



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO

WANDSON MENDES VIEIRA

**QUALIDADE VISUAL E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS
QUANTITATIVOS DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MARTINS, RN**

MOSSORÓ

2023

WANDSON MENDES VIEIRA

**QUALIDADE VISUAL E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS
QUANTITATIVOS DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MARTINS, RN**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador(a): Dr^a Jeane Cruz Portela

MOSSORÓ

2023

©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, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

VV658 Vieira, Wandson Mendes .
q QUALIDADE VISUAL E SUAS INTER-RELAÇÕES COM
ATRIBUTOS QUANTITATIVOS DO SOLO NO MUNICÍPIO DE
MARTINS, RN / Wandson Mendes Vieira. - 2023.
38 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2023.

1. Diagnóstico rápido do solo. 2. Análise
multivariada. 3. Agricultura familiar. I.
Portela, Jeane Cruz , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

QUALIDADE VISUAL E SUAS INTER-RELAÇÕES COM ATRIBUTOS QUANTITATIVOS DO SOLO NO MUNICÍPIO DE MARTINS, RN

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia da
Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Agrônomo.

Defendida em: 12/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

JEANE CRUZ PORTELA Assinado de forma digital por
JEANE CRUZ PORTELA
Dados: 2023.05.17 16:45:12 -03'00'

Prof^ª Dr^ª Jeane Cruz Portela (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



PHAMELLA KALLINY PEREIRA FARIAS
Data: 18/05/2023 07:51:16-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr^ª Phâmella Kalliny Pereira Farias (UFERSA)

Documento assinado digitalmente



JOAQUIM EMANUEL FERNANDES GONDIM
Data: 17/05/2023 18:16:50-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

PPGCS Mestre Joaquim Emanuel Fernandes Gondim (UFPB)

Documento assinado digitalmente



ANTONIO GENILSON RODRIGUES ARAUJO
Data: 18/05/2023 10:37:13-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Engenheiro Agrônomo Antonio Genilson Rodrigues de Araújo (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



DIEGO JOSE DA COSTA BANDEIRA
Data: 17/05/2023 19:29:22-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Engenheiro Agrônomo Diego José da Costa Bandeira (UFERSA)

Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente ao longo dessa caminhada, proporcionando saúde, paz e força todos os dias. Por ser minha maior fonte de inspiração e confiar que a partir dos meus passos ele irá sempre construir a ponte. Sei que ele está caprichando no cenário para o grande espetáculo. Gratidão sempre!

A minha avó Alzerina Mendes Lima e minha mãe Maria Vilaneide Mendes Lima, por serem os meus maiores exemplos de vida, de superação e de amor. Por abrir mão, muitas das vezes, dos seus sonhos em prol dos meus. Sei o quão difícil foi, mas jamais mediram esforços quando o assunto foi me ajudar. Estarei sempre na busca de ser o orgulho para vocês e proporcionar compartilhar todas as minhas conquistas. Foi e sempre será por vocês!

Aos meus irmãos José Wellington Lima Dias e William Lima Dias, por todo amor, carinho e pelo dom da vida que Deus proporcionou a vocês. Que sigam sempre o caminho do bem e que logo sejam vocês os principais responsáveis pelos seus sonhos. Amo vocês!

Aos meus tios Alex Mendes Lima; Belmira Vieira Silva; Marcos Vilanes Mendes Lima; Raimundo Pereira Silva; aos meus pais de batismo Eliceso Pereira Silva; Maria Oneide Vieira Silva; Silvana Ribeiro de Souza e Veroneide Vieira Silva; e ao meu primo Antonio Ryan Vieira Silva. Por serem também parte do meu alicerce e que sem vocês a caminhada até aqui teria se tornado muito difícil. Obrigado por todo amor e por sempre caminharem em uma via de mão única comigo, trazendo sempre o carinho, o conhecimento e todo o exemplo de vida, acreditando sempre no meu potencial. Chuva de bençãos em suas vidas!

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) por todo apoio acadêmico e o ensino de qualidade do seu corpo docente. Na qual foi a precursora da realização do meu sonho. Por ter me proporcionado a aquisição de grande conhecimento e aberto portas na minha vida profissional. Ao Complexo de Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) por ser a fonte de tanto conhecimento teórico e prático, além do desenvolvimento de pesquisa de qualidade.

A minha orientadora Dr^a. Jeane Cruz Portela por toda dedicação, trabalho, amor e honestidade. Grato por todo acolhimento e direcionamento tanto na vida acadêmica quanto profissional, através dos seus ensinamentos. Por ser esse exemplo de amor ao próximo, buscando sempre inclusão. Por ter me ajudado na concretização desse sonho tão almejado. Gratidão, professora. Ao Dr. Joaquim Emanuel Fernandes Gondim por toda a dedicação, trabalho e honestidade. Por ser uma grande pessoa e profissional, no qual sempre contribuiu de forma espontânea, sólida e transparente para o meu percurso na graduação. Muito obrigado!

Aos meus amigos e colaboradores do LASAP, Antônio Carlos, Dilailson Carvalho, Francisco José, Gabriela Carvalho, Geisiane Xavier, Kellyane Mendes, Larissa Paulino, Luiz Fernando, Lucas Alves, Marcos Antônio, Matheus Alves, Talitha Tábatha e Weverton Andrade. Grato por terem feito parte dessa jornada até aqui, lembrarei todos os momentos bons que tivemos nessa caminhada e que contem comigo sempre que puderem. Obrigado!

Aos agricultores da comunidade Bela Vista, Martins-RN, em nome do Sr. Uelson Alves, Anderson Alves, Sr. Antônio Alves e dona Francisca Alves, bem como os de Piracicaba, Upanema-RN, em nome do Sr. Ademar, dona Josefa, Sr. João Mariano e dona Ana. Agradeço de coração por todo acolhimento ao grupo de pesquisa e por nos proporcionar uma troca de conhecimento, visualizando sempre o saber empírico. Por todo acolhimento de forma igual a todos e por nos deixar contribuir através dos resultados das pesquisas.

A Vila acadêmica Vingt-Un Rosado por ter me proporcionado moradia durante toda graduação e aos amigos que pude contar durante esse período. Um ambiente que me ajudou a melhorar a interação social e também a troca de conhecimento entre as diversas áreas do conhecimento. Obrigado!

Sei que agradecer a todos é impossível e a apenas a alguns é injusto, mas no decorrer da minha história sempre lembrarei dos momentos bons em que pude ser ajudado por alguém. Sem derrubar ninguém, sem passar por cima de ninguém, sou eu, porque Deus é Meu Guia. Muito Obrigado!

**“Pereceria Eu sem dúvida, se não cresse que
veria os bens do SENHOR na terra dos viventes.”**

Salmos 27:13.

RESUMO

Os atributos visuais e quantitativos do solo se complementam, sendo essencial no entendimento das particularidades locais, quanto ao emprego de práticas adequadas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas em busca da manutenção dos ambientes. Diante disso, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo, por meio de metodologia visual e suas inter-relações com atributos dos solos utilizando a técnica da estatística multivariada para a discriminação dos ambientes. A pesquisa foi desenvolvida na comunidade rural Bela Vista, Martins-RN, destinada a agricultura familiar. Foram quatro áreas estudadas: Pastagem/Neossolo (AP); Cajueiro/Latossolo (AC); Banana/Neossolo (AB) e Mata Nativa/Neossolo (AMN). Para a avaliação da qualidade visual do solo foi adotado o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo, coletou-se blocos de solo na camada de 0,00 - 0,25 m em cada agroecossistema, atribuído notas referentes a qualidade estrutural da amostra de solo (Qec), que variou de “1” a “6”, estrutura totalmente degradada e melhor condição estrutural. Na análise quantitativa coletou-se amostras deformadas e indeformadas na camada de 0,00 – 0,25 m. As deformadas para análises da granulometria e químicas: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+), fósforo (P), carbono orgânico total (COT) e o potencial hidrogeniônico (pH). As indeformadas foram: densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (PT). Utilizou-se a técnica da estatística multivariada, por meio da matriz de correlação, análise fatorial (AF) e componentes principais (ACP). Diante dos resultados, a área de banana, mata nativa e cajueiro estão inseridas na Qec de 6 a 4, que representa camadas de solo sem evidências de degradação. Já a pastagem se enquadra no Qec = 3, camada com evidência de degradação. A matriz de correlação de Pearson obteve-se elevado número de correlações positivas e/ou negativas entre os atributos físicos, químicos e estruturais. A Ds variou de 1,22 a 1,55 g.cm^{-3} , sendo menor na mata nativa em função do COT e argila de atividade coloidal alta, sendo discriminante na banana, como também o COT e P, podendo ser justificado pela deposição de resíduos orgânicos. A análise fatorial formou 3 fatores, com variância acumulada de 100,00%, o F1 reuniu as variáveis Ds, PT, COT, P, K^+ , Na^+ e Ca^{2+} , F2 agrupou o silte, macro, micro, pH e Mg^{2+} e F3 discriminou a areia, argila e DMP. A análise de componentes principais na área de banana e mata nativa evidenciaram o COT e, consequentemente, maior representação do fósforo. Conclui-se que a área de banana, mata nativa e cajueiro apresentam boa qualidade estrutural por meio da qualidade visual e quantitativa, sendo que a pastagem apresentou baixa qualidade estrutural e susceptibilidade à compactação, sendo necessário utilização de preparo mínimo do solo para aumentar a rugosidade superficial e a porosidade de aeração, como também, diversidade de cultivos no intuito de aumentar os resíduos orgânicos em sua superfície.

Palavras-chave: Diagnóstico rápido do solo; Análise multivariada; Agricultura familiar.

ABSTRACT

The visual and quantitative attributes of the soil complement each other, being essential in the understanding of local particularities, regarding the use of adequate soil management practices and agricultural crops in search of the maintenance of the environments. In view of this, the objective was to evaluate the structural quality of the soil, through visual methodology and its interrelationships with soil attributes using the technique of multivariate statistics for the discrimination of environments. The research was developed in the rural community Bela Vista, Martins-RN, destined to family agriculture. Four areas were studied: Pasture/Neosol (PA); Cashew/Oxisol (CA); Banana/Neosol (BA) and Native Forest/Neosol (NFA). For the evaluation of the visual quality of the soil, the Rapid Diagnosis of Soil Structure was adopted, soil blocks were collected in the 0.00 - 0.25 m layer in each agroecosystem, assigning notes referring to the structural quality of the soil sample (Lsq), which ranged from “1” to “6”, totally degraded structure and better structural condition. In the quantitative analysis, deformed and undeformed samples were collected in the 0.00 – 0.25 m layer. Those deformed for granulometry and chemical analysis: calcium (Ca^{2+}), magnesium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), phosphorus (P), total organic carbon (TOC) and hydrogen potential (pH). The undisturbed variables were: soil density (Ds), macroporosity (Macro), microporosity (Micro) and total porosity (PT). The technique of multivariate statistics was used, through the correlation matrix, factor analysis (FA) and principal components (PCA). In view of the results, the area of banana, native forest and cashew trees are included in Lsq 6 to 4, which represents soil layers without evidence of degradation. The pasture fits in Lsq = 3, layer with evidence of degradation. Pearson's correlation matrix obtained a high number of positive and/or negative correlations between physical, chemical and structural attributes. Ds ranged from 1.22 to 1.55 g.cm^{-3} , being lower in native forest due to TOC and high colloidal activity clay, being discriminant in banana, as well as TOC and P, which can be explained by deposition of organic waste. The factorial analysis formed 3 factors, with an accumulated variance of 100.00%, F1 gathered the variables Ds, PT, TOC, P, K^+ , Na^+ and Ca^{2+} , F2 grouped the silt, macro, micro, pH and Mg^{2+} and F3 discriminated sand, clay and WMD. The analysis of principal components in the area of banana and native forest showed TOC and, consequently, greater representation of phosphorus. It is concluded that the area of banana, native forest and cashew trees present good structural quality through visual and quantitative quality, and the pasture presented low structural quality and susceptibility to compaction, requiring the use of minimal soil preparation to increase roughness surface and aeration porosity, as well as diversity of crops in order to increase the organic residues on its surface.

Keywords: Rapid soil diagnosis; Multivariate analysis; Family farming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo comunidade rural Bela Vista, município de Martins, Estado Rio Grande do Norte, Brasil.....	16
Figura 2. Agroecossistemas com a cobertura vegetal (A) e sem para abertura da mini trincheira (B): 1: Área de pastagem; 2: Área de cajueiro; 3: Área de banana e 4: Área de mata nativa.....	20
Figura 3. Mini trincheiras cavadas em cada agroecossistema: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.	21
Figura 4. Blocos depositados em bandejas no laboratório: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.	22
Figura 5. Beneficiamento das amostras: destorroamento, passagem em peneiras de 2 mm (A e B) e obtenção da TFSA (C, D, E e F).....	26
Figura 6. Desenvolvimento das raízes em profundidade e entre os agregados: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.....	29
Figura 7. Área de pastagem com o predomínio de agregados com tamanho < 1cm.	30
Figura 8. Agroecossistemas com tamanho de agregados de 1 a 4 cm, exceto a pastagem: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.	31
Figura 9 (A e B). Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os agroecossistemas em estudo.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Áreas, usos da terra, classificação do solo, coordenadas geográficas e histórico das áreas estudadas.	17
Tabela 2. Atribuição das notas de qualidades estrutural de cada camada da amostra de solo (Qec).	25
Tabela 3. Matriz de correlação linear simples entre os atributos físicos, químicos e estruturais do solo.	35
Tabela 4. Eixos fatoriais extraídos para atributos das cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada. Rotacionados pelo método Varimax. Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.	36

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	13
2. MATERIAL E MÉTODOS	16
2.1 Área de estudo	16
2.2 Avaliação da qualidade visual do solo	18
2.2.1 Materiais usados para coleta da amostragem dos blocos de agregados	19
2.2.2 Época de avaliação	19
2.2.3 Coleta da amostra de solo	20
2.2.4 Manipulação das amostras de solo	22
2.2.5 Atribuição de notas de qualidade estrutural	22
2.3 Avaliação quantitativa do solo	26
2.3.1 Análises físicas e químicas	26
2.3.2 Análise estatística	28
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1 Avaliação da qualidade visual do solo	29
3.1.1 Atribuição das notas de qualidade visual	29
3.1.2 Critério 1 - Evidências de degradação ou conservação da estrutura do solo	29
3.1.3 Critério 2 - Classes de tamanho de agregados	30
3.1.4 Atribuição de notas	32
3.1.5 Determinação da qualidade estrutural do solo na amostra avaliada (IQEA)	32
3.1.6 Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) na gleba avaliada	33
3.2 Avaliação quantitativa do solo	34
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	39

1. INTRODUÇÃO

Os atributos do solo são facilmente modificados pelos usos da terra, sendo fundamental o emprego de práticas conservacionistas e uma melhor realização dos cultivos agrícolas, de acordo com as particularidades locais, tal como a diminuição do revolvimento do solo e dos resíduos presentes na camada superficial, princípios básicos da conservação do solo e da água, consequentemente, reestruturação dos agroecossistemas.

Seguindo esse contexto, o diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) é importante por ser um método de campo que consiste em qualificar a estrutura, processo esse realizado de forma simples e rápida, baseando-se na detecção visual da qualidade do solo a partir da adaptação da metodologia de Alvarez (2002). Ao realizar as avaliações das amostras deve-se constar de observações e tamanho, forma e resistência à ruptura, tanto dos agregados, quanto dos torrões, além da análise visual do sistema radicular e evidências de atividade biológica (RALISCH et al., 2017).

Para cada amostra e sua respectiva camada é dado notas referentes a qualidade estrutural, notas essas que variam de “1” na qual representa uma estrutura totalmente degradada e “6” para um solo com melhor condição estrutural, obedecendo dois métodos: presença de resquícios de degradação ou conservação/recuperação da estrutura de solo e observação visual dos diferentes tamanhos dos agregados após a manipulação das amostras (RALISCH et al., 2017).

Nesse sentido, com a nota atribuída a cada amostra de solo foi determinado a qualidade estrutural pelos usos da terra e adoção de práticas adotadas pelos agricultores, com intuito de manutenção da sua qualidade. A estrutura do solo atua na sua fertilidade integral, influenciando de forma direta e/ou indireta em atributos físico, químicos e biológicos do solo, sendo responsáveis pela manutenção da produção agrícola, melhoria na qualidade dos ambientes e, consequentemente, um melhor desenvolvimento para as plantas (RALISCH et al., 2017).

No entanto, devido os métodos quantitativos não representarem de forma direta, apresentarem difícil interpretação e aplicação em campo, foi adotado também o método de DRES, no qual proporciona tanto aos produtores quanto aos técnicos uma maior facilidade e rapidez no que diz respeito ao reconhecimento dos diferentes fenômenos que ocorrem nos sistemas de produção na estrutura do solo (RALISCH et al., 2017).

O DRES foi desenvolvido com base em procedimentos adotados em outras técnicas, como o VESS (*Visual Evaluation of oil Structure*) (GUIMARÃES et al., 2011) e o Método do Perfil Cultural (TAVARES FILHO et al., 1999). Sendo que o VESS foi descrito por Ball et al. (2007), na qual tinha como intuito avaliar a qualidade física do solo de forma confiável, rápida e sensíveis aos efeitos do manejo.

Já no Brasil, é usada desde 2008 com intuito de avaliar a qualidade da estrutura dos solos sob diferentes sistemas de usos e gestão (GIAROLA et al., 2009, 2010; GUIMARÃES et al., 2011).

Por outro lado, o Método do Perfil Cultural de Hénin et al (1960) é fundamentado na morfologia do solo, considerando a avaliação das raízes, na qual delimita as partes antropizadas em profundidades e lateralmente, com intuito de avaliar os resultados das operações agrícolas, sendo adaptada por Tavares Filho et al. (1999) utilizando os critérios e nomenclaturas do Perfil Cultural para solos tropicais.

Logo, quando comparado ao VESS, o DRES apresenta além das evidências de compactação que podem ser observadas em amostras, como outros efeitos dos processos de degradação, tais como a presença de estruturas desagregadas, associadas à erosão e à compactação, como também as evidências de recuperação da estrutura do solo e as feições visuais de degradação do solo próximas a área amostrada.

Seguindo esse contexto, proporcionar o desenvolvimento de um método para avaliar a qualidade da estrutura do solo de tal forma que seja viável, rápida e sensível às alterações acarretadas pelo manejo do solo, é uma necessidade, sendo de extrema importância e grande valia seja no ramo científico, seja na gestão do solo na propriedade (RALISCH et al., 2017).

De acordo com Santos et al. (2017) o termo estrutura do solo consiste na forma em que se dá o arranjo das partículas primárias (Areia, silte e argila) e a fração orgânica em unidades estruturais, sendo eles denominados agregados, que são divididos pelas suas zonas de fraquezas ou até mesmo super-postos e sem conformação definida.

Por outro lado, para Ralisch et al. (2017) estrutura do solo em termos agronômicos consiste no resultado do arranjo dos agregados, sendo eles os responsáveis pela fertilidade do solo e que são facilmente modificados pelas técnicas de manejo do solo adotados no cultivo agrícola, sendo que os agregados podem ser unidos por substâncias orgânicas e/ou minerais, tais como os carbonatos, óxidos de ferro e alumínio, entre outros.

Já para Muller et al. (2009), a estrutura do solo está diretamente relacionada às funções ecossistêmicas exercidas por este recurso natural, sendo a chave para alguns processos, nos quais podemos citar os biológicos, os químicos e os físicos.

Nesse sentido, quando há presença de boa agregação sua ação pode acarretar efeitos benéficos tanto as particularidades dos solos quanto para o bom desenvolvimento das plantas. Entretanto, quando ocorre a dispersão das particular ou quando se encontram desagregados e/ou coesas demais, os resultados podem apresentar uma grande disparidade, seja no desempenho das plantas, seja na qualidade do solo.

A estrutura do solo pode influenciar diversos fenômenos, tais como a capacidade de troca de íons, aeração, infiltração e a disponibilidade de água, como também a atividade biológica, qualidade do manejo e servir como indicativo para melhorar a gestão do ambiente, além de saber o potencial da produção agrícola e seu desempenho econômico, sendo discriminados por avaliações de manejo de solo e da produção que estão sendo desenvolvidos em cada ambiente (RALISCH et al., 2017).

Além disso, pode-se dizer que a estrutura do solo pode expressar de forma objetiva as mais representativas formas de impactos da antropização, na qual a dinâmica e sua construção ou degradação pode ser provindos de ações físicas (mecânicas), químicas e biológicas por serem responsáveis por estar diretamente ligados a manifestação da atividade biológica e, consequentemente, na fertilidade e na capacidade de produção do solo (RALISCH et al., 2017).

Segundo Ralisch et al. (2017) busca-se através do manejo conservacionista do solo e também as boas práticas agrícolas a obtenção da estrutura desejável de tal forma que o solo possa vir a expressar total ou de forma análoga à sua condição natural, onde pode-se citar: a) melhor desenvolvimento das raízes e crescimento da planta; b) regulação do fluxo de água no ambiente, sendo responsável por atuar como agente tampão; c) melhorar a infiltração da água, proporcionando a chegada ao lençol freático; d) reter parcialmente a água de tal forma a torná-la disponível para as plantas e microfauna do solo, entre outras.

Ademais, a estrutura do solo sob boas condições deve proporcionar não só resistência, mas também a capacidade de resiliência em resposta a agentes externo, como pisoteio, tráfego de máquinas e implementos, bem como a precipitação pluvial.

Na metodologia quantitativa para avaliar a estrutura do solo há limitações presentes e, muitas das vezes, não sendo totalmente aceitáveis para sua avaliação. Ademais, para análise pedológica de perfis de solo, a sua estrutura pode ser caracterizada a olho nu, buscando o grau de desenvolvimento ou até mesmo devido a capacidade em que os agregados são rompidos, devido a forma, o tipo e o tamanho da estrutura (RALISCH et al., 2017).

Em consonância a isso, a análise multivariada é uma ferramenta primordial, na qual possibilita na detecção dos atributos mais sensíveis, bem como suas suas inter-relações. Ademais, é também um modelo estatístico que nos ajuda a identificar as diferenças entre os ambientes estudados e verificar quais atributos mais contribuíram na distinção dos agroecossistemas sob os diferentes usos do solo (HAIR J. R. et al., 2009; LOPES et al., 2019).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo, por meio de metodologia visual e suas inter-relações com atributos estruturais utilizando a técnica da estatística multivariada para a discriminação dos ambientes mais sensíveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida na comunidade rural Bela Vista, localizada no município de Martins – RN, sendo uma área de uso da agricultura familiar, inserida na mesorregião Oeste Potiguar (Figura 1), cuja propriedade apresenta a coordenada geográfica de 6°3'39,75" S e 35°56'1,95" W. Apresenta classificação climática segundo Köppen do tipo As Tropical chuvoso, sendo inserido na região serrana, em média, com precipitação pluvial anual de 700 – 1500 mm, e temperatura anual de 23°C (ALVARES et al., 2013).

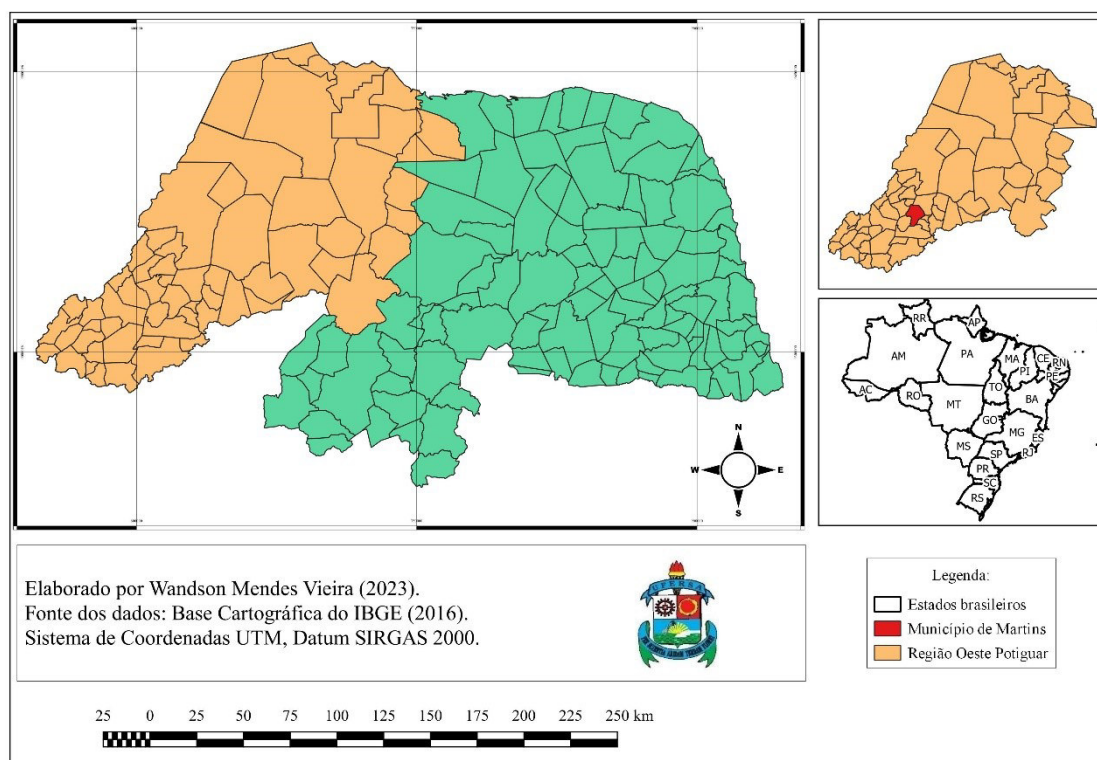
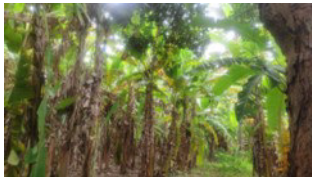


Figura 1. Localização da área de estudo comunidade rural Bela Vista, município de Martins, Estado Rio Grande do Norte, Brasil.

Para a definição das áreas estudadas foi realizada visita exploratória para distinção dos usos agrícolas do solo, bem como o manejo do solo adotado e o levantamento histórico de cada área. Foram selecionados quatro (4) agroecossistemas: Pastagem (AP), Cajueiro (AC), Banana (AB) e Mata Nativa (AMN) (Tabela 1), onde foram abertas mini trincheiras para realização das coletas de solos. Ademais, foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS, no primeiro nível categórico (SANTOS et al., 2018) de acordo com pesquisa desenvolvida por Cavalcante et al. (2016).

Tabela 1. Áreas, usos da terra, classificação do solo, coordenadas geográficas e histórico das áreas estudadas.

Área	Usos / Localização	Histórico das áreas	Figura
P1	Área de Pastagem (AP) – NEOSSOLO 6°03'42,62" S 37°56'4,35" W	Área com a presença de capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) usado como planta forrageira para alimentação de animais. Antes da sua implementação, a área encontrava-se em pousio referente a atividades agrícolas, sendo necessário a reforma onde foi feito o preparo do solo através de técnicas de aração e gradagem, não sendo realizado o uso de herbicidas dessecantes para eliminação de plantas existentes e nem adubação mineral. Localizada próxima ao riacho.	
P2	Área de Cajueiro (AC) – LATOSSOLO 6°03'15,85" S 37°56'1,95" W	Área usada pelos agricultores há 20 anos com a implantação de cajueiro, possuindo uma área de plantio em torno de 3 a 4 hectares. O manejo realizado na cultura consiste em podas de acordo com sua fase de crescimento e a gradagem do solo de forma mecanizada. Ademais, é feito a incorporação de adubos orgânicos provindos de animais e restos culturais, não sendo usado defensivos químicos, além de estar sendo usada de forma consorciada com milho e feijão.	
P3	Área de Banana (AB) – NEOSSOLO 6°03'42,35" S 37°56'6,43" W	Área destinada ao cultivo da bananeira, na qual foi implementada há 18 anos. Foi realizado o preparo do solo de forma mecanizada, seguindo a realização do plantio dos rizomas, adotando espaçamento de 3m x 3m com a variedade prata, planta de porte alto. Por ser uma cultura exigente principalmente em potássio e nitrogênio, foi realizado adubação orgânica provindo de esterco bovino e suíno previamente tratado (curtido).	
P4	Área de Mata Nativa (AMN) – NEOSSOLO 6° 03'39,89" S 37°56'7,21" W	Área usada de referência entre o manejo do solo e os diferentes usos da terra nos agroecossistemas. Apresenta vegetação do tipo subperenifólia, caracteriza-se por uma formação relativamente densa e alta, variando de 20 a 30 m e com vasta diversidade de espécies vegetais.	

2.2 Avaliação da qualidade visual do solo

Para determinação da qualidade visual do solo foi adotado o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) pelo método de campo que apresenta um procedimento de forma simples e rápida, tendo como objetivo qualificar a estrutura do solo a partir de análise visual, detectadas com o uso de amostras nos primeiros 25 cm do solo, camada comumente modificada pelo manejo (EMBRAPA Soja. Documento, 390). Para sua avaliação o método consiste em observações de algumas características do solo como: forma, tamanho e a capacidade de ruptura pela zona de fraqueza dos agregados e torrões; orientação e rugosidade das faces de ruptura; características do sistema radicular, bem como sua distribuição; e evidências da atividade biológica, onde foi realizado atribuições de notas de qualidade estrutural da camada da amostra de solo (Qec).

Foi coletado amostra em blocos de 25 cm de profundidade em cada mini trincheira. Nesse sentido, em cada camada foi concedido notas referentes a qualidade estrutural da camada da amostra de solo (Qec), na qual podem varia de “1” (estrutura totalmente degradada) a “6” (melhor condição estrutural), de acordo com dois critérios:

- Manifestação de feições de degradação ou conservação/recuperação da estrutura na camada de solo;
- Proporção a partir do volume visual dos variados tamanhos de agregados após o beneficiamento da amostra.

Somado a isso, com os resultados obtidos a partir das notas da qualidade estrutural (Qec) foi realizado o cálculo do índice de qualidade estrutural da amostra (IQEA) e da gleba (IQES), de acordo a seguinte fórmula:

$$IQEA = \frac{(Ec1 \times Qec1) + (Ec2 \times Qec2) + (Ec3 \times Qec3)}{Etotal}$$

Equação (1)

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até a n.

Ec = espessura de cada camada, em cm (o número de camadas pode varias de 1 a 3);

Qec = nota de qualidade estrutural atribuída à cada camada;

Etotal = espessura/profundidade total da amostra (25 cm).

$$IQES = \frac{(IQEA1 + IQEA2 + \dots + IQEAn)}{n}$$

Equação (2)

IQES = índice de qualidade estrutural do solo na gleba avaliada;

n = número total de amostras;

IQEA = nota de qualidade estrutural atribuída às amostras, de 1 até a n.

2.2.1 Materiais usados para coleta da amostragem dos blocos de agregados

Para realizar a manipulação dos blocos, usou-se espátulas; trena para aferição das suas dimensões; material coletado foi acondicionado em sacos plásticos, seguindo sua marcação com o uso de caneta permanente e separada em bandejas; lápis e borracha para anotação dos resultados; máquina fotográfica e GPS para obtenção das coordenadas das áreas.

Foi coletado amostra com estrutura indeformada em blocos na profundidade de 0,00 – 0,25 m de profundidade, conforme previa do histórico das áreas estudadas (rotação de culturas), buscando identificar as principais formas de manejo do solo adotadas, tais com o preparo do solo por meio da aração, gradagem, escarificação e subsolagem; os tipos de usos da terra, seja na sequência de culturas, seja em locais para os animais e também saber os métodos de conservação do solo e adubação (Tabela 1).

Somado a isso, buscou-se realizar a coleta em pontos representativos da área, eliminando a possibilidade de coleta em caminhos preferenciais da água, pisoteio de animais e o homem, bem como, foi determinado a classe de solo de cada área por meio de estudos anteriores realizado pelo grupo de pesquisa.

2.2.2 Época de avaliação

Para realizar a atribuição das notas de qualidades estrutural do solo (Qec), o período do ano para a avaliação pode interferir nas observações, uma vez que os usos da terra, a presença e o desenvolvimento do sistema radicular das culturas interferem diretamente nos critérios.

No processo de avaliação o conteúdo de água no solo é um fator de extrema importância para ser considerado no processo. Ademais, as coletas foram realizadas no início do período chuvoso, com conteúdo de água adequada com a capacidade de manter os agregados unidos, principalmente aqueles com estrutura mais solta (arenosos).

Além disso, o conteúdo de água presente no solo pode facilitar ou não a manipulação da amostra e, conseqüentemente, seu esboroamento, podendo vir a interferir no resultado da avaliação. Nesse sentido, recomenda-se que o solo esteja o mais próximo de sua consistência friável, na qual evitou a condição de solo plástico (muito úmido) ou a tendendo a duro (seco).

2.2.3 Coleta da amostra de solo

A coleta de solo foi realizada em pontos representativos em cada área avaliada, seguindo os mesmos cuidados usados na amostragem de solo para avaliação de outros atributos (análise granulométrica, de agregados, carbono orgânico total (COT), entre outros). Entretanto, como abordado anteriormente, deve-se evitar alguns fatores para coleta: linhas de tráfego, trilhas, locais de concentração de animais, terraços, sulcos de erosão, cupinzeiros, formigueiros, pontos de acúmulo de material orgânico, fertilizantes ou corretivos, entre outros. A coleta do bloco de solo consistiu em uma etapa crítica e cautelosa, tendo em vista manter o bloco de solo inteiro, mantendo assim a sua estrutura mais aproximada possível da sua condição natural do solo no campo.

Logo, a coleta foi iniciada com a retirada (limpeza) de forma cuidadosa da cobertura vegetal presente da camada superficial do solo, cortando e retirando a vegetação viva entorno da mini trincheira e os demais resíduos orgânicos da superfície. Desse modo, evitou-se o arranquio das plantas, tendo em vista a capacidade de promover a desestruturação e desagregação do solo devido a perturbação (retirada) das raízes e sua inter-relação com o solo (Figura 2).

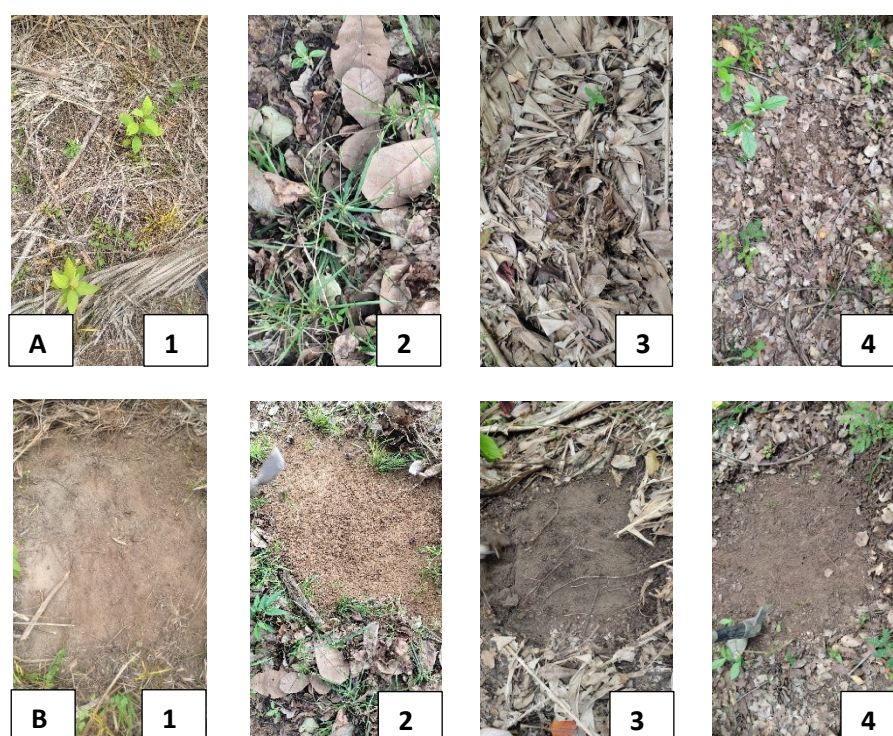


Figura 2. Agroecossistemas com a cobertura vegetal (A) e sem para abertura da mini trincheira (B): 1: Área de pastagem; 2: Área de cajueiro; 3: Área de banana e 4: Área de mata nativa.

Após isso, usou-se uma chibanca para abertura da mini trincheira com as seguintes dimensões: 40 cm de comprimento, 30 cm de largura e 30 cm de profundidade. Feito a abertura da trincheira realizou-se a remoção do bloco com o auxílio da pá de corte reta realizado na parede de maior comprimento, com total cuidado evitando sua fragmentação, na qual a pá deve estar completamente enterrada, seguindo sua inclinação para a frente para remoção do bloco. O bloco com espessura de 10 cm, largura mínima de 20 cm e profundidade de 25 cm (Figura 3).

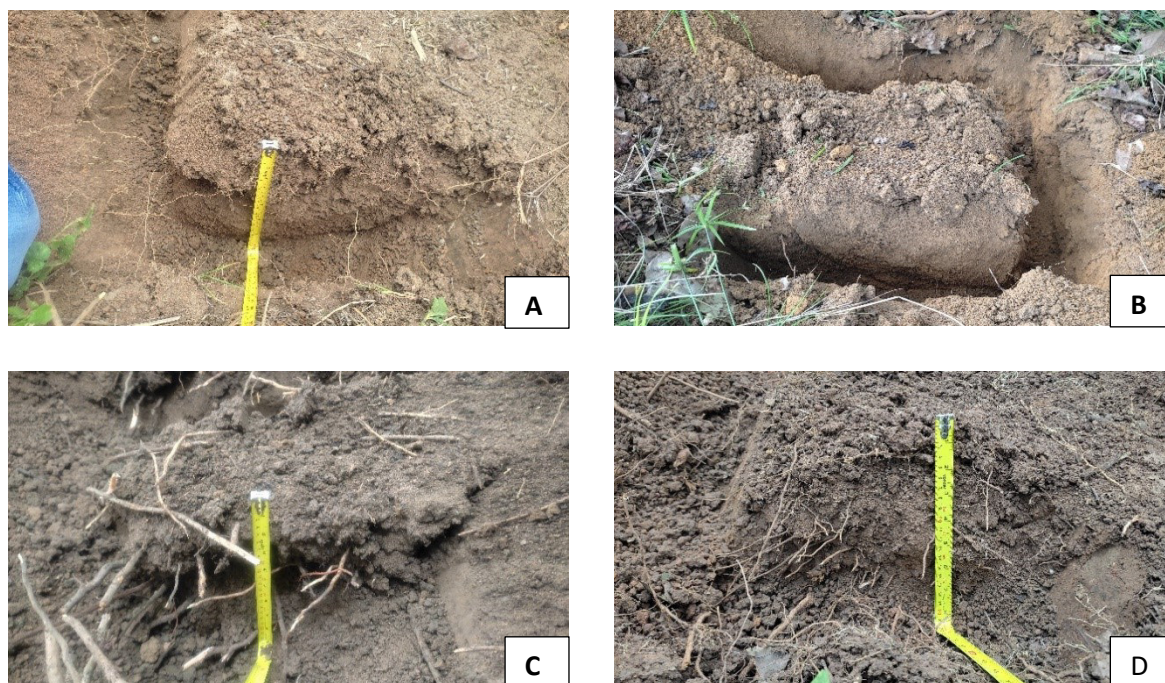


Figura 3. Mini trincheiras cavadas em cada agroecossistema: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.

2.2.4 Manipulação das amostras de solo

O bloco após ser acondicionado em saco plástico foi colocado de forma cuidadosa em bandeja plástica com dimensões de 25 cm de largura, 50 cm de comprimento, tendo em vista evitar movimentação do bloco que foi removido do campo e levado ao Complexo de Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-árido (LASAP-CCA-UFERSA) (Figura 4).

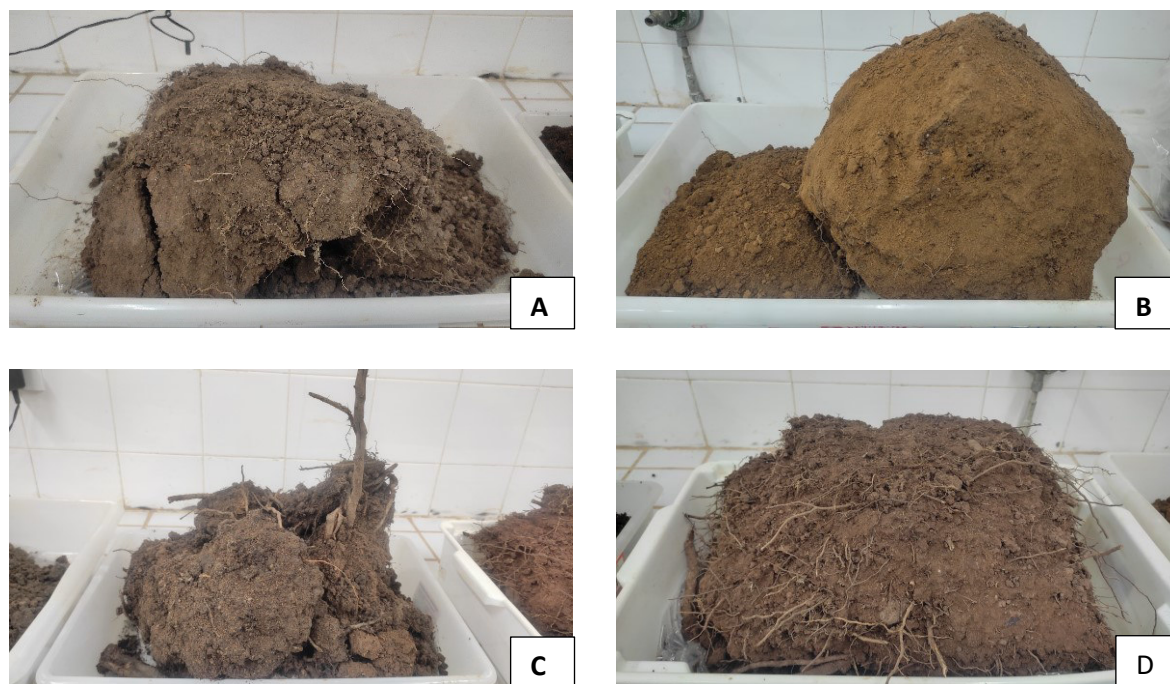


Figura 4. Blocos depositados em bandejas no laboratório: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.

Antes de iniciar o processo de manipulação para fragmentar o bloco de solo, foi eliminado resquícios e/ou manifestação das ações das ferramentas utilizadas para abrir a mini trincheira e retirou-se da amostra, tais como superfícies espelhadas, sulcos, entre outras. A força empregada nesse processo é um aspecto de grande importância, sendo realizada para o rompimento e fragmentação do bloco de solo em torrões e/ou agregados de menor tamanho.

2.2.5 Atribuição de notas de qualidade estrutural

Em cada camada identificada na amostra, o DRES prevê pontuações, sendo as notas atribuídas à qualidade estrutural de cada camada (Qec), ao ser detectada na amostra serão usadas como base para realizar o cálculo e definição da qualidade estrutura dessa amostra (IQEA) e da gleba como um todo (IQES) (Tabela 2).

- **Critério 1 - Evidências de degradação ou conservação da estrutura do solo**

No que diz respeito aos indícios de degradação, pode-se citar a transição abrupta entre camadas, sendo característica na maioria dos casos uma camada mais solta (desagregada) na parte superficial em seguida de uma muito compactada, apresentando grandes agregados compactos e pouco nível de raízes entrelaçadas. Nesse contexto, a camada superficial contém uma terra mais fina (pulverizado), além da presença de estrutura desagregada na subsuperfície do solo devido a fatores antrópicos e a ação mecânica (uso de arados, grades e ou escarificadores). Ademais, é necessário o cuidado para não confundir a característica do solo natural original. A presença de raízes concentradas na camada superficial é um indicativo de impedimento físico para seu desenvolvimento.

Por outro lado, os indicativos de recuperação ou conservação quando ocorre consiste em uma transição entre camadas de forma gradual e, na maioria dos casos, há percepção da redução do volume do sistema radicular e/ou mudança da cor do solo. Além disso, deve-se observar as eventuais mudanças abruptas de horizonte natural do solo, caracterizando-se por eventos pedológicos que podem ser confirmados através de dados da região de estudo.

- **Critério 2 - Classes de tamanho de agregados**

- **Classe de agregados menor que 1 cm**

Estruturas < 1 cm na camada superficial natural do solo avaliado, pode ser causada por ação climática e/ou da intensa atividade biológica, tendo a presença de agregados grumosos, na qual é um indicativo da preservação ou até mesmo melhoria da qualidade natural do solo. Já se tratando da camada subsuperficial, pode-se haver a formação de galerias provindas de atividade biológica. Somado a isso, agregados pequenos são, na sua maioria, suscetíveis ao processo de compactação, seja pela ação antrópica ou pelo pisoteio de animais, ou até mesmo a formação de crostas superficiais que proporcionam uma maior ação dos agentes erosivos e podem acarretar em prejuízos na emergência de plântulas.

- **Classe de agregados 1 a 4 cm**

Estruturas entre 1 e 4 cm foram usados como parâmetros da classe de agregados como norteador da condição estrutura desejável, tendo em vista o embasamento nos estudos referentes ao Perfil Cultural, sendo que os agregados com essa variação de tamanho e seu aspecto grumoso, juntamente com uma elevada atividade biológica e sua porosidade visível, proporcionam ao solo exercer suas funções de forma adequada, o que irá trazer um aumento da sua fertilidade e, conseqüentemente, a produtividades das culturas.

- Classe de agregados maior que 7 cm

Essa classe foi adotada com intuito de ser representativa das condições do solo e suas características em processo avançado de compactação por práticas inadequadas do manejo do solo. Uma maior representação dessa classe de agregados no solo tem uma taxa de recuperação relativamente mais lenta do que a classe que varia 4 a 7 cm. Em consonância a isso, essa condição de solo tem influência de forma negativa nas funções do solo, seja através do suporte para o desenvolvimento das plantas e seu crescimento radicular, seja pela infiltração de água e consequentemente, seu fluxo e armazenamento de água e ar.

- Classe de agregados de 4 a 7 cm

Por fim, as estruturas dos agregados que apresentam tamanhos que variam de 4 a 7 cm podem ser indicativos tanto do processo de compactação quanto em fase de recuperação de sua condição estrutural, de acordo com as condições de manejo do solo adotado. Se por um lado para a prática de recuperação da estrutura está relacionado a presença intensiva de raízes em máximo desenvolvimento, por outro, a decomposição de restos vegetais depositados na superfície pelas plantas, proporcionará uma menor perda por decomposição e/ou erosão.

Tabela 2. Atribuição das notas de qualidades estrutural de cada camada da amostra de solo (Q_{ec}).

Condição inicial	Camadas da amostra com evidências de conservação/recuperação			Camadas da amostra com evidências de degradação		
Q_{ec}	$Q_{ec} = 6$	$Q_{ec} = 5$	$Q_{ec} = 4$	$Q_{ec} = 3$	$Q_{ec} = 2$	$= 5 = 1$
Tamanho do agregado e % na amostra	Mais de 70% de agregados com 1 a 4 cm	50 a 70% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados de 1 a 4 cm	Menos de 50% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	50 a 70 % de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm	Mais de 70% de agregados menores que 1 cm e maiores que 7 cm
Características da estrutura	Estrutura friável, agregados muito grumosos e porosos, com atividade biológica alta. Raízes abundantes e bem distribuídas na camada avaliada, sem deformações ocasionadas por impedimentos físicos, crescendo através dos agregados.	Estrutura friável, agregados grumosos e porosos, com mediana atividade biológica. Raízes bem distribuídas na camada avaliada, podendo apresentar poucos sinais de restrição ao crescimento. As raízes crescem predominantemente através dos agregados.	Estrutura friável, pouco grumosa, pouco poros e fraca atividade biológica. Raízes podem apresentar algum impedimento ao desenvolvimento.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com poucos poros e atividade biológica. Pode apresentar raízes achatadas com dificuldade para desenvolvimento pleno na camada avaliada.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, com alguns poros e pouca atividade biológica. Desenvolvimento radicular limitado, com predomínio de raízes achatadas com dificuldade para penetração no interior dos agregados.	Estrutura coesa nos agregados grandes, e muito solta entre os agregados menores que 1 cm. Predomínio de agregados com faces planas, sem poros visíveis e atividade biológica. Forte restrição ao desenvolvimento radicular, com predomínio de raízes achatadas, crescendo preferencialmente nas fissuras entre os agregados.
grumosidade, atividade biológica, porosidade, raízes bem desenvolvidas				superfícies planas, raízes achatadas, solo desagregado ou compactado		

2.3 Avaliação quantitativa do solo

Nos quatro (4) agroecossistemas supracitados foram coletadas amostras de solos com estruturas deformadas e indeformadas, na camada de 0,00 – 0,25 m. As amostras com estrutura deformadas foram coletadas nas mini trincheiras, em cada área e camada, sendo as mesmas retiradas com o auxílio de pá reta, onde foram acondicionada também em sacos plásticos devidamente identificados e levadas ao Complexo de Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-árido (LASAP-CCA-UFERSA). Após sua organização no laboratório, as amostras foram expostas para secarem ao ar, em seguida destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo assim a terra fina seca ao ar (TFSA) (Figura 5). Por outro lado, com amostras com estrutura indeformadas foram coletas usando o aparelho tipo Uhland e anéis volumétricos.

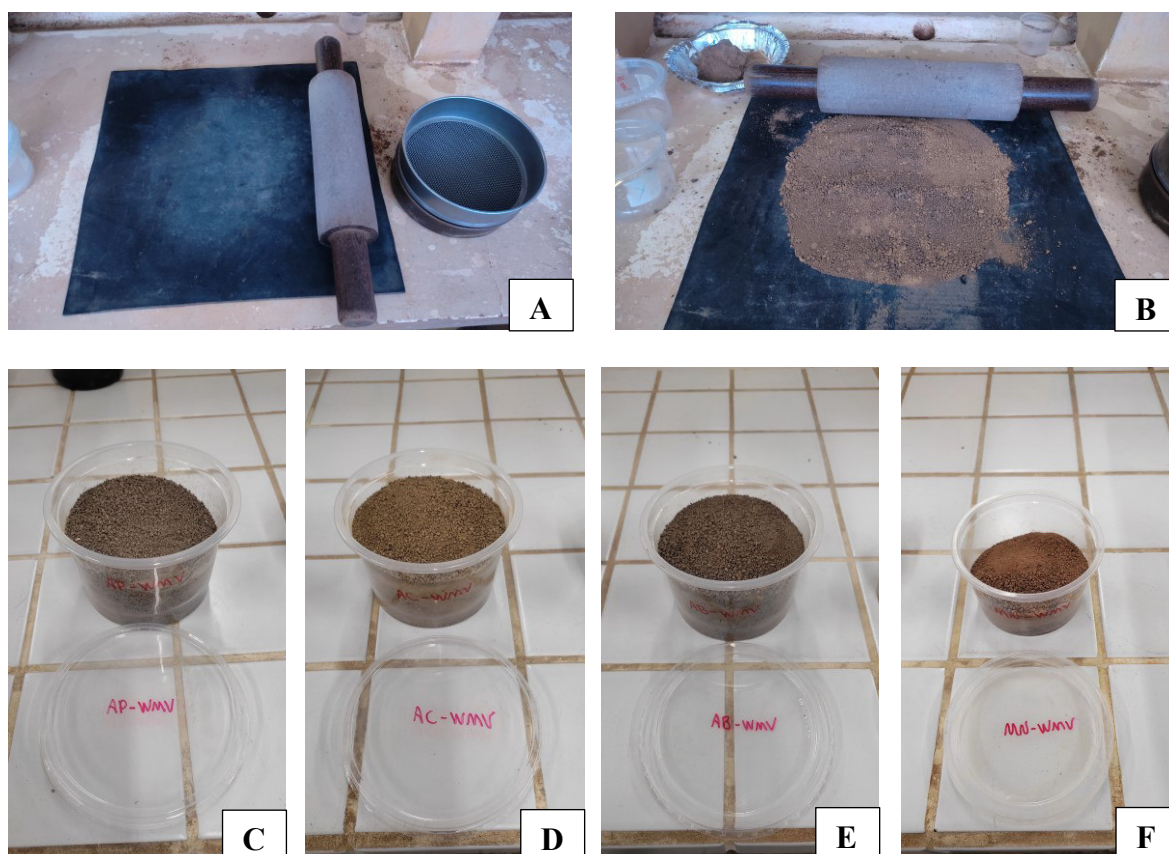


Figura 5. Beneficiamento das amostras: destorroamento, passagem em peneiras de 2 mm (A e B) e obtenção da TFSA (C, D, E e F).

2.3.1 Análises físicas e químicas

Foi realizado em triplicata as análises de granulometria (com dispersante química), densidade do solo (Ds) e também análises dos atributos químicos: cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^{+}), potássio (K^{+}), fósforo (P), carbono orgânico total (COT) e o potencial hidrogeniônico (pH).

Para análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (GEE & OR, 2002), onde foi quantificada a fração areia por peneiramento ou tamisagem (2 a 0,05 mm), a argila pelo processo de sedimentação ($< 0,002$ mm) e a fração silte por diferença (0,05 a 0,002 mm). O potencial hidrogeniônico e o Complexo Sortivo composto por Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ e P. sendo em seguida calculado a soma de bases (SB). Já o carbono orgânico total foi obtido por meio da digestão da matéria orgânica (TEIXEIRA et al., 2017); (YEOMANS e BREMNER 1988).

Já para as amostras indeformadas foram coletadas pelo método no anel volumétrico com as seguintes dimensões: 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro. Foram coletadas 10 amostras em cada mini trincheira na parte superficial, sendo os anéis revestidos com papel alumínio e acondicionados em sacos plásticos identificados, com cuidado para manter a estrutura do material e a umidade do solo original, onde o material foi levado posteriormente ao laboratório para realização da limpeza do anel de coleta (Toalete). Feito isso, foi realizado as análises de densidade do solo (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e porosidade total (PT).

A densidade do solo foi determinada segundo descrição de Forsythe (1975), pelo método do anel volumétrico, posteriormente calculou a relação entre a massa de solo seco (g) e volume total do anel (TEIXEIRA et al. 2017). Já para a determinação da micro, macro e porosidade total, as amostras foram saturadas por um período de 48 horas, sendo posteriormente realizado a pesagem para determinação da porosidade total. Ademais, a microporosidade foi determinada a partir da aplicação da tensão de 6kPa e, a partir disso, foi determinado a macroporosidade por diferença.

Foram coletadas amostras de solos em blocos em cada mini trincheira para realizar o estudo dos agregados, sendo o material coletado passado em peneiras com aberturas de 4,00 e 2,00 mm, tendo sido o material beneficiado para ser conservado suas estruturas pelas unidades de fraquezas. Diante disso, as análises foram realizadas usando o método de peneiramento por via úmida (KEMPER & ROSENAU, 1986), onde foi utilizado quatro (4) conjuntos de peneiras, sendo cada conjunto formado por quatro (4) peneiras de malhas com os respectivos diâmetros: 4,76 a 2,00 mm; 2,00 a 1,00 mm; 1,00 a 0,5mm e 0,5 a 0,25mm.

Após a deposição dos agregados em papel filtro, os mesmos foram lavados com água destilada para serem depositados nas peneiras, onde foi realizado a agitação em água com a utilização do aparelho de oscilação vertical (42 oscilações/minuto), sendo posteriormente o material coletados em becker conforme o material retido em cada peneira. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa para secagem a 105°C.

Obtida a massa seca, foi descontado os valores da fração areia e, posteriormente, realizado a distribuição do tamanho dos agregados e diâmetro médio ponderado (DMP) para cada camada em que foi realizado o estudo, onde calculou-se conforme a seguinte equação.

$$DMP = \sum_{i=1}^N Xi.Wi$$

Em que:

DMP – diâmetro médio ponderado, por via úmida, em mm.

xi – diâmetro médio de cada classe, em mm.

wi – proporção de agregados em cada classe/peneira, em %.

2.3.2 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística e interpretados por meio da técnica multivariada, utilizada como uma ferramenta primordial para detecção dos atributos mais sensíveis na distinção dos agroecossistemas sob os diferentes usos do solo. Diante disso, foi realizado a padronização dos dados por meio da matriz de correlação, sendo posteriormente realizado a análise fatorial (AF) e análise dos componentes principais (ACP), usando o Software Statistica 7.0 na sua versão de 2004 (STATSOFT, 2004).

Para a análise fatorial, seus fatores foram extraídos pelos componentes principais e seus respectivos eixos rotacionados pelo método Varimax, sendo considerados aqueles que apresentaram autovalores superiores a 1. Além disso, foi determinado o valor de 0,65 para as cargas fatoriais significativas (HAIR JR. et al., 2009). Sendo assim, tanto a análise fatorial quanto a de componentes principais têm como objetivo a redução dos dados e propor as variáveis com maior discriminação para a distinção dos ambientes estudados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da qualidade visual do solo

3.1.1 Atribuição das notas de qualidade visual

A partir das observações realizadas em cada bloco de solo obteve-se, por meio do diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES), as notas para as respectivas áreas da qualidade estrutural da camada, sendo posteriormente realizados para o cálculo tanto da qualidade estrutura de cada amostra (IQEA) quanto da gleba (IQES), da área como um todo.

3.1.2 Critério 1 - Evidências de degradação ou conservação da estrutura do solo

Os resultados obtidos da qualidade estrutural da camada de solo (Qec) constatou-se evidências de conservação e/ou recuperação nos agroecossistemas estudados, haja vista o desenvolvimento das raízes em profundidade, sendo o cajueiro responsável por possuir raízes mais grossas e a cobertura vegetal ao redor ser responsável pela maior diversidade do sistema radicular, bem como a exploração entre os agregados dos mesmos (Figura 6). Ademais, na área de cajueiro, banana e mata nativa há presença, na maior parte, de agregados com tamanhos que variam de 1 a 4 cm, arredondados e zonas de fraquezas sem orientações definidas e a área de pastagem há o predomínio de agregados com tamanhos menores a 1 cm, na qual de acordo com Ralisch et al. (2017) quando ocorre a presença dos agregados grumosos com estrutura na superfície é indicativo de boa atividade biológica no solo (Figura 8).

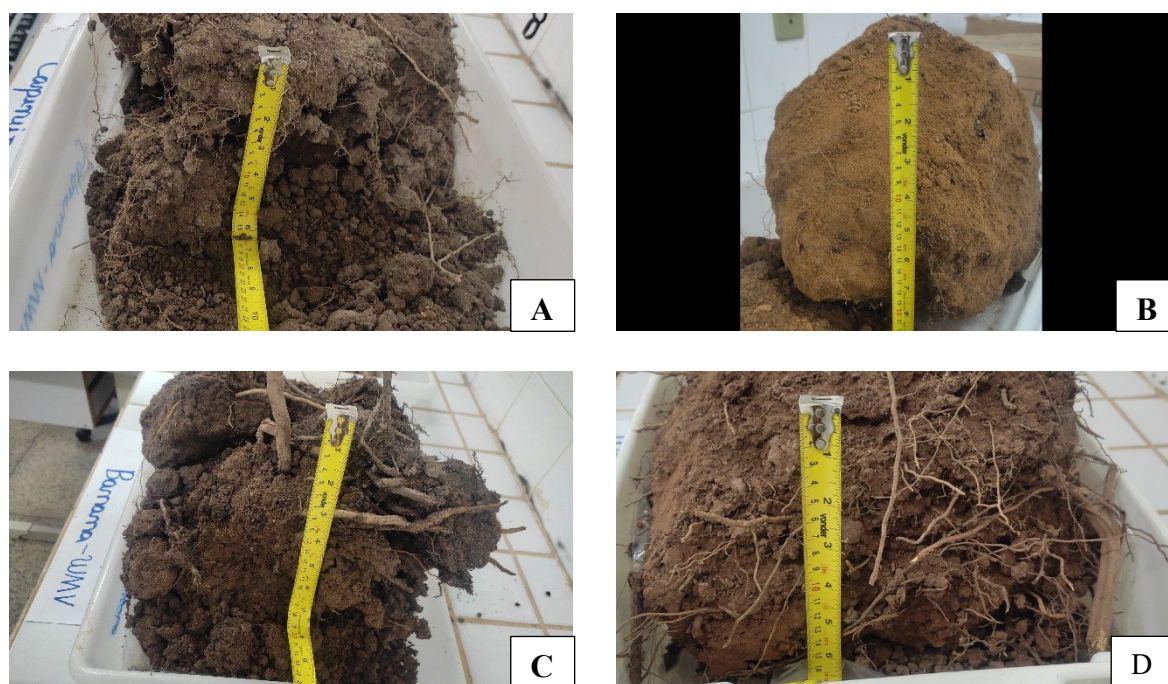


Figura 6. Desenvolvimento das raízes em profundidade e entre os agregados: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.

Por meio de informações complementares ou até mesmo auxiliares como a percepção da transição gradual entre camadas e pela redução do sistema radicular das plantas e/ou mudança da cor do solo é também indicativo de conservação ou recuperação do solo, no qual é dada de forma natural ou até mesmo devido ao bom uso das terras. Também por meio das observações realizadas ao redor do local de coleta, em cada área pode-se obter informações como o revolvimento mínimo que ocorreu na área de pastagem e banana para implantação da cultura. Já em todas as áreas pode-se perceber a presença de cobertura vegetal em diferentes estágios de decomposição, sendo essencial tanto para a reciclagem dos nutrientes quanto abrigo para uma diversidade de microorganismos, indicativo também de solo parcial ou permanentemente coberto.

3.1.3 Critério 2 - Classes de tamanho de agregados

Agregados menores que 1 cm

A área de pastagem apresentou discriminação quanto ao tamanho dos agregados da parte superficial serem menores que 1 cm, que de acordo com o tópico anterior pode ser resultante tanto da ação climática quanto da intensa atividade biológica que foi promovida pela deposição de restos vegetais ao longo do ciclo da cultura, apresentando assim diversos estágios de decomposição e favorece o desenvolvimento da biota do solo, formando também um solo representado por agregações grumosas (Figura 7). Entretanto, devido a presença de agregados, em sua maior parte, de agregados pequenos, há maior suscetibilidade de ocorrer processos de compactação, seja pela ação de máquinas, seja pela o pisoteio de animais, o que pode favorecer o processo erosivo e dificuldade no desenvolvimento das plantas.



Figura 7. Área de pastagem com o predomínio de agregados com tamanho < 1cm.

Agregados de 1 a 4 cm

Já a área de cajueiro, banana e mata nativa destacaram-se devido à presença predominante de agregados com tamanhos de 1 a 4 cm (Figura 8), sendo esse intervalo considerado desejável para o solo, de acordo com o estudo do Perfil Cultural, na qual representa que agregados grumosos em consonância com esse tamanho de agregados, alta atividade biológica e a porosidade, são fontes que proporcionam o solo desenvolver as suas potencialidades e, conseqüentemente, acarretar em fertilidade e o bom desenvolvimento das cultivares. No que tange o processo de recuperação do solo, áreas com o predomínio deste intervalo de agregados é considerada menos crítica quando comparado aos demais.

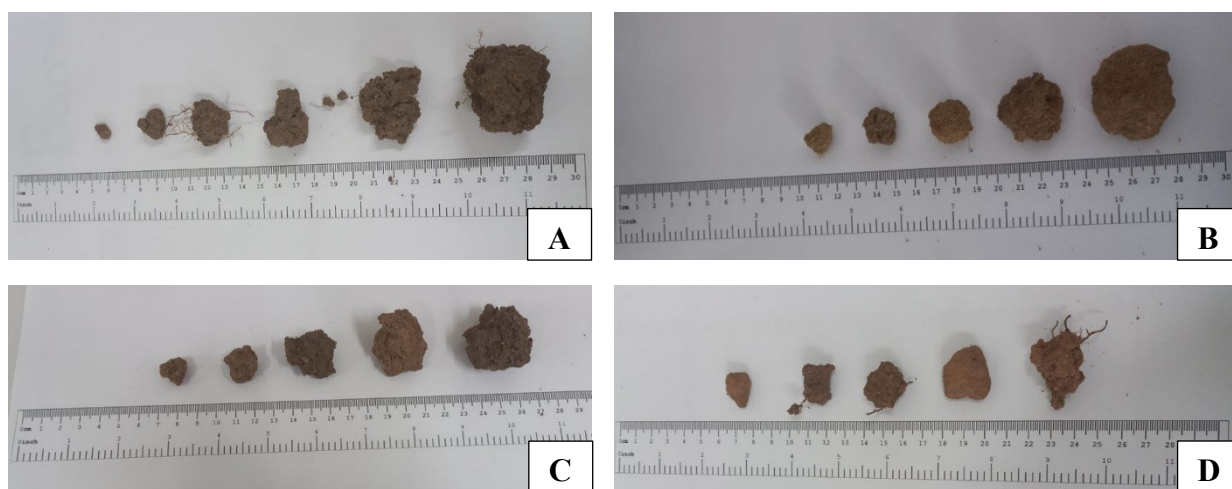


Figura 8. Agroecossistemas com tamanho de agregados de 1 a 4 cm, exceto a pastagem: (A) Área de pastagem; (B) Área de cajueiro; (C) Área de banana e (D) Área de mata nativa.

3.1.4 Atribuição de notas

Camadas da amostra de solo sem evidências de degradação (Qec de 6 a 4)

As áreas de banana e mata nativa estão inseridas no Qec 6, na qual é representada por possuírem mais de 70% de agregados com tamanhos entre 1 a 4 cm e devido a manifestação de suas estruturas grumosas, como também a percepção visual de forma abundante de raízes e, conseqüentemente, a atividade biológica, onde o solo fica menos propenso ao processo de fragmentação dos agregados quando os mesmos são pressionados, tendo em vista ser um solo mais arenoso. Devido a proteção do solo provinda da deposição de resíduos orgânicos em ambos agroecossistemas, o mesmo fica menos vulnerável a ação de agentes degradantes, bem como terá uma maior relação com as condições edafoclimáticas.

Por outro lado, a área de cajueiro é representada pela Qec 5 (agregados entre 1 e 4 cm e com estrutura grumosa). Classificado como Latossolo, suas características envolvem a vasta distribuição das raízes devido ao baixo nível de restrição ao seu desenvolvimento. Diante disso, a nota atribuída a esta área indica boa qualidade estrutural, mas que tem a capacidade de ser melhorada por meio de uma maior diversidade de cultivos e também pela deposição de resíduos orgânicos, principalmente na camada superficial.

Camadas da amostra de solo com evidências de degradação (Qec de 3 a 1)

A área de pastagem se enquadra na Qec = 3, com menos de 50% de agregados menores que 1 cm, sendo que se não realizado o correto manejo do solo há vulnerabilidade no processo de compactação e, conseqüentemente, favorecer o processo erosivo. Essa classificação pode ser entendida como um solo de estrutura “ruim”, tendo em vista ser suscetível, se estiver exposto, a ação de fatores externos, tal como a força cinética das gotículas de água da chuva e a perda de material da camada superficial pelo processo de enxurrada.

Entretanto, como ilustrado na figura 2, esse solo devido a sua condição edafoclimática, intensa presença de raízes e atividade biológica, bem com a cobertura vegetal e a utilização de gramínea que possui sistema radicular que explora camadas subsuperficiais, possui a capacidade de ser considerado um solo em processo de recuperação devido a proteção da sua estrutura.

3.1.5 Determinação da qualidade estrutural do solo na amostra avaliada (IQEA)

A partir da obtenção dos resultados da espessura do bloco de solo coletado, atribuído as notas de qualidade para cada camada e suas identificações, calculou-se o índice de qualidade estrutural do solo da amostra de acordo com a equação 1. Tendo em vista a realização da coleta do bloco de solo a uma profundidade de 25 cm e a mesma apresenta dificuldade para distinguir se há outra camada, foi adotado apenas uma camada.

Diante disso, por possuir uma única camada, tanto a área de banana quanto a mata nativa permaneceram com $Q_{ec} = 6$ e, conseqüentemente, o IQEA é equivalente à Q_{ec} , apresentando mais de 70% dos agregados com tamanhos entre 1 a 4 cm e com característica da formação de grumos, o sistema radicular é abundante, tem presença considerável de poros e há atividade biológica. Ademais, a partir das características supracitadas, as raízes não possuem impedimento para o desenvolvimento e com isso ausência de compactação do solo.

Seguindo essa linha de raciocínio, podemos dizer que a área de cajueiro apresenta IQEA = 5, agregados entre 1 e 4 cm e com estrutura grumosa. Por outro lado, a pastagem está inserida no IQEA = 3, representado por possuir menos de 50% dos agregados menores que 1 cm, necessitando assim de uma maior diversidade de cultivos e também de preparo mínimo do solo.

3.1.6 Índice de qualidade estrutural do solo (IQES) na gleba avaliada

Para a determinação da homogeneidade da área (IQES) foi realizado a média de forma individual das notas anteriormente atribuídas para o IQEA de acordo com a equação 2. Dessa forma, a partir dos resultados e sua interpretação foi determinado formas de recuperação, manutenção e/ou melhorias da qualidade estrutural do solo.

Para a área de banana e mata nativa com nota = 6 e para área de cajueiro = 5 é recomendado para sua melhoria, preservar o manejo do solo utilizado e também adquirir novas tecnologias conservacionistas. Já para a área de pastagem com nota = 3 recomenda-se a ampliação de uma maior diversidade de culturas com maior aporte de fitomassa aérea e raízes semelhante ao capim ele elefante que já é cultivado. Ademais, eliminar operações de forma mecanizada, tendo em vista a área possuir argila de atividade coloidal alta, logo, haverá uma maior capacidade compactação deste solo, informações essas presentes no documento 390 (Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES).

Para todas as situações de qualidade estrutural citadas anteriormente, a adoção de sistemas de produção na qual envolvem a rotação de pastagens, bem como as culturas anuais, são consideradas excelentes formas alternativas com capacidade de melhoria da estrutura do solo, tendo em vista a ação do sistema radicular (SALTON; TOMAZI, 2014).

3.2 Avaliação quantitativa do solo

Entre os atributos do solo que foram realizadas as análises, quinze (15) apresentaram fortes correlações na matriz de correlação de Pearson e, consequentemente, influência na variação total (%) tanto na análise fatorial, quanto na dos componentes principais, dentre elas: Ds – Densidade do solo; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; PT – Porosidade total; DMP – Diâmetro médio ponderado; pH – potencial hidrogeniônico; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K^+ – Potássio; Na^+ – Sódio; Ca^{2+} – Cálcio e Mg^{2+} – Magnésio.

De acordo com a matriz de correlação de Pearson (Tabela 3) percebe-se elevado número de correlações significativas ($P \leq 0,05$) tanto positivas e/ou negativas entre os atributos físicos, químicos e estruturais do solo que foram estudados. Logo, esses bons valores indicam uma correlação forte ($>0,65$) e que a estatística é confiável, sendo responsável por padronizar as variáveis para unidades iguais, identificar as correlações e demonstrar a adequação dos dados para dar seguimento a análise fatorial (AF) e de componentes principais (ACP).

Nesse sentido, as principais correlações significativas observadas com a fração areia foi o carbono orgânico total (COT) e cálcio (Ca^{2+}) (positivas) e com a argila (negativa), tendo em vista a manifestação do COT e da argila ocorrer na camada superficial do solo. O silte apresentou correlação positiva com o magnésio (Mg^{2+}), macroporosidade (Macro) e potencial hidrogeniônico (pH), e negativo com a densidade do solo (Ds), pelo fato do silte apresentar intermediária estabilidade entre os agregados, há maior desagregação e, consequentemente, mais macroporos, logo, menor a densidade do solo. A densidade do solo (Ds) com correlação significativa positiva com o potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e fósforo (P), e negativo com a porosidade total (PT) e magnésio (Mg^{2+}), sendo que quando ocorre o aumento da Ds, há redução da PT, proporcionando resistência à penetração das raízes devido a microporosidade (LIMA et al., 2007).

A macroporosidade (Macro) se correlacionou positivamente com o potencial hidrogeniônico (pH), magnésio (Mg^{2+}) e o carbono orgânico total (COT), e negativamente com a microporosidade (micro). Já o carbono orgânico total (COT) se correlacionou apenas positivamente com o cálcio (Ca^{2+}), fósforo (P) e potássio (K^+), influenciando assim os atributos químicos do solo, identificando a importância dos resíduos orgânicos na contribuição com o fósforo.

Tabela 3. Matriz de correlação linear simples entre os atributos físicos, químicos e estruturais do solo.

	Areia	Silte	Argila	Ds	Macro	Micro	PT	DMP	pH	COT	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Areia	1,00														
Silte	0,03	1,00													
Argila	-0,98	-0,24	1,00												
Ds	0,39	-0,72	-0,23	1,00											
Macro	0,24	0,82	-0,40	-0,20	1,00										
Micro	-0,33	-0,52	0,43	-0,20	-0,92	1,00									
PT	-0,33	0,34	0,25	-0,88	-0,26	0,62	1,00								
DMP	-0,53	0,13	0,49	0,16	0,44	-0,56	-0,51	1,00							
pH	-0,31	0,76	0,14	-0,36	0,85	-0,74	-0,12	0,75	1,00						
COT	0,76	0,24	-0,79	0,48	0,69	-0,85	-0,71	0,14	0,28	1,00					
P	0,40	-0,16	-0,35	0,79	0,44	-0,75	-0,98	0,52	0,25	0,82	1,00				
K ⁺	0,46	-0,23	-0,40	0,84	0,37	-0,70	-0,98	0,43	0,15	0,82	0,99	1,00			
Na ⁺	-0,31	-0,18	0,34	0,53	0,29	-0,55	-0,78	0,92	0,49	0,30	0,75	0,69	1,00		
Ca ²⁺	0,76	-0,25	-0,69	0,82	0,27	-0,57	-0,86	0,04	-0,12	0,88	0,88	0,92	0,35	1,00	
Mg ²⁺	-0,02	1,00	-0,19	-0,75	0,79	-0,49	0,38	0,14	0,76	0,19	-0,20	-0,27	-0,18	-0,30	1,00

Nota: Ds – Densidade do solo; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; PT – Porosidade total; DMP – Diâmetro médio ponderado; pH – potencial hidrogeniônico; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio.

Já a análise fatorial tem como objetivo destacar os fatores obtidos, suas cargas fatoriais, autovalores e a variância total e acumulada (Tabela 4). Sendo que foi obtido três (3) fatores, na qual apresentaram autovalores superiores a um (1) e variância total acumulada de 100,00%.

Sendo que o fator F1 foi responsável por reunir as variáveis Ds, PT, COT, P, K⁺, Na⁺ e Ca²⁺, na qual representou 47,54% de explicação da variação presente no conjunto de dados, onde foi o responsável pela maior distinção dos usos da terra, apresentando inter-relação entre os atributos físico-químicos, tendo relação com a agregação do solo, pois um solo bem estrutura e consequentemente bem agregado, favorece a disponibilidade de nutrientes. Por outro lado, o F2 agrupou as variáveis Silte, Macro, Micro, pH e Mg²⁺ com explicabilidade de 30,39% de variância total. Diante disso, os dois primeiros fatores apresentaram variância acumulada de 77,93%, sendo responsável por agruparem as variáveis mais discriminantes na distinção dos agroecossistemas estudados. Ademais, o fator F3 discriminou a fração areia, argila e o DMP, com variância total dos dados de 22,07%, variáveis associadas à estabilidade dos agregados, tendo em vista serem favorecidos em solos com maior teor de argila.

Tabela 4. Eixos fatoriais extraídos para atributos das cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada. Rotacionados pelo método Varimax. Cargas fatoriais $\geq 0,65$ foram consideradas significantes para fins de interpretação.

Variáveis	F1	F2	F3
Areia	0,33	0,02	0,94
Silte	-0,28	0,95	0,11
Argila	-0,26	-0,21	-0,94
Ds	0,85	-0,52	0,12
Macro	0,32	0,94	0,13
Micro	-0,67	-0,74	-0,10
PT	-1,00	0,07	0,00
DMP	0,53	0,39	-0,75
pH	0,18	0,90	-0,41
COT	0,74	0,41	0,54
P	0,99	0,11	0,07
K ⁺	0,99	0,03	0,15
Na ⁺	0,79	0,12	-0,61
Ca ²⁺	0,86	-0,07	0,51
Mg ²⁺	-0,32	0,95	0,07
Autovalores	7,13	4,56	3,31
Variância Total (%)	47,54	30,39	22,07
Variância Total Acumulada (%)	47,54	77,93	100,00

Nota: Ds – Densidade do solo; Macro – Macroporosidade; Micro – Microporosidade; PT – Porosidade total; DMP – Diâmetro médio ponderado; pH – potencial hidrogeniônico; COT – Carbono orgânico total; P – Fósforo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio.

Por meio da Análise dos Componentes Principais (ACP) verificou-se o círculo de correlação com os fatores 1 e 2, sendo que os dois eixos foram responsáveis por explicarem 77,93% dos resultados obtidos (Figura 9. A ou B). Ademais, quão maior for a aproximação das variáveis ao círculo de correlação, indicam maior representatividade, na discriminação dos ambientes.

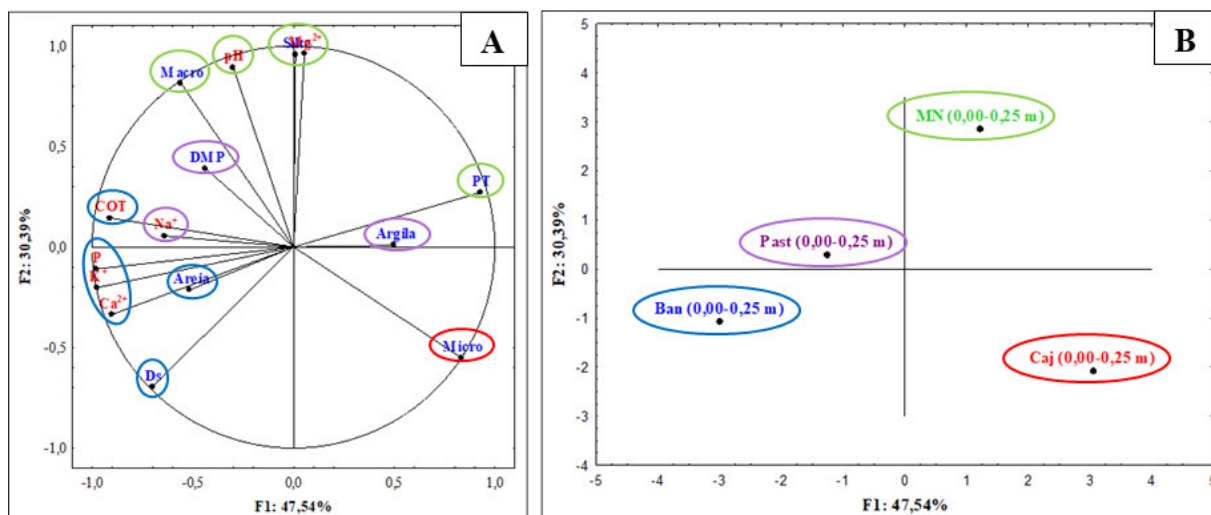


Figura 9 (A e B). Distribuição da nuvem de variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre fatores 1 e 2 e os agroecossistemas em estudo.

Diante disso, as variáveis Argila, DMP e Na^+ foram sensíveis na distinção da área de pastagem. Isso faz com que o DMP esteja intimamente relacionado com a qualidade estrutural do solo, influenciando sua textura, tendo em vista o desenvolvimento do seu sistema radicular (WU et al., 2023). Ademais, devido a discriminação da argila há maior compacidade e, consequentemente, maior capacidade de compactação, também verificado na avaliação da qualidade visual (Tabela 2).

A Micro foi responsável por distinguir a área de cajueiro, embora não apresente restrição física. Já os atributos Areia, Ds, COT, P, K^+ e Ca^{2+} foram mais sensíveis na distinção na área de banana. A densidade do solo variou de 1,22 a 1,55 g cm^{-3} , sendo maior na área de banana devido a predominância da fração areia que é um mineral primário, com predominância de quartzo e feldspato.

As variáveis Silte, Macro, PT, pH e Mg^{2+} foram as que discriminaram a área de mata nativa. Sendo o silte um indicativo de solos jovens, pouco intemperizados e susceptível ao processo erosivo, por ser facilmente disperso, sendo que a mata é uma área de Neossolo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de banana, mata nativa e cajueiro apresentam boa qualidade estrutural por meio da qualidade visual e quantitativa, já a pastagem apresentou baixa qualidade estrutural e susceptibilidade à compactação, sendo necessário utilização de preparo mínimo do solo para aumentar a rugosidade superficial e a porosidade de aeração, como também, diversidade de cultivos no intuito de aumentar os resíduos orgânicos em sua superfície.

Na avaliação participativa da qualidade visual, a área de banana e mata nativa foram classificadas com o melhor índice da qualidade estrutural da amostra (IQEA=6), seguida da área de cajueiro (IQEA=5) e a pastagem inferior as demais (IQEA=3).

Já para os atributos quantitativos, houve a discriminação das seguintes variáveis: Argila, diâmetro médio ponderado e sódio na área de pastagem; a microporosidade no cajueiro; já os atributos areia, densidade do solo, carbono orgânico total, fósforo, potássio e cálcio foram mais sensíveis na área de banana e o silte, macroporosidade, porosidade total, potencial hidrogeniônico e magnésio se destacaram na área de mata nativa.

Ademais, a estatística multivariada é uma ferramenta de grande valia para a distinção das variáveis analisada e suas inter-relações entre os agroecossistemas, sendo essa técnica usada porque estamos falando de um sistema aberto, dinâmico, sem delineamento experimental, no qual não temos controle das variáveis analisadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n. 6, p.711-728, 2013.

CAVALCANTE, J. S. J. **RELAÇÕES SOLO-PAISAGEM ASSOCIADAS AOS USOS AGRÍCOLAS NO MUNICÍPIO DE MARTINS – RN**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestre em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2016.

FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San Jose: IICA, 1975. 212 p.

GEE, G. W.; OR, D. Particle size analysis. In: Dane, J. H.; Topp, G. C. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 4: physical methods**. **Madison: Soil Science Society of America**, 2002. p. 255-293.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C.A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 395-403, 2011.

HAIR, J. F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Bookman Editora, 2009, 688 p.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. **Methods of soil analysis**. 2ed. Madison, Am Soc Ag Soil Sci Soc Am, Part 1, p. 425-442. 1986. (Agronomy Monography, 9).

LIMA, C. G. D. R. *et al.* Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 31, 1233-1244.

LOPES, T. C. S. *et al.* **Characterization of physical-chemical and structural soil attributes in the semiarid region of the Rio Grande do Norte State, Brazil**. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 22-33, 2019.

MUELLER, L. *et al.* Visual assessment of soil structure: Evaluation of methodologies on sites in Canada, China and Germany: Part I: Comparing visual methods and linking them with soil physical data and grain yield of cereals. **Soil & Tillage Research**, v. 103, p.178-187, 2009.

RALISCH, R. *et al.* **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 64p (Embrapa Soja. Documentos, 390).

REIS, D. A.; DE LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1623-1632, 2016.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 590 p.

SANTOS, R. D. DOS *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV**; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRJ, 2013.100p.

STATISTICA (data analysis software system), versão 7.0, StatSoft (www.statsoft.com), 2004.

TAVARES FILHO, J. *et al.* Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 393-399, 1999.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017, 573 p.

U.S. Salinity Laboratory Staff. **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**. USDA Agriculture Handbook 60. (US Govt Printing Office: Washinton, DC). 1954, 160p.

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

WU, W. *et al.* Effect of different vegetation restoration on soil properties in the semi-arid Loess Plateau of China. **Catena**, [S.L.], v. 220, p. 106630, jan. 2023. Elsevier BV.