidos de caulinita (Ct), despontando que este mineral apresenta nível mais avançado de cristalização, em função das condições climáticas, do processo de intemperismo e da influência do material de origem.

A análise fatorial apresentou a densidade do solo como variável discriminante para os solos P5 (Latossolo), P6 (Latossolo) e P7 (Cambissolo Háplico).

O Ca^{2+} e a Microporosidade foram atributos discriminantes para o P8 e P13, ambos da classe de Cambissolo Háplico. Enquanto a variável de Macroporosidade foi sensível para distinção do P12 (Chernossolo Rêndzico).

7. REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, 711-728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. 2013.

Angelim, L.A.A.; Medeiros, V.C.; Nesi, J.R. Programa Geologia do Brasil - PGB. Projeto Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte. Escala 1:500.000. Recife: CPRM/FAPERN, 2006.

Beltrão, B.A.; Rocha, D. E. G. A.; Mascarenhas, J.C.; Souza Júnior, L.C.; Pires, S. T.M.; Carvalho, V. G. D. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, p 10. 2005.

Chen, Y .; Senesi, N; Schnitzer, M. Informação fornecida em substâncias húmicas por razões E4 / E6. *Soil science society of america journal* , v. 41, n. 2, p. 352-358, 1977.

Cornell, R. M.; Schwertmann, U. The iron oxide. VCH, New York, v. 377, 1996.

Ernesto Sobrinho, F. Caracterização, Gênese e Interpretação para uso de solos derivados de calcário da região da Chapada do Apodi, Rio Grande do Norte. Viçosa: UFV, 133p. 1980.

Forsythe, W. Manual de laboratorio: Física de suelos (No. IICA-LME 25). IICA, San José (Costa Rica). 1975.

Hair, Joseph F. et al. Análise multivariada de dados. Bookman Editora, 2009.

Kampf, Nestor; Dick, Deborah Pinheiro. Óxidos de ferro em cambissolos brunos no Rio Grande do Sul e Sul de Minas Gerais. *Revista brasileira de ciencia do solo*. Viçosa. Vol. 8 (1984), p. 183-188, 1984.

Kämpf, N.; Klant, E.; Schneider, P. Óxidos de ferro em Latossolos do Brasil Sudeste e Sul. *Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola*, v. 3, p. 153-183, 1988.

Kämpf, N; Curi, N. Caracterização do solo. In: KER, J. C; CURI, N; SCHAEFER, C. E. G. R; TORRADO, P. V. *Pedologia: Fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-20, 2012.

Kemper, W. D., & Rosenau, R. C. *Aggregate stability and size distribution*. 1986.

Kiehl, E.J. *Manual de edafologia: Relações solo-planta*. São Paulo: Ceres. 262p. 1979.

Lemos, M. do S. da S.; Curi, N.; Marques, J.J.G. de S. e M.; Ernesto Sobrinho, F. Evaluation of characteristics of Cambisols derived from limestone in low tablelands in Northeastern Brazil: Implications for management. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 32:825-834, 1997.

Mehra, O. P.; Jackson, M. L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: Clays and clay minerals: proceedings of the Seventh National Conference. p. 317-327. 1960.

Melo, Vander de Freitas; Alleoni, Luís Reynaldo Ferraciú. Química e mineralogia do solo. Parte I, Viçosa-MG, v. 529, 2009.

Mota, J. C. A.; Assis Júnior, R. N. D.; Amaro Filho, J.; Libardi, P. L. Algumas propriedades físicas e hídricas de três solos na chapada do Apodi, RN, cultivados com melão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32(1), 49-58. 2008.

Pötter, R. O.; Kämpf, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em Cambissolos e Latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, n. 3, p. 153-159, 1981.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a. aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

Santi, A. L., Amado, T. J. C., Cherubin, M. R., Martin, T. N., Pires, J. L., Della Flora, L. P., & Basso, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1346-1357. 2012.

Stasoft. Statistica Version 7.0. StatSoft. Retrieved from: <http://www.statsoft.com>. 2004.

Teixeira, P. C.; Donagemma G. K.; Wenceslau, A. F.; TEIXEIRA, G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 573 p. 2017.

Vettori, Leandro. Métodos de análise de solo. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura, 1969.