

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

**QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLOS AMARELOS DA CHAPADA  
DO ARARIPE SOB DIFERENTES MANEJOS**

**ANA PAULA FONSECA E SILVA**

**Orientador:** Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

**Co-orientadores:** Prof. Dr. Fernando José Freire; Dr. Douglas Monteiro Cavalcante

Recife, PE

Julho, 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

**ANA PAULA FONSECA E SILVA**

**QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLOS AMARELOS DA  
CHAPADA DO ARARIPE SOB DIFERENTES MANEJOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Controle e Remediação da Poluição.

**Orientador:** Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

**Co-orientadores:** Prof. Dr. Fernando José Freire; Dr. Douglas Monteiro Cavalcante

Recife, PE

Julho, 2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental**

**QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLOS AMARELOS DA CHAPADA DO  
ARARIPE SOB DIFERENTES MANEJOS**

*ANA PAULA FONSECA E SILVA*

APROVADO EM: 31 de julho de 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

---

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto

---

Dr. Monaliza Alves dos Santos

## **Agradecimentos**

Agradeço à Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, pela oportunidade de cursar o mestrado em Engenharia Ambiental, aos funcionários e professores do PPEAMB pelo contínuo aprendizado que me foi oferecido, à CAPES pela bolsa de estudo; ao professor Brivaldo Gomes de Almeida pela orientação, aos meus coorientadores Fernando José Freire e Douglas Monteiro Cavalcante pelo suporte oferecido e extremamente necessário para que este trabalho fosse possível.

Aos meus colegas da pós-graduação, em especial a todos do laboratório de Física do Solo que me apoiaram na minha amostragem de dados, experimento, e durante todo processo. À minha família principalmente, que são as pessoas que mais me apoiam e confiam em mim e sempre estão lá por mim não importa a decisão que eu tome ou o caminho que eu trilhe.

Aos meus amigos, que após anos nas estradas da vida acabaram por se tornar família também, todo apoio emocional, conversas, diversões e risadas também fizeram este trabalho ser possível.

Quanto aos meus agradecimentos espirituais reservo-os a mim, gosto de pensar que acreditamos todos na mesma força que nos guia, mas como a humanidade nunca entrou em consenso em absolutamente nada, não seria sobre isso que entraria, então, reservo a você que está lendo o direito de interpretar a quem agradeço.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	10
REFERÊNCIAS .....	12
CAPÍTULO I.....	15
RESUMO .....	16
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral .....	18
2.2 Objetivos específicos.....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	19
3.1 A degradação do solo .....	19
3.2 Latossolos .....	20
3.3 Qualidade de solos.....	21
3.4 Indicadores de qualidade de solos .....	22
3.5 Os atributos físicos do solo.....	23
3.6 Influência dos sistemas de manejos na qualidade dos solos.....	27
3.7 Índices de qualidade do solo e sua aplicação na avaliação dos impactos do uso e manejo do solo.....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Caracterização do meio físico.....	29
4.1.1- Área sob vegetação nativa preservada .....	30
4.1.2 Área sob vegetação nativa degradada.....	31
4.1.3- Área sob o monocultivo de mandioca.....	31
4.1.4 Área sob o uso agro-energético de eucalipto.....	32
4.2 Caracterização dos perfis de solo .....	33
4.3 Amostragem do solo.....	34
4.4 Análise dos atributos físicos do solo .....	35

4.5 Matéria Orgânica do Solo.....	40
4.6 Análises estatísticas e interpretação dos resultados.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5.1 Análise Granulométrica (Argila, Areia e Silte).....	41
5.2 Densidade do Solo .....	43
5.3 Porosidade do Solo e Distribuição do Tamanho de poros.....	44
5.4 Curva Característica de Retenção de Água do Solo .....	47
5.6 Condutividade Hidráulica Saturada.....	51
5.7 Estabilidade de Agregados .....	54
5.8 Resistência Tênsil de agregados .....	56
5.9 Carbono Orgânico Total (COT) .....	57
CONCLUSÕES .....	57
BIBLIOGRAFIAS.....	58
CAPÍTULO II.....	68
RESUMO .....	69
1. INTRODUÇÃO.....	70
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
2.1 Caracterização do Meio Físico .....	71
2.2 Análises do solo.....	71
2.3 Elaboração do Índice de Qualidade do Solo.....	72
2.4 Análise Estatística .....	75
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	75
4. CONCLUSÕES .....	83
BIBLIOGRAFIAS.....	84
APÊNDICES .....	86

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização das quatro áreas experimentais.....	29
Figura 2- Fotografias da área sob vegetação nativa de Caatinga preservada, com detalhes: à esquerda, .....	30
Figura 3- Fotografia da área degradada no ano de 2017 (à esquerda), .....	31
Figura 4- Fotografia da plantação de mandioca no ano de 2017 (à esquerda); e após o corte, sob gradagem, no ano de 2019 (à direita).....	32
Figura 5 - Fotografia dos eucaliptos cultivados no ano de 2017 (à esquerda); e, à direita, parte da área sem cobertura vegetal, após colheita, no ano de 2019. ....	33
Figura 6 - Fotografias dos perfis de solo das áreas estudadas, .....	34
Figura 7- Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) .....	48
Figura 8 - Curvas de resistência do solo à penetração ao sistema radicular (RP) .....	50
Figura 9 - Resultados de condutividade hidráulica pelo permeâmetro de Guelph.....	54
Figura 10 - Diagnóstico da multicolinearidade para variáveis explicativas, com base no fator de inflação da variância (FIV), em quatro sistemas de manejo e avaliados na profundidade de 0-10 cm, na Chapada do Araripe – PE. ....	756
Figura 11- Diagnóstico de multicolinearidade para as variáveis explicativas, com base no fator de inflação de variância (FIV), em quatro sistemas de manejo avaliados na profundidade de 10-20 cm, na Chapada do Araripe – PE. ....	76
Figura 12- Médias dos Índices de Qualidade do solo (IQS) e contribuição de cada indicador no IQS na profundidade 0-10 cm, .....	82
Figura 13- Médias dos Índices de Qualidade do Solo (IQS) e contribuição de cada indicador no IQS na profundidade de 10-20 cm,.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frações granulométricas do Latossolo Amarelo distrófico nas quatro áreas de estudo.....	41
Tabela 2 - Densidade do solo para os Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, textura franco-arenosa, das quatro áreas de estudo .....	43
Tabela 3 - Distribuição do tamanho de poros do solo estudados sob diferente cobertura vegetal, referente aos poros de maiores diâmetros equivalentes solos.....	45
Tabela 4 – Distribuição do tamanho de poros dos solos estudados sob diferente cobertura vegetal, referente aos poros de menores diâmetros equivalentes .....	47
Tabela 5- Valores médios da condutividade hidráulica saturada para amostras do Latossolo Amarelo distrófico .....	51
Tabela 6- Parâmetros de agregação de um Latossolo Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de uso em duas camadas. ....	56
Tabela 7- Resistência tênsil de agregado dos Latossolos Amarelos .....	56
Tabela 8 - Teores de Carbono Orgânico dos Latossolos amarelos.....	57
Tabela 9 - Médias das propriedades físicas e COT dos solos da Chapada do Araripe – PE, sob diferentes manejos (Eucalipto, Caatinga Degradada, Caatinga Preservada e Mandioca) nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm .....	73
Tabela 10. Correlação entre as variáveis altamente carregadas da análise de componentes principais (0 – 10 cm profundidade).....	76
Tabela 11. Correlação entre as variáveis altamente carregadas da análise de componentes principais (10 – 20 cm profundidade).....	77
Tabela 12. Cargas fatoriais rotacionadas e comunalidades de um modelo de dois fatores calculados a partir de atributos do solo na profundidade de 0-10 .....	78
Tabela 13. Cargas fatoriais rotacionadas e comunalidades de um modelo de dois fatores calculados a partir de atributos do solo na profundidade de 10-20 cm .....	79
Tabela 14. Atributos físicos na camada de 0-10 cm, selecionados como indicadores da qualidade de solo, suas cargas fatoriais rotacionadas e pesos no Índice de Qualidade do Solo (IQS), de sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE.....	80
Tabela 15. Atributos físicos na camada de 10-20 cm, selecionados como indicadores da qualidade de solo, suas cargas fatoriais rotacionadas e pesos no Índice de Qualidade do Solo (IQS), de sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE.....	80



## RESUMO

Pouco se conhece sobre atributos físicos como indicadores de qualidade do solo relacionados a diferentes usos no Estado de Pernambuco, mais precisamente no Semiárido. Com o presente estudo objetivou determinar indicadores de qualidade física dos solos sob diferentes sistemas de uso e manejo representativos da região de Araripina – PE, visando inclusive, avaliar os efeitos do uso sobre aspectos produtivos do solo e de sua influência sobre a sustentabilidade desses sistemas de produção afim de desenvolver e aplicar um índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos no solo. Foram selecionados quatro sistemas de manejo sob vegetação nativa preservada; sob vegetação nativa degradada, com baixa regeneração natural; sob uso convencional (monocultivo de mandioca) e área sob uso de eucalipto. Para tal, foram avaliados seus atributos físicos nas profundidades de 0- 10 cm e 10-20cm. Para determinação do índice de qualidade do solo, primeiramente foram avaliados os atributos físicos e o Carbono orgânico do solo e depois de obtidas as médias dos parâmetros, para obter o índice de qualidade do solo foram avaliados os 21 indicadores de qualidade encontrados: Os indicadores físicos mais sensíveis na avaliação da qualidade de Latossolos Amarelos da Chapada do Araripe destacam-se os valores obtidos pelos índices de estabilidade de agregados, bem como os da Resistência Tênsil, indicam um bom estado de agregação do solo nas áreas de eucalipto e mandioca, justificados pelos valores de Carbono Orgânico Total. Os valores das Curvas características de Retenção de Água no Solo (CCRAS) e Resistência a Penetração de Raízes (RP), conjuntamente, comprovam as diferenças entre as condições estruturais das áreas estudadas, sendo a área preservada considerada com a melhor condição estrutural em relação às demais áreas. Os resultados de Ksat apontam que a área degradada está passando por um processo de recuperação de sua estrutura. Analisando os resultados de Índice de Qualidade do Solo, observa-se que a área preservada possui os melhores resultados na área superficial e em subsuperfície essa área também apresenta bons resultados reforçando o que foi discutido neste trabalho. Os resultados de IQS nas duas profundidades analisadas comprovam que a área degradada está passando por um processo de recuperação das suas características físicas.

Palavras-Chave: solo-qualidade, sustentabilidade, conservação

## ABSTRACT

Little is known about physical attributes as indicators of soil quality related to different uses in Pernambuco State, more precisely in the semi-arid. PE, aiming to evaluate the effects of the use on productive aspects of the soil and its influence on the sustainability of these production systems in order to develop and apply a soil quality index to evaluate the impact of different uses and management on the soil. Four representative systems were selected: under preserved native vegetation; under degraded native vegetation, with low natural regeneration; under conventional use (cassava monoculture) and area under eucalyptus agroenergy use. For this, they were evaluated at depths of 0-10 cm and 10-20cm. To determine the soil quality index, the physical attributes and the soil organic carbon were first evaluated, and after the parameter averages were obtained, to obtain the soil quality index the 21 quality indicators found were: Physical indicators The most sensitive values for the quality evaluation of Chapada do Araripe Xanthic Ferralsol are the values obtained by the aggregate stability indexes, as well as the RT values, indicate a good soil aggregation state in the eucalyptus and cassava areas, justified by the values. TOC The values of the CCRAS and RP, together, prove the differences between the structural conditions of the studied areas, and the preserved area is considered the best structural condition in relation to the other areas. Ksat's results indicate that the degraded area is undergoing a process of recovering its structure. Analyzing the results of IQS, it is observed that the preserved area has the best results in the superficial and subsurface areas, this area also presents good results reinforcing what was discussed in this work. The IQS results at both depths show that the degraded area is undergoing a process of recovery of its physical characteristics.

Keyword: soil-quality, sustainability, conservation

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Diferentes autores têm usado distintas definições para conceituar solo, devido à multifuncionalidade deste recurso natural (CONCHA-LOZADA, 2015), mas uma das mais atuais define solo como um corpo natural composto por sólidos, líquidos e gases na superfície da terra, caracterizado por horizontes e resultante de agregações, perdas, transferências e transformações de matéria e energia, e ainda pela sua capacidade de suportar as plantas (USDA, 2010).

Sua capacidade de funcionar adequadamente no desempenho dessas funções é referida como “qualidade do solo” (FILHO et al., 2007). O desenvolvimento do conceito de qualidade do solo e sua aplicação no manejo e uso da terra, desde então, tem tido várias abordagens, sendo que a maioria dos conceitos propostos atualmente se baseiam na qualidade do solo como a capacidade funcionar dentro dos limites do ecossistema. (LARSON e PIERCE, 1994; ARAÚJO et al., 2012).

Por necessitar de um número razoável de variáveis, a qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores de qualidade do solo (KARLEN e STOTT, 1994). A utilização desses indicadores, relacionados à sua funcionalidade, constitui uma maneira indireta de mensurar a qualidade dos solos, havendo uma tendência em classificar os indicadores de qualidade do solo em físicos, químicos e biológicos (FILHO et al., 2007).

As propriedades físicas ou mecânicas do solo são resultantes das diferentes partículas que integram o solo, frutos do intemperismo e fragmentação da camada superficial da terra, que determinam a capacidade de uso, facilidade à penetração das raízes, aeração, a capacidade de drenagem e armazenamento de água, a retenção de nutrientes no interior do solo, etc. (COSTA et al., 2003; BRADY e WEIL, 2008).

O tipo de uso e manejo de uma área tem grande influência sobre os atributos físicos de qualidade do solo, especialmente nas camadas mais superficiais, onde a compressão mecânica parece ser mais atuante (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007). Pode-se dizer que a degradação do solo segundo Freitas et al. (2015) tem sido provocada pela redução da cobertura vegetal nativa, que por vez tem sido promovida pelo uso e manejo inadequados do solo.

As propriedades químicas do solo, resultantes da decomposição do seu material e da matéria orgânica, são responsáveis pela sua fertilidade e pelo fornecimento e

disponibilidade de nutrientes às plantas (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000). Muitas propriedades químicas do solo influenciam diretamente os processos biológicos, e esses processos, em conjunto com os processos físicos do solo, determinam tanto a capacidade dos solos para reter e fornecer nutrientes, quanto à mobilidade e disponibilidade de água (SCHOENHOLTZ; VAN MIEGROET; BURGER, 2000).

A implantação de sistemas agrícolas de baixa sustentabilidade tem ocasionado degradação das terras e um rápido declínio no potencial produtivo dos solos, devido principalmente às rápidas perdas de matéria orgânica, a degradação de sua estrutura e aos processos erosivos (FAO, 2011).

Em função da importância da qualidade do solo e da sua manutenção, vários pesquisadores buscaram formas de avaliá-la. (DORAN e PARKIN, 1994; CHAER e TÓTOLA, 2007). Entretanto, para que o conceito de qualidade do solo seja efetivo, é necessário ter índices constituídos por variáveis ou indicadores que ajudem na avaliação da condição do recurso, fornecendo informação sobre o seu estado atual e sobre suas tendências.

Nesse sentido, os indicadores de qualidade do solo devem permitir a avaliação da situação atual e identificar pontos críticos e os possíveis impactos antes de uma intervenção; devem permitir o monitoramento do impacto das atividades antrópicas e devem ajudar a determinar se o uso do solo é sustentável (WIENHOLD; ANDREWS; KARLEN, 2004; MELO FILHO e SOUZA, 2007).

Diante desse cenário, Alencar et al. (2015) e Rezende (2017) apontaram a crescente importância dada a trabalhos que visam o estudo da qualidade dos solos na região do semiárido pernambucano. Dentre os atributos dos solos usados para definir a qualidade do solo, os físicos têm recebido maior destaque por estar relacionado diretamente com a condição estrutural do solo.

Viana et al. (2011), mostra que a densidade do solo, resistência do solo à penetração e a porosidade do solo, estão ligados à forma e a estabilidade estrutural do solo; além disso, segundo Embrapa (2006), estes atributos sofrem forte influência da matéria orgânica no solo (MOS), pois esta faz diminuir a densidade do solo (Ds) e aumentar a Porosidade total (Pt), influenciando na estrutura e na produtividade agrícola.

Porém, na região de estudo, há poucas informações sobre o uso desses atributos em diagnosticar o estado de degradação dos solos, tanto pelo uso intensivo para

monocultivo de mandioca, pelo uso agro-energético do eucalipto ou pela retirada da vegetação nativa, e qual deles é mais eficiente.

Por isso, o presente estudo pretendeu desenvolver um índice de qualidade do solo com parâmetros físico-químicos de fácil obtenção no campo, e sensíveis às variações do uso e manejo do solo, que tenham relação com as funções do solo, e compreensíveis para os usuários (DORAN e ZEISS, 2000; SCHINDELBECK et al., 2008). Para ilustrar sua utilização, ele foi aplicado a diferentes situações de uso e manejo do solo típicas da região do Semiárido.

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, T. L.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A.; JÚNIOR, R. N. A.; MOTA, J. C.A. Atributos Físicos de um Cambissolo Cultivado e Tratado com Biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 39,n.3, p. 737-749, 2015.

ARAÚJO, E.A; KER, J.C; NEVES, J.C.L; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* v.5, n.1, 2012.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.5, p.1099-1108. 2007.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The Nature and Properties of Soils*. 13th edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 960p. 2002.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1381-1396. 2007.

CONCHA-LOZADA, C. M. Índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos e sua aplicação em uma área rural de Planaltina (DF). Dissertação de Mestrado. Programa de PósGraduação em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília - UnB, Brasília-DF, 80f.

COSTA, F. D. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.3, p.527-535. 2003.

CUNHA NETO, F.V; PEREIRA, M.G; LELES, P.S.S; ABEL, E.L.S. Atributos Químicos e Físicos do Solo em Áreas Sob Diferentes Coberturas Florestais e Pastagem em Além Paraíba – MG. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 13-24, jan. - mar. 2018.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. Chapters 1-8, p.1-21. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.35. 244p. 1994.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, v.15, n.1, p.3-11. 2000.

FAO. Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar. Notícias. Brasil, 2011. Disponível em: <<https://www.fao.org/edsaasa.asp>>, acesso em 07/07/2019.

FILHO, J.F.M; SOUZA, A.L.V; SOUZA, L.S. Determinação do Índice de Qualidade Subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1599-1608, 2007.

FREITAS, D.A.F; SILVA, M.L.N; CARDOSO, E.L; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012.

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Chapters 1-8, p.53-72. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.35. 244p. 1994.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1994. p.37-52. (Special Publication, 35).

MELO FILHO, J. D.; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L. D. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.6, p.1599-1608. 2007.

REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, v.138, p.335-356. 2000.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE; NRCS - NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff, Eleventh edition, United States Government Printing Office, Washington, D.C. 346p. 2010.

VIANA, E. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 35:2105-2114, 2011.

WIENHOLD, B. J.; ANDREWS, S. S.; KARLEN, D. L. Soil quality: a review of the science and experiences in the USA. Environmental Geochemistry and Health, v.26, n.2, p. 89-95. 2004.

## CAPÍTULO I

ATRIBUTOS FÍSICO-HIDRICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM  
LATOSSOLOS AMARELOS DA CHAPADA DO ARARIPE SOB DIFERENTES  
MANEJOS



## RESUMO

A necessidade de se conhecer os atributos do solo, mais precisamente os físicos, é de suma importância para a definição da sua qualidade, onde, sob o ponto de vista ambiental, ter o conhecimento de tais aspectos de solos sob diferentes coberturas vegetais, pode nortear as tomadas de decisão sobre os usos adequados para áreas sob manejo e assim evitar impactos ambientais. Na região do Araripe-PE, o solo é o principal recurso utilizado por moradores, que têm uma economia pautada na exploração do mesmo através da agricultura familiar. Assim, o planejamento do uso do solo, sua recuperação e conservação se justificam. Nesse contexto, objetivou-se com esse estudo avaliar a qualidade física de Latossolos Amarelos na chapada do Araripe sob diferentes coberturas vegetais. Foram amostrados solos de quatro áreas: sob vegetação nativa preservada; sob vegetação nativa degradada, com baixa regeneração natural; sob uso convencional com monocultivo de mandioca e área sob uso agro-energético de eucalipto. Para tal, foram avaliados os atributos físicos do solo, nas profundidades de 0- 10 cm e 10-20cm, a densidade do solo (Ds), a resistência a penetração (RP), a Resistência tênsil de agregados (RT), a porosidade total (Pt), a Distribuição do tamanho de poros (DTP), a condutividade hidráulica saturada (Ksat), a estabilidade de agregados (EA). O teor de carbono orgânico (CO) e granulometria dos solos da área de estudo também foram determinados. Os resultados obtidos nas análises foram submetidos à one-way ANOVA (análise de variância) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Entre os indicadores físicos mais sensíveis na avaliação da qualidade de Latossolos Amarelos da Chapada do Araripe destacam-se os valores obtidos pelos índices de estabilidade de agregados, bem como os da RT, indicando um bom estado de agregação do solo nas áreas de eucalipto e mandioca, justificados pelos valores de Carbono Orgânico Total (COT). Os valores das CCRAS e RP, conjuntamente, comprovam as diferenças entre as condições estruturais das áreas estudadas, sendo a área preservada considerada com a melhor condição estrutural em relação às demais áreas.

**Palavras-chave:** Manejo de solos; Caatinga; Atributos físico-hídricos; Degradação

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Rezende (2017) e Souto et al. (2005), práticas inadequadas de manejo, condições climáticas desfavoráveis, associadas ainda ao tipo de solo da região, fazem com que esses processos se intensifiquem mais no Semiárido brasileiro.

A FAO (2011) recomenda o uso de práticas agrícolas inovadoras, como a agricultura de conservação, sistemas agroflorestais e integração da produção vegetal e pecuária, buscando a eficiência da produção de forma a garantir a segurança alimentar e combater a pobreza, restringindo ao mesmo tempo os impactos sobre os ecossistemas.

O Semiárido pernambucano, mais precisamente na região do Polo Gesseiro do Araripe em Pernambuco, considerada a maior em jazida de gipsita e produção de gesso, representando 95% da produção total do Brasil, tem passado por intensas ações antrópicas, isso porque, essa região tem como principal fonte de energia para a calcinação da gipsita a lenha advinda da Caatinga (GADELHA et al., 2015; REZENDE, 2017).

A demanda por retirada da vegetação nativa para a produção de lenha visa atender os diferentes setores econômicos, entre eles: calcinadoras de gipsita, padarias, queijeiras, casas de farinha, cerâmicas, caieiras de tijolo, matadouro, indústria do doce, comércio e uso doméstico (FONTINELE, 2016). A economia da região se baseia ainda, segundo Gadelha (2010), em culturas de subsistência nas áreas de sequeiro, na pecuária extensiva, agricultura e na apicultura.

Todos esses aspectos fazem com que Fontinele (2016) considere a região uma área de grande pressão antrópica sobre os recursos naturais, resultando em áreas degradadas, o que tem tornado a região do Araripe susceptível à desertificação e, conseqüentemente, reduzindo a capacidade produtiva do solo (REZENDE, 2017).

Portanto, há a necessidade de estratégias para conter essa devastação florestal. Segundo Joseffa (2016), uma alternativa para a redução do desmatamento na região passa pela utilização de espécies de rápido crescimento e com um grande potencial energético. Essas florestas, em função de suas características como crescimento volumétrico superior às espécies nativas, possibilitam a diminuição do uso das espécies nativas como fontes energéticas, pois atendem à demanda da indústria em curto espaço de tempo se comparada com a vegetação nativa.

Uma cultura apta a ser utilizada nesses plantios é pertencente ao gênero *Eucalyptus*, que é originário da Austrália (LIMA, 1996). Devido seu amplo número de espécies, esse gênero apresenta diversas utilidades como, por exemplo: lenha e carvão vegetal, papel e celulose, painéis de madeira, compensados, dormentes, postes,

construção civil e óleos essenciais usados na indústria farmacêutica; em função do seu rápido crescimento, adaptabilidade e qualidade da madeira (VALE et al., 2014; FONTINELLE, 2016). Entretanto, sua introdução no Polo Gesseiro do Araripe deve ser direcionada principalmente para a matriz energética local (SILVA, 2008/2009). Desta forma, a importância da sua utilização é notória e tem mostrado maior produtividade e rendimento energético que a Caatinga (EMBRAPA, 2003; GADELHA, 2010; GADELHA, 2014).

A expansão agrícola, como foi exposto inicialmente, mais precisamente a cultura da mandioca, tem provocado também diversos problemas ambientais. De acordo com Kehl (2015), os sistemas de uso e manejo dos solos podem influenciar a sustentabilidade e a produtividade dos ecossistemas agrícolas, por meio da degradação de propriedades do solo, que determinam o desenvolvimento e a produtividade das culturas, com impactos na produção agrícola e no meio ambiente

Diante deste cenário, espera-se que o uso e a seleção dos principais atributos físicos indicadores de qualidade dos Latossolos Amarelos na Chapada do Araripe, cultivados sob diferentes coberturas vegetais, gerem informações que possam ser usadas para a melhor tomada de decisão sobre a recuperação dessas áreas, indicando formas alternativas para o combate da sua atual degradação e, por consequência, contribuindo para a recuperação e conservação do solo e melhoria da qualidade de vida das famílias da região da Chapada do Araripe.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a qualidade dos Latossolos na Chapada do Araripe sob diferentes coberturas vegetais e desenvolver um índice de qualidade do solo e aplicá-lo para classificar as áreas experimentais da Chapada do Araripe quanto à sua degradação estrutural.

### **2.2 Objetivos Específicos**

a) Determinar os atributos físicos dos Latossolos Amarelos na Chapada do Araripe sob diferentes coberturas vegetais;

- b) Definir os indicadores que são mais sensíveis para se avaliar a qualidades dos Latossolos Amarelos na Chapada do Araripe sob diferentes coberturas vegetais;
- c) Desenvolver, a partir da definição dos indicadores acima, um Índice de Qualidade do Solo;
- d) Aplicar o Índice de Qualidade do Solo às áreas com diferentes tipos de usos e manejos.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 A Degradação do Solo**

Dentre diversos conceitos existentes sobre o fenômeno da desertificação destaca-se o conceito apresentado por Ab' Saber (1977), baseado nos estudos realizados no semiárido, enfocando a temática desertificação como processo resultante de variações climáticas e de ações humanas, que conduz ao empobrecimento dos ecossistemas e consequente redução da produtividade agrícola com comprometimento da qualidade de vida das populações das áreas afetadas, evidenciando a complexidade deste fenômeno (SILVA, 2016).

No Brasil, o Plano Nacional de Combate à Desertificação (PNCD) considerou que a grande maioria das terras suscetíveis à desertificação se encontra nas áreas semiáridas e sub-úmidas do Nordeste e segundo o PNCD esse número chega a 181.000 km<sup>2</sup> (aproximadamente 20% da área).

Além da fragilidade natural motivada pelas características dos seus solos e pelas condições climáticas, há ainda a interferência humana; e entre as causas comuns de degradação estão o desmatamento indiscriminado, as queimadas e o sobrepastejo de caprinos e ovinos (BALBINO et al., 2011).

Segundo Sampaio et al. (2003) e Marin et al. (2012), o processo de degradação quase sempre se inicia com o desmatamento e a substituição da vegetação nativa por outra cultivada, de porte e/ou ciclo de vida diferente. Assim, a vegetação arbustiva e arbórea da Caatinga é substituída por pastos herbáceos ou culturas de ciclo curto. O cultivo continuado, com a retirada dos produtos agrícolas, sem reposição dos nutrientes retirados, acrescido do manejo inadequado desse solo, levam à perda da fertilidade, que por sua vez levam à degradação.

Embora os sinais de degradação nessas áreas sejam evidentes, a organização em um sistema de indicadores quantitativos, do avanço do processo de perda da qualidade

ainda é pequena. O único indicador aceito de forma geral é a “cobertura vegetal”, que quando baixa, é um indicador que sinaliza o início do processo de degradação (MARIN, 2012).

No caso dos indicadores do solo a situação ainda é mais crítica, comparativamente aos aspectos ambientais, econômicos e sociais que já foram considerados; o que tem resultado na inexistência de avaliações regionais do avanço da degradação, que sejam sistemáticas, metodologicamente seguras e conclusivas quanto à qualificação do avanço da desertificação (SAMPAIO e MENEZES, 2002).

### **3.2 Latossolos**

O solo é um sistema aberto entre os diversos geocossistemas do nosso Planeta, que está constantemente sob ação de fluxos de matéria e energia. Essa condição o torna um sistema dinâmico, ou seja, o solo evolui, se desenvolve e se forma de maneira contínua no ambiente em que está inserido (EMBRAPA, 2014).

A formação do solo é dada pela interação de fatores do ambiente ao longo do tempo e de acordo com os atuais fundamentos da Pedologia, onde expressam que, a interação dos fatores de formação do solo, sob a atuação da dinâmica interna do sistema solo e de processos pedogenéticos específicos para um determinado pedoambiente, faz com que os solos tenham propriedades e características próprias, que exercem suas funções na paisagem em que se inserem (EMBRAPA, 2014).

Segundo a Cartilha Solos do Nordeste, da EMBRAPA (2014) os Latossolos são bem desenvolvidos, profundos e bem drenados com horizonte B latossólico (Bw). Apresentam características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas uniformes no perfil. Exibem cores vermelhas, vermelho-amarelas, amarelas, acinzentadas ou brunadas. Ocorrem comumente em relevo suave ondulado a plano. Sua sequência de horizontes é do tipo A – Bw – C.

Os Latossolos apresentam boa capacidade de armazenamento de água e efluentes, e bom potencial para uso com mecanização agrícola e agricultura irrigada. Possuem fertilidade natural baixa, problemas com fixação de fósforo e coesão natural em alguns indivíduos amarelos, notadamente àqueles que ocupam a região dos Tabuleiros Costeiros. São utilizados largamente como substrato para produção agrícola intensiva, pastagem, silvicultura, base para construção de rodovias e casas, e aterro sanitário, no caso dos argilosos (EMBRAPA, 2014).

Os Latossolos Amarelos (LA) encontram-se espalhados em muitas áreas do Brasil. Sua maior expressividade e continuidade de área encontra-se nos platôs litorâneos e amazônicos onde normalmente desenvolvem-se a partir de sedimentos do Grupo Barreiras (Plio-pleistoceno) e Formação Alter do Chão (Cretáceo) (KER, 1997).

No entanto, apesar da importância dessa classe de solos para o cenário agrícola nacional, pesquisas relativas a esse tipo de solo, na região semiárida, são escassas, principalmente na Chapada do Araripe, onde ocorrem nas regiões de topo da Chapada.

### **3.3 Qualidade de Solos**

O termo qualidade do solo começou a ser discutido a partir da década de 90 quando a comunidade científica adotou, em suas publicações, temas relacionados com degradação, sustentabilidade e função do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Assim, surgiram vários conceitos de qualidade de solo, e de acordo com Karlen et al. (1997) o conceito de qualidade do solo proposto pela sociedade americana de ciência do solo é o mais aceito.

A qualidade do solo é um conjunto complexo de características e condições que é difícil de ser medida de forma direta (ISLAM, 2000). Por esse motivo, se tem o estabelecimento de indicadores apropriados, servindo de referência para comparação e determinação de qualidade de solo (ARAÚJO et al., 2012). Para Silva et al. (2015) a determinação dos atributos de qualidade de um solo de referência, tem contribuindo para a avaliação de processos modificadores da qualidade de solos. Arshad e Martin (2002) destacam a importância de conhecer os indicadores de qualidade do solo, para que se possa monitorar mudanças ocorridas no solo e determinar melhorias ou ressaltar ideias sobre a degradação da qualidade do solo.

Para Pezarico et al. (2013), as propriedades do solo mais adequadas para serem utilizadas como indicadoras de sua qualidade, em função do uso e manejo adotados, são aquelas que melhor respondem às variações do ambiente. Nascimento et al. (2014) destacam que os atributos do solo que melhor detectam as modificações pelos diferentes usos, podem ser determinados e monitorados para avaliar a sustentabilidade e melhoria dos solos. Tais atributos, dão informações importantes sobre a qualidade do solo, além de servir para o estabelecimento de índices de segurança dessa qualidade e saber qual manejo e uso são adequados a determinado tipo de solo, destacando as áreas em processos degradativos, como é o caso de solos do semiárido (FILHO, 2015).

A identificação de indicadores sensíveis aos diferentes impactos no solo é fundamental para comparação das diversas práticas de manejo e análise do comportamento e qualidade do solo (MARCHÃO et al., 2007).

Diante disso, a qualidade do solo tem sido avaliada, constantemente, por meio das alterações nos seus atributos provocadas pelos diferentes sistemas de usos e manejos inadequados (NEVES et al., 2007). Segundo Dexter (2004), usualmente a qualidade do solo é considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico.

Para se monitorar a qualidade do solo e sua dinâmica, foram desenvolvidos índices de qualidade do solo baseados em propriedades ou indicadores físicos, químicos e biológicos. Assim, os impactos detectados podem ser mitigados, permitindo assim, manter o provimento dos bens e serviços no solo (RICKLEFS, 2003; ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007)

### **3.4 Indicadores de Qualidade de Solos**

A qualidade do solo é uma expressão ampla e complexa, não podendo ser medida de forma direta (ISLAM e WEIL, 2000). Nesse sentido, a qualidade do solo, em sistemas agrícolas, florestais e naturais, tem sido mensurada por meio de indicadores apropriados e pela sua comparação com valores referenciais (ARAÚJO et al., 2012). Segundo Silva et al. (2015), o processo de modificação da qualidade do solo tem sido avaliado pela comparação dos atributos do solo em estudo com outro solo tido como referência, com mínima interferência antrópica.

Arshad e Martin (2002) afirmaram que é importante conhecer os indicadores de qualidade do solo em vários tipos de biogeocenoses, para acompanhar mudanças ocorridas no solo e determinar propensões de melhoria ou degradação da sua qualidade.

Filho (2015) e Arruda et al. (2015), comparando áreas com diferentes usos e manejos do solo com a vegetação nativa (Caatinga), comprovaram que esses sistemas influenciaram os valores médios dos atributos químicos e físicos do solo, reduzindo sua qualidade.

Andrade e Stone (2008) afirmaram que existe uma relação entre os atributos físicos do solo com os processos degradativos e os sistemas de manejo do solo, tornando esses atributos importantes na busca por uma agricultura sustentável. Dentre as propriedades físicas mais utilizadas se destacam: estrutura, densidade do solo, porosidade, condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração (SILVA, 2013).

Do ponto de vista das atividades agrícolas, os indicadores físicos assumem um papel importante, por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como a taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão, onde estes possuem também função essencial no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo (EMBRAPA, 2006). Ainda de acordo com a (EMBRAPA, 2006), entre os principais indicadores físicos de qualidade de solo sob o ponto de vista agrícola, estão a textura, estrutura, resistência do solo à penetração de raízes, profundidade de enraizamento, capacidade de água disponível, percolação ou transmissão da água e sistema de cultivo.

Na região do Araripe, a busca por um conjunto de indicadores de solo que possa avaliar a qualidade do ambiente tem se tornado prioritária para a conservação do Bioma Caatinga, seja por causa de sua exploração energética, introdução de novas biomassas exóticas ao bioma ou mesmo pelo uso agrícola com mandioca, monocultura comum na região (REZENDE, 2017).

Diante disso, é importante que na região do Araripe se busque estudar e conhecer os indicadores físicos de qualidade do solo que sejam mais impactantes para sua degradação, relacionando-os com os diferentes usos e manejos a que estes solos estão sendo submetidos, tendo em vista ser uma região de grande impacto econômico para o Nordeste, que precisa ser observada com a atenção necessária, visando seu desenvolvimento de forma sustentável.

### **3.5 Os Atributos Físicos do Solo**

De acordo com EMBRAPA (2012), a textura do solo corresponde à proporção de partículas de diferentes tamanhos em determinada massa de solo, ou às proporções das frações de areia, silte e argila em uma dada massa de solo. Essas partículas, têm influência direta na susceptibilidade à compactação, na disponibilidade hídrica, na capacidade de troca de cátions e na aeração do solo (KLEIN et al., 2013).

A textura do solo serve como propriedade de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo, onde o material de origem e os agentes de formação do solo têm forte contribuição na condição textural dos solos, sendo a argila a fração mineral que mais influencia na estrutura e formação de agregados (FERREIRA, 1993).

Um dos métodos de determinação da granulometria do solo é o do densímetro, que tem como princípio a taxa de sedimentação de partículas sólidas (areia e silte), relacionadas ao tamanho desses sólidos (DAY, 1965; GEE e OR, 2002).



A densidade do solo ( $D_s$ ) é a medida quantitativa mais direta da compactação (CAMARGO e ALLEONI, 2006), e é calculada como a razão da massa do solo seco por unidade de volume. Está relacionada às propriedades como infiltração e retenção de água, e processos importantes como o crescimento radicular (GROSSMAN e REINSCH, 2002; STOLF et al., 2011).

Um dos métodos para a determinação da  $D_s$  é o do anel volumétrico, que consiste, inicialmente, em usar amostra não deformada, coletada em anel volumétrico (de aço inoxidável) com auxílio de um amostrador tipo Uhland, com objetivo de se obterem amostras de solo com um mínimo de perturbação em relação à sua estrutura natural. Autores comentam sobre a importância de se levar em consideração a umidade da amostra no momento da coleta, para que esta não esteja acima do ponto de friabilidade e ocorra compactação do solo, ou, quando seco, promover fraturas ou cisalhamento, devido aos impactos do amostrador durante o processo de inserção do anel ao solo (BLAKE e HARTGE, 1986).

Os resultados de  $D_s$  afetam diretamente o espaço poroso do solo, que é a parte ocupada pela água e pelo ar (AZAMBUJA, 1996). Por sua vez, a porosidade do solo interfere na resistência à penetração, ramificação das raízes no solo, aeração, condução e retenção de água, fatores estes que controlam a movimentação da água através do solo, estabelecendo faixas de disponibilidades de água para as plantas, comandando, também, a drenagem do solo (REINERT e REICHERT, 2006; TOGNON, 1991).

A porosidade do solo ( $P$ ) é uma propriedade física definida pela relação entre o volume de poros do solo e o seu volume total (TEIXEIRA et al., 2009). Ela pode também ser estimada a partir da relação entre a densidade do solo ( $D_s$ ) e a densidade de partículas sólidas ( $D_p$ ), pela expressão conhecida como equação de Veihmeyer ( $P = 1 - D_s/D_p$ ).

A porosidade influencia tanto na aeração como no fluxo de água do solo e também nos processos de trocas entre o solo e a atmosfera (FLINT e FLINT, 2002). Reforçando essas ideias, Rezende (1997) destacou que, com a grande variação de poros, ocorre uma influência na produtividade das culturas, pois interfere nas relações entre drenagem, teor de água disponível para as plantas, absorção de nutrientes, penetração de raízes, aeração e temperatura.

Os tipos de poros dos solos têm sido classificados não apenas em relação ao seu tamanho, mas, principalmente, pela função que cada um desempenha no sistema solo. Desse modo, os macroporos, formados entre unidades estruturais, têm função de infiltração, responsáveis pela drenagem da água gravitacional, além de acomodar raízes

e habitat de certos animais no solo. Os mesoporos têm como função a redistribuição da água no solo, fácil disponibilidade às plantas e também acomoda algumas raízes mais finas. Os microporos, formados dentro das unidades estruturais, têm como função a retenção da água no solo, mas sua disponibilidade às plantas é mais difícil. Já os criptoporos têm como função o armazenamento de água no solo, não a disponibilizando para as plantas (BREWER, 1964).

Os procedimentos de determinação da macro e mesoporosidade se dão por meio do uso da mesa de tensão (ROMANO et al., 2002); e os micro e criptoporos podem ser obtidos por meio da câmara de Richards (DANE e HOPMANS, 2002).

A água disponível no solo para as plantas pode ser definida como o conteúdo de água equilibrado entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (DANE e HOPMANS, 2002). O ponto de murcha permanente é atingido quando a umidade do solo proporciona a murcha irreversível das plantas e não há mais a recuperação da turgescência das folhas (BRIGGS e SHANTZ, 1912), a um potencial mátrico de 1500 kPa. Já a capacidade de campo é tida como o conteúdo de água retida no solo após o excesso de água ter sido drenado (MEYER e GEE, 1999), podendo ser determinada via câmara de Richards, a um potencial mátrico de 33 kPa, para solos argilosos (COLMAN, 1947); e de 10 kPa, para solos de textura mais grosseira (CASSEL e NIELSEN, 1986).

A condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ) está relacionada a outros atributos do solo, tais como: a porosidade total; distribuição dos poros e sua forma; bem como as substâncias que podem afetar a viscosidade da água e, conseqüentemente, a  $K_{sat}$  (HILLEL, 1971). Para Reichardt (1978), a  $K_{sat}$  atinge seu maior valor quando o solo se apresenta em condições de saturação, diminuindo com a redução da umidade do solo. A  $K_{sat}$  de solos está diretamente associada à sua porosidade, pois a movimentação da água nos poros do solo se dá pelos vazios interconectados, pelos quais a água pode fluir de pontos de alta energia para pontos de baixa energia (DAS, 2007).

A  $K_{sat}$  pode ser obtida a partir de ensaios em campo ou em laboratório. Na sua determinação são aplicados métodos diretos e indiretos, e sua escolha dependerá das condições e finalidades da pesquisa. Os métodos indiretos são aqueles que estimam a  $K_{sat}$  a partir de funções de pedotransferência, relacionando-a com certas propriedades do solo, tais como: a distribuição e tamanho dos poros; textura; densidade do solo, dentre outras. Já os métodos diretos são aqueles realizados em laboratório ou em campo (MARQUES et al., 2008).

A estrutura do solo é um dos atributos mais importantes do ponto de vista agrícola (CORRÊA, 2002). O uso, o manejo, o nível e o tempo de utilização de um solo, promovem alterações nas propriedades do solo, destacando-se na estrutura, que está relacionada com a agregação, que por sua vez está relacionada com o controle dos movimentos internos de água, ar e calor e o crescimento de raízes (BALESDENT et al., 2000; WENDLING et al., 2005).

A agregação estável do solo tem forte influência das raízes das plantas, pois estas promoverem suprimento de resíduos orgânicos para o solo (OADES, 1978), onde, pela ação microbiana, são liberados exsudatos orgânicos, que são os prováveis agentes efetivos na estabilização de agregados (TISDALL e OADES, 1979; REID e GOSS, 1981), envolvendo assim fisicamente os microagregados do solo, formando e estabilizando os macroagregados (TISDALL e OADES, 1979).

Segundo Carpenedo e Mielniczuk (1990); Paladini e Mielniczuk (1991) a utilização de gramíneas aumenta a estabilidade dos agregados do solo (EA), quando comparada à utilização de leguminosas. A estabilidade de agregados do solo é a capacidade de um solo em manter seu arranjo de sólidos e poros, após a aplicação de um estresse mecânico ou de forças destrutivas (DIAZ-ZORITA et al., 2002).

De acordo com Klein (2012) a estabilidade de agregados é especialmente importante, porque determina a estabilidade da porosidade originada por preparos de solo, bem como a suscetibilidade do solo à erosão. Quanto maiores e mais estáveis forem os agregados, mais resistente será a estrutura do solo às mudanças de suas porosidade e densidade. A manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade e, conseqüentemente, de uma boa estrutura, é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas (CORRÊA, 2002).

Assim, de acordo com Vezzani (2001), os solos que apresentam maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação. Um dos métodos para a determinação da EA é o peneiramento por via úmida, conforme descrito em Nimmo e Perkins (2002).

Com relação à resistência do solo à penetração de raízes (RP), Pedrotti et al. (2001) afirmam que essa propriedade física quantifica a resistência que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Seus valores são influenciados por outros atributos do solo, como: textura; densidade do solo; matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da sua determinação (STOLF et al., 1983; BUSSCHER et al., 1997).

A densidade e a umidade do solo são as duas propriedades mais utilizadas para se avaliarem as condições físicas do solo em relação aos valores críticos de resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes, por possuírem forte correlação e assim auxiliando na elaboração de novas estratégias de manejo para se minimizarem esses efeitos (IMHOFF et al., 2000; PEREIRA et al., 2002; PATRIZZI et al., 2003). A RP pode ser determinada em campo e em laboratório; neste último caso, via penetrômetro de bancada, sob umidade controlada (MARCELO et al., 2016).

### **3.6 Influência dos Sistemas de Manejos na Qualidade dos Solos**

A influência do sistema de preparo e manejo sobre uma série de características físicas do solo tem sido investigada por vários autores (MEDEIROS et al., 2009). Os atributos físicos do solo sofrem interferência dos sistemas de manejo a que estão submetidos. Esta interferência pode ser positiva, onde os atributos são mantidos ou melhorados; e negativa, quando seus índices são próximos ou estão abaixo daqueles considerados limitantes ao crescimento das plantas (KEHL, 2015).

Em geral, os solos em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresentam características físicas, como permeabilidade, estrutura,  $D_s$  e espaço poroso desejável, sendo estes os parâmetros mais estudados, pois são os que afetam a capacidade de armazenamento de água no solo (MEDEIROS et al., 2009).

Entretanto, à medida que os solos vão sendo trabalhados, consideráveis alterações físicas ocorrem. Lima et al. (2013) afirmam que tais alterações podem estar associadas à formação de camadas compactadas. Cunha et al. (2011) e Lima et al. (2013) avaliaram atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo e concluíram que o uso intensivo do solo promove compactação subsuperficial, indicada pela redução da relação macro/microporos, acompanhada pelo aumento da densidade do solo (OLIVEIRA et al., 2015).

Para Cunha et al. (2011) uma das formas de se obterem melhorias na qualidade estrutural do solo é por meio da adição de matéria orgânica ao solo, e obviamente sua conservação. Esta ação pode trazer não só benefícios químicos, mas também melhoria na qualidade física do solo. A matéria orgânica pode reduzir a densidade do solo, elevar o volume de poros e favorecer a infiltração e aeração para desenvolvimento das plantas.

### **3.7 Índices de Qualidade do Solo e Sua Aplicação na Avaliação dos Impactos do Uso e Manejo do Solo**

Um índice revela o estado de um sistema, podendo ser construído para se analisarem dados por meio da união de elementos com relações estabelecidas. Um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações. Um bom índice ou indicador deve conter atributos como simplicidade, quantificação estatística, ser lógico e comunicar o estado do fenômeno observado (SICHE et al., 2007).

Quando se trata da qualidade do solo, se destaca a necessidade de um conjunto de parâmetros ou indicadores físicos, químicos e biológicos, para a obtenção de um índice confiável. Este índice deve diagnosticar a condição atual dos solos, estimar sua degradação, e permitir a avaliação do impacto do uso e manejo do solo na qualidade do recurso (CONCEIÇÃO et al., 2005; BARRIOS et al., 2012).

Estudos feitos por Doran e Parkin (1994) mostraram que um índice de qualidade do solo deve integrar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ser acessível a diferentes usuários e aplicável a distintas condições de campo e ser sensível a variações do uso e manejo do solo e do clima ao longo do tempo (GLOVER; REGANOLD; ANDREWS, 2000). Entretanto, segundo Freitas et al. (2012), estudos relacionados à qualidade do solo em áreas sob diferentes sistemas de manejo são ainda escassos na literatura (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Atualmente, há esforços na comunidade acadêmica tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade do solo, e com isso diversos trabalhos têm sido conduzidos com o objetivo de se identificarem os atributos indicadores da qualidade do solo (FREITAS, et al., 2015), e avaliar o efeito integrado dos mesmos, expressos por meio de índices (ARAÚJO et al., 2007; MELO FILHO et al., 2009).

Segundo Chaer (2001), essa quantificação e integração dos indicadores em um Índice de Qualidade do Solo (IQS), permitem que se apontem as mudanças para qual a qualidade do solo está caminhando. O uso de modelos para determinação de IQS permite uma avaliação conjunta entre as características do solo ou indicadores de qualidade e a sua relação com as principais funções do solo no ecossistema.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização do Meio Físico

O projeto foi desenvolvido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizada na região do Araripe, no Município de Araripina, no semiárido de Pernambuco, com coordenadas geográficas de posição 07°29'00" S e 40°36'00" W e uma altitude de 831 m (LIMA FILHO et al., 2012). A pesquisa foi realizada em áreas de topo da Chapada do Araripe (07° 27' 32" S e 40° 24' 55" W), mais precisamente (Figura 1).



Figura 1- Localização das quatro áreas experimentais, no topo da Chapada do Araripe

O clima regional predominante é do tipo BShw', semiárido quente, conforme a classificação de Köppen, clima quente e seco das baixas latitudes, com chuvas de verão, com uma precipitação média anual de 750 mm, concentrada entre os meses de dezembro a março representando mais de 80% do total anual, o que provoca deficiências hídricas que se acumulam a partir do mês de maio até o mês de outubro (ARAÚJO, 2004).

A vegetação constitui-se basicamente de Caatinga hipoxerófila, com trechos de floresta caducifólia, e outros de Floresta Caducifólia, relevo plano (CPRM/PRODEEM, 2005).

Dentro desses limites, os solos já foram identificados como Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, textura franco-arenosa, e para isso, em 2016 foi aberto um perfil em cada área de estudo, suficientemente considerado para tipificar os Latossolos da parte

alta da Chapada do Araripe. Em seguida, foram realizadas coletas de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada em cada horizonte, para as análises físicas e químicas. Além disso, foi realizada análise morfológica e classificação do solo, disponibilizada nos apêndices, de acordo com Santos et al. (2013).

Foram selecionadas quatro áreas de modo a representar quatro situações distintas: a primeira, sob vegetação nativa com Caatinga preservada, que servirá de referencial comparativo com os demais tipos de coberturas vegetais; a segunda, em área sob vegetação nativa, com Caatinga degradada; a terceira, em área sob monocultivo da mandioca; e a quarta, em área sob cultivo agro energético com eucalipto.

#### 4.1.1- Área sob vegetação nativa preservada

A área sob vegetação nativa preservada (Figura 2), com 20 hectares, possui coordenadas geográficas de 7° 25' 36" S e 40° 25' 50" W e 837 metros de altitude. A vegetação dessa área serviu de referência para comparação com os demais tipos de coberturas vegetais. Se constituiu basicamente de Caatinga Hipoxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. As espécies encontradas com maior frequência foram: condurú-branco (*Oxandra reticulata*), calumbí (*Mimosa arenosa*), bananinha (*Annona leptopetala*), camunzé (*Pithecolobium polycephalum*), espinheiro (*Sideroxylon obtusifolium*), pinha brava (*Annona leptopetala*), canafístula (*Senna Spectabilis*), pereiro preto (*Aspidosperma pyrifolium*) e pau branco (*Auxemma onocalyx*), dentre outras.



Figura 2- Fotografias da área sob vegetação nativa de Caatinga preservada, com detalhes: à esquerda, no interior da Caatinga; à direita, área descoberta, contígua à Caatinga.

#### 4.1.2 Área sob vegetação nativa degradada

A área sob vegetação nativa degradada (Figura 3) ocupa cerca de 2 hectares. A área possui coordenadas geográficas de 7° 27' 52" S e 40° 25' 3" W e uma altitude de 830 metros. É uma área de vegetação nativa, com baixa regeneração natural, onde em passado distante, houve exploração de madeira para ser usada como lenha pelas calcinadoras de gesso e para produção de farinha de mandioca, além de relato histórico do plantio de caju. A vegetação se constituiu basicamente de Caatinga Hipoxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. As espécies vegetais encontradas com maior frequência foram as mesmas da área com vegetação nativa preservada. Foi observado, in loco, a presença de crostas com espessura de aproximadamente 1 cm, provocada pelo escoamento superficial e a presença de corredores de animais. Na Figura 3, imagem da esquerda, observou-se que a área se encontrava em estado de degradação e após outra visita (6 meses depois), observou-se que a área estava em recuperação, como pode ser observado na imagem à direita.



Figura 3- Fotografia da área degradada no ano de 2017 (à esquerda), e em estado atual de pousio (à direita).

#### 4.1.3- Área sob o monocultivo de mandioca

A área sob monocultivo da mandioca (Figura 4), abrangeu aproximadamente 1 hectare, de um total de 30 ha, com coordenadas geográficas 7° 27' 40" S e 40° 25' 21" W e 828 metros de altitude.





Figura 4- Fotografia da plantação de mandioca no ano de 2017 (à esquerda); e após a colheita, sob gradagem, no ano de 2019 (à direita).

O local foi desmatado no ano de 1995, onde a vegetação nativa foi derrubada, queimada e preparada para o plantio de mandioca. Os tratamentos culturais realizados na área consistem apenas de capina, corte manual e, eventualmente, uso de defensivos agrícolas. A capina é realizada de 3 a 4 vezes por ano (7 a 8 capinas por ciclo) e a colheita é realizada a cada 18 meses. Logo após o corte, o material vegetal é posto sobre o solo até o início do outro plantio, sendo posteriormente incorporados ao solo pela prática da aração e gradagem do solo. Logo após a colheita, o solo é preparado para novo plantio. Na Figura 4, a imagem à esquerda foi obtida durante o plantio da mandioca, e a da direita, registrada um ano após a primeira, onde já havia sido feita a colheita e eventual aração e gradagem do solo na área.

#### 4.1.4 Área sob o uso agro-energético de eucalipto

A área sob plantio de eucalipto (Figura 5) representou cerca de 1 hectare, de um total de 4 hectares, com coordenadas geográficas  $7^{\circ} 27' 40''$  S e  $40^{\circ} 24' 39''$  W e com elevação de 828 metros.



Figura 5 - Fotografia dos eucaliptos cultivados no ano de 2017 (à esquerda); e, à direita, parte da área sem cobertura vegetal, após colheita, no ano de 2019.

Há mais de 40 anos, o local foi desmatado, queimado e preparado para cultivo de mandioca, mamona e feijão, respectivamente. Em 2005, foi introduzido o eucalipto. Para o plantio do eucalipto, foi realizada aração e gradagem e o plantio foi realizado em cova. Os tratos culturais realizados na área consistem apenas de capina, coroamento e roço mecânico. Vale ressaltar que o material vegetal remanescente dos tratos culturais, colheita e serrapilheira das plantas de eucalipto, é posto sobre o solo, servindo como cobertura morta. Na Figura 5, observa-se na imagem à esquerda a área experimental de eucalipto no ano de início do projeto; e na imagem à direita, um ano após a primeira visita, onde pode-se observar parte da área experimental já desmatada.

#### **4.2 Caracterização dos Perfis de Solo**

Em 2016 foi aberto um perfil em cada área de estudo (Figura 6), que foi considerado suficiente para tipificar os Latossolos da parte alta da Chapada do Araripe. Em seguida foram realizadas coletas de amostras de solo com estrutura deformada e indeformada em cada horizonte, para posterior análises.

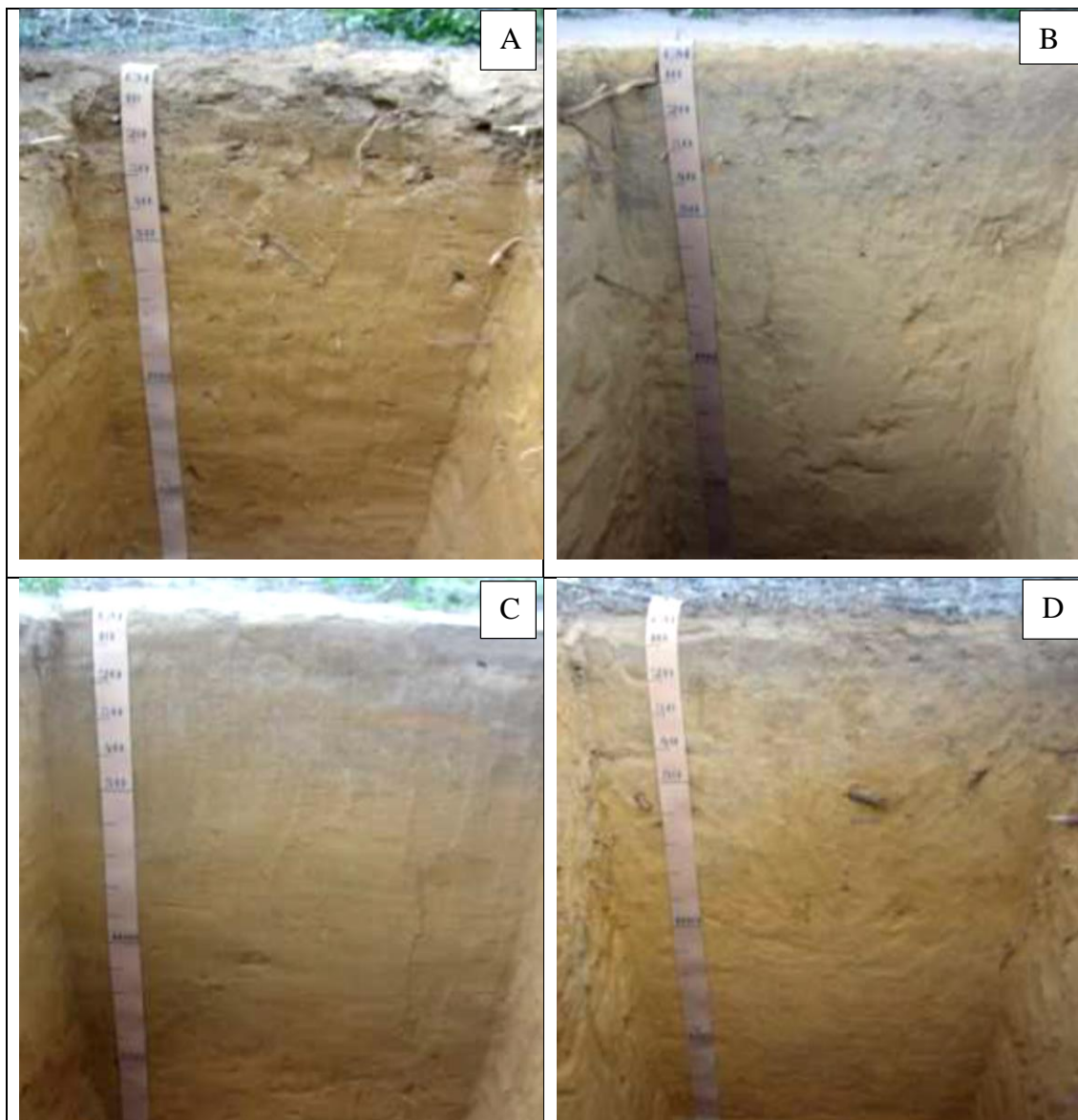


Figura 6 - Fotografias dos perfis de solo das áreas estudadas, sendo: A) Área sob vegetação nativa preservada (AP); B) Área sob vegetação nativa degradada (AD); C) Área sob monocultivo de mandioca (AUC); e D) Área sob uso agro-energético de eucalipto (AE). Fonte: Adaptada de Rezende (2017).

### 4.3 Amostragem do Solo

Inicialmente foi determinado o número de amostras a serem coletadas em cada área, necessárias para representar com exatidão, a um nível estatístico pré-determinado, cada atributo do solo avaliado. Para isso, foi realizada uma amostragem sistematizada de caracterização de acordo com o tamanho da área, variação do ambiente e características das variáveis. Para os atributos físicos do solo foram amostrados seis pontos, sendo quatro em cada vértice e dois no centro de um quadrado de 100 x 100 m, nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10 – 0,20 m. Nestas profundidades, anéis volumétricos (com dimensões de 0,05 m de altura por 0,05 m de diâmetro) foram usados para se coletarem amostras

indeformadas (mantendo-se a estrutura do solo), inseridos ao solo com auxílio do amostrador tipo Uhland. A coleta em anel foi realizada em cada unidade amostral, obtendo-se 24 amostras por área, totalizando 192 anéis das quatro áreas. Foram coletados também agregados, de tamanho menores e maiores, retirados de toda a área, e revestidos com papel filme, para posterior análise em laboratório.

Nas mesmas profundidades e quantidades, foram coletadas amostras desestruturadas, destinadas à caracterização física (que será detalhado no próximo tópico). As amostras coletadas foram levadas para realização dos ensaios físico-hídricos no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Agronomia, Área de Solos, da UFRPE.

#### 4.4 Análise dos Atributos Físicos do Solo

Para determinar a granulometria dos solos, as amostras foram coletadas em cada um dos seis pontos preestabelecidos em cada área. As amostras deformadas foram levadas para realização do método do densímetro proposto em Gee e Or (2002), modificado e descrito por Almeida (2008), realizando-se apenas uma leitura, após dispersão da argila e 24h de repouso da agitação manual. Desse modo, foram obtidos os valores da areia, argila total (AT), sendo os da fração silte calculados por diferença [% Silte = 100 – (% Areia + % AT)].

Da mesma forma, foram determinadas as quantidades de argila dispersa em água (ADA), onde, a partir da relação entre os teores AT e ADA obteve-se o grau de flocculação  $\{GF_{(\%)} = [(\% AT - \% ADA) / \% AT] \times 100\}$ , sendo o grau de dispersão calculado por diferença  $[GD_{(\%)} = 100 - GF_{(\%)}]$ .

Para a condutividade hidráulica saturada, foram realizados ensaios em campo e em laboratório, este último via método do permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 2011). Já nos ensaios de campo, foi utilizado o Permêmetro de Guelph, para posterior comparação dos resultados obtidos sob os diferentes métodos e condições.

A  $D_s$  foi determinada pelo método do anel volumétrico (GROSSMAN & REINSCH, 2002) e a densidade de partículas sólidas do solo ( $D_p$ ) pelo método do picnômetro (FLINT & FLINT, 2002).

A resistência tênsil dos agregados (RT) foi realizada com auxílio de um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma tensão constante a uma taxa de 4 mm min<sup>-1</sup> até a ruptura dos agregados. O motor de propulsão, acoplado à célula de carga, conectada a uma chapa plana (disco com 2 cm de diâmetro por 1 cm de espessura), promove a ruptura tênsil, com a formação de uma fenda no agregado. Um

sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao agregado, necessária para sua ruptura.

Sabendo-se da influência da umidade nos resultados da RT, os agregados dos solos, antes da realização dos ensaios de resistência, foram mantidos sob mesmas condições, controlando-se temperatura e umidade do ar. Após a execução dos ensaios de ruptura, os agregados foram pesados e colocados em estufa (105°C, 24h), para calcular o conteúdo de água no momento do ensaio. A RT dos agregados foi calculada por meio da equação (1), como proposto em Dexter e Kroesbergen (1985).

$$RT = 0,576 \left( \frac{F_{m\acute{a}x}}{D_e^2} \right) \quad (1)$$

sendo: RT = resistência t\^ensil dos agregados (kPa); 0,576 o valor da constante de proporcionalidade da rela\~c\~ao entre a for\~ca compressiva aplicada e a resist\^encia t\^ensil gerada no interior do agregado; F<sub>m\acute{a}x.</sub>, a for\~ca m\acute{a}xima aplicada no ponto de fratura do agregado (N); D<sub>e</sub>, o di\^ametro efetivo de cada agregado (m).

Considerando que a densidade dos agregados dos solos \^e constante, o c\~alculo do di\^ametro efetivo (D<sub>e</sub>) foi realizado pela equa\~c\~ao (2), proposta em Watts e Dexter (1998).

$$D_e = D_m \left( \frac{M}{M_o} \right)^{0,333} \quad (2)$$

Sendo: D<sub>m</sub> = di\^ametro m\^edio dos agregados (mm), calculado pela m\^edia entre os valores das aberturas das malhas das peneiras utilizadas na separa\~c\~ao dos agregados (no caso, 25,4 e 19,0 mm); M = massa individual do agregado seco ao ar (g) e M<sub>o</sub> = massa m\^edia dos agregados na popula\~c\~ao (g).

A estabilidade de agregados foi medida pelo m\^etodo de peneiramento por via \^umida em aparelho de oscila\~c\~ao vertical do tipo Yooder, proposto por Kemper e Rosenau (1986), adaptadas por Nimmo e Perkins (2002), com algumas modifica\~c\~oes, comentadas a seguir. O aparelho tipo Yooder utilizado \^e composto por tr\^es recipientes cil\^indrico, inserindo-se um conjunto de cinco jogos de peneiras em cada recipiente (2,00 - 1,00 - 0,5 - 0,25 - 0,125 mm). Foram utilizados agregados com di\^ametro m\^edio de 5,93 mm (passados em peneira de 7,1 mm de malha e retidos na de 4,76 mm). Foram separados quatro subamostras de 25 g desses agregados, sendo tr\^es utilizadas no peneiramento por via \^umida, e uma para determina\~c\~ao do fator de corre\~c\~ao de umidade (fator “f”), corrigindo-se os pesos dos agregados secos ao ar para secos em estufa \^a 105°C.

Para o peneiramento via \^umida, as tr\^es subamostras dos agregados foram colocadas em papel filtro e saturada por capilaridade, durante 10 minutos, evitando-se assim o aprisionamento de ar dentro dos agregados. Depois da satura\~c\~ao, as subamostras

foram transferidas para o conjunto de peneiras, sendo depositados cuidadosamente na peneira superior, com 2,0 mm de malha. As subamostras ficaram submetidas ao peneiramento via úmida no aparelho com oscilações verticais por um período de 10 min.

Os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para latas de alumínio, com auxílio de jatos de águas fracas dirigidos ao fundo das peneiras, sendo esse material seco em estufa (105°C, por 24 h) e pesados, para determinação dos agregados estáveis em cada classe.

Quantificou-se os agregados retidos em cada peneira, além daqueles que passaram através da última (< 0,125 mm), obtendo assim seis classes de diâmetro médios: 3,38 - 1,5 - 0,75 - 0,375 - 0,1875 e 0,063 mm.

Os pesos obtidos foram usados nas equações (3), (4), (5) e (6) para os cálculos do DMP, DMG, IEA e AGRI, respectivamente.

$$DMP = \sum_{i=1}^n (x_i \cdot w_i) \quad (3)$$

em que: DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $x_i$  = diâmetro médio das classes (mm);  $w_i$  = proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG = e^{\sum_{i=1}^n \frac{w_i \log x_i}{w_i}} \quad (4)$$

em que: DMG = diâmetro médio geométrico (mm);  $w_i$  = peso dos agregados de cada classe (g)

$$IEA \left( \frac{\text{Peso da amostra seca} - w_{p,0,125}}{\text{Peso da amostra seca}} \right) \times 100 \quad (5)$$

em que: IEA = índice de estabilidade de agregados (%);  $w_{p,0,125}$  = peso dos agregados da classe < 0,125 mm;

$$AGRI = (w_u > 2) \times 100 \quad (6)$$

em que: a percentagem de agregados maiores que 2,0 mm estáveis em água;

Os ensaios de resistência do solo à penetração de raízes (RP) foram realizados em um penetrômetro eletrônico de bancada, com célula de carga de 20 kg, que aplica uma carga constante, a uma taxa de 4 mm min<sup>-1</sup>, por meio de uma agulha com base do cone de 4 mm. O motor de propulsão, acoplado a célula de carga, conectada a agulha, promove sua penetração na amostra do solo. Um sistema de aquisição de dados registra a força aplicada ao solo contido no anel volumétrico, necessária para penetração da agulha ao solo, responsável pela resistência à penetração. O modelo do penetrômetro usado nos ensaios possui software que já fornece os resultados de RP em MPa.

Durante a inserção da agulha nas amostras, foram coletados todos os dados de resistência registrados pela célula de carga, desde a superfície até 4,5 cm de profundidade, deixando-se 0,5 cm entre a agulha e a base do equipamento, devido ao efeito de bordadura. Por este mesmo motivo, foram descartados os dados referentes ao primeiro centímetro de penetração. Desse modo, para a obtenção do valor final da RT, foram consideradas as informações dos três centímetros centrais de cada amostra, utilizando-se a média dos valores da resistência à penetração de cada amostra. Após a obtenção da RP, as amostras foram secas em estufa (105 °C, por 24 h), para determinação do conteúdo de água em base volumétrica ( $\theta$ ) e da densidade do solo ( $D_s$ ).

A porosidade total foi determinada pelo método da saturação. Neste, os anéis volumétricos contendo solo saturado foram pesados, obtendo-se volume de poros. Este peso foi utilizado nos cálculos da umidade volumétrica de saturação ( $\theta_{\text{saturada}}$ ), que, por definição, pode ser considerada como a porosidade total da amostra ( $P$ ), conforme equação (7).

$$P = \frac{V_{\text{poros}}}{V_{\text{total}}} = \frac{V_{\text{água de saturação}}}{V_{\text{anel}}} = \theta_{\text{saturação}} \quad (7)$$

Em seguida à determinação do peso do solo saturado, os anéis volumétricos foram cuidadosamente transferidos para uma mesa de tensão, onde foram realizados os ensaios para determinação da macroporosidade ( $\theta_{0\text{kPa}} - \theta_{1\text{kPa}}$ ) e mesoporosidade ( $\theta_{1\text{kPa}} - \theta_{6\text{kPa}}$ ), além do cálculo da microporosidade, segundo procedimentos descritos em Oliveira (1968) e Romano et al. (2002). A classificação da distribuição do tamanho dos poros para a determinação da macro, meso e microporosidade teve como base a classe de poros segundo Prevedello (1996).

Com base nesta classificação, os anéis volumétricos contendo as amostras de solos foram submetidos a tensão de 10 cca (1kPa) até estabilizar as amostras. Esta tensão aplicada corresponde à energia para drenagem do volume de água presente nos macroporos, isto é, poros com diâmetro ( $\varnothing$ ) > 300  $\mu\text{m}$  (PREVEDELLO, 1996). Após o equilíbrio da tensão, os conjuntos anel-amostra foram pesados, determinando-se o volume de macroporos:  $V_{\text{macro}}$  (peso do conjunto equilibrado à 0 cca - peso do conjunto equilibrado à 10 cca), calculando-se a macroporosidade ( $\theta_{\text{macro}}$ ), conforme a equação (8), expressa em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{macro}} = \frac{V_{\text{macro}}}{V_{\text{solo}}} \quad (8)$$

Em seguida, os conjuntos anel-amostra foram transferidos novamente para a mesa de tensão, e submetidos à tensão de 60 cca (6kPa) até estabilização. Esta tensão

corresponde à energia para drenagem do volume de água presente nos mesoporos: poros com  $\varnothing$  entre 300 – 50  $\mu\text{m}$  (PREVEDELLO, 1996). Após o equilíbrio da tensão, os conjuntos anel-amostra foram pesados, determinando-se o volume de mesoporos:  $V_{\text{meso}}$  (peso do conjunto equilibrado à 10 cca - peso do conjunto equilibrado à 60 cca), calculando-se a mesoporosidade ( $\theta_{\text{meso}}$ ), conforme equação (9), expressa em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{meso}} = \frac{V_{\text{meso}}}{V_{\text{solo}}} \quad (9)$$

Após a determinação da mesoporosidade, os conjuntos anel-amostra foram repostos na mesa de tensão, para determinação da umidade na capacidade de campo para solos arenoso ( $\theta_{\text{CC}} \cong \theta_{\text{a}10\text{kPa}}$ ), sendo equilibrados à tensão de 10 kPa (100 cca). Após equilíbrio, os conjuntos anel-amostra foram pesados e secos à 105°C, obtendo-se o volume de água na capacidade de campo (peso do conjunto equilibrado à 100 cca - peso do conjunto equilibrado à 105°C). Como a textura dos solos em estudo é franco-argilo-arenosa, foi determinada também, a umidade na capacidade de campo para solos com textura mais argilosa ( $\theta_{\text{CC}} \cong \theta_{\text{a}33\text{kPa}}$ ). Para tanto, conjuntos anel-amostra foram submetidos à pressão de 33 kPa (330 cca), utilizando a câmara de Richards de baixas pressões (DANE e HOPMANS, 2002). As equações (10) e (11) foram usadas para calcular as  $\theta_{\text{CC}}$  para solos arenosos e argilosos, respectivamente, expressas em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{CC (arenosos)}} = \frac{V_{\text{água equilibra à 10kPa}}}{V_{\text{solo}}} \quad (10)$$

$$\theta_{\text{CC (argilosos)}} = \frac{V_{\text{água equilibra à 33kPa}}}{V_{\text{solo}}} \quad (11)$$

Ainda seguindo-se a classificação de Prevedello (1996) para distribuição de tamanhos de poros (DTP), foi determinado a microporosidade. Esta classe de poros foi subdividida em microporosidade devido aos espaços entre as estruturas do solo e/ou por ação biológica ( $\text{Micro}_{\text{E+B}} = \theta_{\text{microE+B}}$ ) e microporosidade textural ( $\text{Micro}_{\text{text}} = \theta_{\text{micro text}}$ ). Desse modo,  $\text{Micro}_{\text{E+B}}$  são poros com  $\varnothing$  entre 50 – 1  $\mu\text{m}$  (poros que drenam água entre 60 e 3.000 cca); e  $\text{Micro}_{\text{text}}$  são poros com  $\varnothing$  entre 1 – 0,2  $\mu\text{m}$  (poros com drenagem entre 3.000 e 15.000 cca). Assim, os conjuntos anel-amostra foram equilibrados de 300 kPa à 1.500 kPa utilizando a câmara de Richards de altas pressões, conforme Dane e Hopmans (2002). As equações (12) e (13) foram usadas para calcular a  $\theta_{\text{microE+B}}$  e  $\theta_{\text{micro text}}$ , respectivamente, expressas em  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ .

$$\theta_{\text{microE+B}} = \frac{V_{\text{microE+B}}}{V_{\text{solo}}} \quad (12)$$

$$\theta_{\text{micro text}} = \frac{V_{\text{micro text}}}{V_{\text{solo}}} \quad (13)$$



Completando a DTP, foi determinada a criptoporosidade ( $\theta_{cripto}$ ), seguindo a classificação de Klein e Libardi (2002), onde criptoporos são poros com diâmetro inferior à 0,2  $\mu\text{m}$  (sendo estes poros esvaziados com energia  $< 1.500 \text{ kPa}$ ). A  $\theta_{cripto}$  é numericamente igual à umidade no ponto de murcha permanente ( $\theta_{PMP}$ ). Desse modo, o volume de criptoporos ( $V_{criptoporos}$ ) foi calculado pela diferença entre o peso do conjunto anel-amostra equilibrado à 1.500 kPa e o peso do conjunto equilibrado à 105°C, conforme equação (14), expressa em  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

$$\theta_{cripto} = \frac{V_{criptoporos}}{V_{solo}} \quad (14)$$

A construção da curva característica de retenção da água no solo (CCRAS) descreve a relação entre o conteúdo de água no solo e a respectiva energia com a qual a água está retida nos poros do solo (potencial matricial de água no solo), podendo-se ser expressa à base de massa (U) ou de volume ( $\theta$ ).

Os dados da CCRAS, à base de volume, foram ajustados pela equação proposta por Van Genuchten (1980), conforme equação (15):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi)^n]^m} \quad (15)$$

em que:  $\theta$  é a umidade atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_r$  é a umidade residual ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\theta_s$  é a umidade de saturação ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\alpha$  é um parâmetro de dimensionamento, inversamente proporcional ao diâmetro médio dos poros ( $\text{cm}^{-1}$ );  $\Psi$  é a tensão com que a água está retirada no solo (kPa) e n e m são parâmetros empíricos da equação. Para o cálculo do valor de m, foi utilizada a expressão  $m = 1 - 1/n$  (Van Genuchten, 1980).

#### 4.5 Matéria Orgânica do Solo

Para determinação do Carbono Orgânico (CO) do solo (método Walkley-Black) usou-se o processo de oxidação úmida do carbono com dicromato de potássio em meio sulfúrico com aquecimento em chapa elétrica (adaptado conforme Embrapa, 1997). O cálculo do teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) foi calculado pela equação (16).

$$\text{C.O.} = [40 - (T \times f)] \times 0,6 \quad (16)$$

em que: T = volume de sulfato ferroso gastos na titulação da amostra de solo (mL); f, adimensional, é a razão entre 40 / volume de sulfato ferroso gasto na titulação da prova em branco.

O teor de matéria orgânica do solo (M.O, expresso em g kg<sup>-1</sup>), foi calculado pela equação (17), considerando-se que o húmus contém aproximadamente 58% de carbono.

$$M.O. = C.O. \times 1,95 \quad (17)$$

#### 4.6 Análises Estatísticas e Interpretação dos Resultados

Os dados gerados para os sistemas de manejo avaliados foram submetidos à one-way ANOVA (análise de variância) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). Os dados foram analisados utilizando-se o software para Microsoft Excel XLSTAT (versão 2018.5) e o erro padrão dos tratamentos foram usados na separação das médias (ADDINSOFT, 2018).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise Granulométrica (Argila, Areia e Silte)

Ao analisarmos os valores da granulometria, observamos que ocorrem diferenças nos valores de acordo com a área de estudo (Tabela 1). A área sob caatinga degradada foi a que apresentou a maior porcentagem de argila total (30,18%) e natural (23,13%), sendo a área sob Caatinga preservada a que apresentou os menores valores de argila total (20,13%) e natural (18,12%). Para a fração de silte, a área sob eucalipto foi a que apresentou o maior valor (10,11%), e os menores valores foram apresentados pelas áreas degradadas e de cultivo de mandioca, ambas com 3,02%. Já para a fração areia, os maiores valores foram encontrados nas áreas sob cultivo de mandioca e sob Caatinga preservada com 75,88 e 75,84%, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1 - Frações granulométricas do Latossolo Amarelo distrófico nas quatro áreas de estudo

Área	Frações Granulométricas					Classe Textural
	Areia Total	Silte	Argila		GF	
			Total	Natural		
	%					
Degradada	66,80	3,02	30,18	23,13	23,36	
Preservada	75,84	4,03	20,13	18,12	9,99	Franco-argilo-arenosa
Mandioca	75,88	3,02	21,10	20,10	4,74	
Eucalipto	65,63	10,11	24,26	22,24	8,33	

A literatura tem ressaltado que em áreas degradadas, por terem pouca cobertura vegetal em quase toda sua extensão, estão sujeitas a maiores modificações por parte da ação do vento, da água, via respingo de chuva, entre outros fatores, que podem contribuir para desestruturação de seus agregados e modificações de suas partículas. Este fato contribui para formação de partículas com diferentes tamanhos, visto que se tem uma amplitude muito grande no tamanho de cada partícula, além de diferentes formas (SUGUIO, 1973). Para Blainski et al. (2008) a falta ou perda de vegetação, e consequentemente de matéria orgânica no solo, colaboram para a degradação física do solo.

Apesar dessas observações, os dados dessa pesquisa não corroboram os da literatura, pois, apesar de ter sido “classificada” anteriormente como área sob caatinga degradada, atualmente, inclusive no período da coleta, esta área estava sob pousio, com vegetação remanescente tipo gramínea, contribuindo com raízes finas e em grande abundância, o que justifica seus maiores valores de grau de floculação (GF), em torno de 23,36 % (Tabela 1). Estes dados, por si só, já justificariam uma nova classificação desta área quanto ao seu estado atual de degradação, mas que, mesmo assim, outros aspectos, que levam em consideração demais atributos físicos do solo desta área, devem ser analisados para confirmação da sua resiliência.

Nas demais áreas, a que apresentou maior valor do GF foi a preservada (9,99%), pela sua maior concentração de raízes e matéria orgânica, que contribuem para o aumento da presença de agentes cimentantes, como coloides orgânicos, que contribuem para o maior agrupamento das partículas. Já em relação às áreas sob cultivo, estas foram as que apresentaram os menores valores de GF: 8,33% para a de eucalipto e 4,74% para a de mandioca. Estes resultados podem ser devido ao uso e manejo do solo, que modificam os agregados e partículas do solo, alterando o tamanho e, consequentemente, a estrutura do solo, principalmente pela entrada de máquinas nas áreas, como verificado e discutido em Horn (1994) e Way et al. (1995).

Neste contexto, os diferentes usos e manejos dos solos, diferenciam seu estado de agregação, textura, teor de água, matéria orgânica e possíveis tensões (LLANILLO et al., 2006). Desse modo, para Bolinder et al. (1999); Gonçalves e Stape (2002), a matéria orgânica, a natureza do solo, e em especial sua granulometria, arranjo de poros e atividade biológica do solo (raízes e animais da fauna) influenciam, tanto nas propriedades físicas, quanto nas químicas e biológicas do solo, sendo consideradas importantes indicadores da qualidade do solo. Esses fatores contribuem de formas

diferentes na estrutura do solo; portanto, poderá causar alterações em intensidades diferentes. Centurion et al. (2001), destacam que a intensidade de modificação das propriedades do solo varia com as condições de clima, uso e manejos adotados, a natureza e cobertura do solo.

O GF e a argila dispersa em água (ADA) têm interpretações distintas e contrastantes, pois um solo com alto GF indicará maior agregação; enquanto solos com alta quantidade de ADA, esta, por estar dispersa naturalmente, poderá ser transportada para poros ao longo do perfil. A ADA pode eluviar no perfil do solo contribuindo para horizontes com maior ou menor teor de argila, e assim “entupindo” microporos, reduzindo a aeração e a infiltração de água (MEURER et al., 2004; EFFGEN et al., 2006). Para Lemos e Silva (2005) a floculação é importante para o controle da erosão, pois auxilia na formação de agregados estáveis. Essa afirmação é justificada pelos próprios autores, onde ressaltam que o GF auxilia na maior permeabilidade do solo, favorecendo a penetração de raízes e infiltração de água.

## 5.2 Densidade do Solo

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi usada nesta pesquisa como um dos indicadores de compactação dos solos, podendo-se medir alterações da estrutura e porosidade do solo (REINERT e REICHERT, 2006). Ao se analisarem os dados da  $D_s$  das áreas de estudo, observou-se que ocorreu interação significativa entre manejo e profundidade (Tabela 2). Tabela 2 - Densidade do solo para o Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, textura franco-argilo-arenosa, das quatro áreas de estudo

Camada (cm)	Sistemas de Uso			
	Eucalipto	Mandioca	Caatinga Degradada	Caatinga Preservada
	(g cm <sup>-3</sup> )			
0-10	1,37 Cb	1,48 Ba	1,55 Aa	1,48 Ba
10-20	1,68 Aa	1,51 Ba	1,57 Ba	1,52 Ba

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante ( $p < 0,05$ ).

Os valores médios da  $D_s$  na camada de 0 a 0,10 m variaram entre 1,37 g cm<sup>-3</sup> (eucalipto) e 1,55 g cm<sup>-3</sup> (caatinga degradada). Com relação à camada subsuperficial, os valores de  $D_s$  variaram entre 1,51 (mandioca) e 1,68 g cm<sup>-3</sup> (eucalipto), sendo que este último diferiu estatisticamente dos demais, que são iguais entre si (Tabela 2).

Estes resultados estão de acordo com outras pesquisas, como aqueles apresentados por Reinert e Reichert (2006), com valores de  $D_s$ , para solos arenosos, variando de 1,2 a 1,9  $\text{g cm}^{-3}$ . No entanto, Papa et al. (2011) indicam que o limite para solos arenosos é de 1,70  $\text{g cm}^{-3}$ ; enquanto para Brady e Weil (1996) os solos franco-arenosos apresentam valores de  $D_s$  considerados críticos e restritivos ao crescimento de raízes em torno de 1,65  $\text{g cm}^{-3}$ .

Portanto, para as áreas de estudo na profundidade de 0,10 a 0,20 m, seus valores de  $D_s$  demonstraram que não são considerados críticos para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas; enquanto na área do eucalipto na profundidade de 0,10 a 0,20 m ultrapassou tal limite, como indicado por Brady e Weil (1996).

Resultados obtidos em Silva et al. (2015), que avaliaram atributos relacionados à qualidade do solo sob diferentes usos e manejos constataram que, dos tratamentos adotados, a área de eucalipto apresentam maiores valores de  $D_s$  em relação às demais áreas amostrais que se encontravam sob exploração agrícola.

Para a área de eucalipto, tratando-se da camada superficial, mesmo a  $D_s$  sendo diferente significativamente em todos os sistemas, é possível que os menores valores de  $D_s$  estejam relacionados aos maiores teores de CO observados (PAULINO, 2013). Tais resultados corroboram com os apresentados em Cunha Neto et al. (2018), nas quais foram verificadas as maiores taxas de decomposição da serapilheira, o que indica uma maior incorporação da matéria orgânica à matriz do solo.

Com relação a  $D_p$ , os resultados comprovam o já verificado em outras pesquisas, e ratificado na literatura. Seus valores não foram influenciados pelos sistemas de cultivos utilizados. De fato, de acordo com Rühlmann et al. (2006), a variável  $D_p$  praticamente não é influenciada por alterações no manejo, por estar mais relacionada à constituição mineralógica e com o conteúdo de matéria orgânica do solo.

### **5.3 Porosidade do Solo e Distribuição do Tamanho de Poros**

A porosidade do solo, mais especificamente, a sua distribuição por tamanho de poros (diâmetro equivalentes), condiciona o seu comportamento físico-hídrico, pois os poros representam o local onde circulam a solução (água e nutrientes) e o ar; sendo, portanto, o espaço em que ocorrem os processos dinâmicos do ar e solução do solo (HILLEL, 1970; KLEIN e LIBARDI, 2002). Assim, Guerif (1987) afirma que o estudo da porosidade do solo é uma das maneiras de caracterizar e quantificar essas propriedades do solo.

Neste sentido, os dados da porosidade total (Pt) e distribuição do tamanho dos poros obtidos nesta pesquisa, foram divididos em dois grandes grupos: poros com maiores diâmetros, representados pelos macro e mesoporos (Tabela 3); e poros com menores diâmetros, representados pelos microporos estrutural + biológico, microporos texturais e criptoporos (Tabela 4).

Ao serem analisados os resultados da Porosidade Total (PT) das áreas estudadas nesta pesquisa observou-se efeito da interação entre sistema e profundidade, sendo significativa na PT e altamente significativa para os demais parâmetros analisados: macroporosidade (Macro), mesoporosidade (Meso), micro porosidade estrutural + biológica (Micro<sub>E+B</sub>), microporosidade textural (Micro<sub>Text.</sub>) e criptoporosidade (Cripto), conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Distribuição do tamanho de poros dos solos estudados sob diferentes coberturas vegetais, referente aos poros de maiores diâmetros equivalentes solos

Camada	Sistemas de Uso			
	Eucalipto	Mandioca	Caatinga Degradada	Caatinga Preservada
(cm)	Pt (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )			
0-10	0,47 Aa (±0,03)	0,43 Ba (±0,06)	0,44 ABa (±0,07)	0,44 ABa (±0,04)
10-20	0,39 Bb (±0,04)	0,41 ABa (±0,07)	0,39 Bb (±0,03)	0,44 Aa (±0,06)
	Macro (%)			
0-10	7,32 Aa (±0,88)	3,36 Ca (±0,80)	3,55 Ca (±0,56)	4,13 Ba (±1,31)
10-20	3,54 Ab (±0,62)	3,26 Aa (±0,84)	3,19 Aa (±1,34)	3,15 Aa (±0,97)
	Meso			
0-10	13,78 Ba (±2,77)	13,96 Ba (±1,58)	12,64 Bb (±1,61)	20,22 Aa (±1,74)
10-20	13,14 Ba (±4,36)	12,52 Bb (±0,77)	17,51 Aa (±2,38)	18,72 Ab (±1,90)

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente (p<0,05) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante (p<0,05).

Estes resultados sugerem que, no caso dos solos em estudo, os valores da Pt não elucidam, mais adequadamente, os efeitos dos sistemas de cultivo nas áreas estudadas, necessitando-se de outros atributos, que venham contribuir para avaliar as modificações nas condições estruturais dos solos. De acordo com Azambuja (1996) os solos arenosos em geral apresentam menor porosidade total, assim como solos compactados ou pobres em matéria orgânica, com solos arenosos normalmente apresentando porosidade total variando de 35 a 50%, faixa que compreende os valores obtidos nesta pesquisa.

Com base nos valores obtidos para os macroporos (Macro), a distribuição de classes de poros por tamanho parece ser mais elucidativa do que a porosidade total. Os

macroporos são poros responsáveis pela maior contribuição na infiltração de água no solo e pela aeração.

Dessa forma, a macroporosidade do solo na profundidade de 0 a 0,10 m (Tabela 3) variou entre 3,5 % (Mandioca) e 7,9% (Eucalipto), sendo esta diferente das demais áreas, ou seja, a área sob eucalipto apresenta maiores valores de macroporos do que as demais áreas, que são semelhantes entre si. Para a profundidade de 0,10 a 0,20 m a macroporosidade variou entre 3,1 e 3,6%, mas não houve diferença significativa, ou seja, a macroporosidade de todas as áreas foi semelhante. De acordo com Azabuja (1996), tais resultados podem ser explicados pela textura do solo, grau de compactação e teor de matéria orgânica.

Foi observado que na área sob cultivo de eucalipto há uma maior quantidade de macroporos do que nos solos das demais áreas, corroborando a drenagem rápida da água com a tensão aplicada de 1 kPa. Dessa forma, devido ao manejo de forma periódica e entrada de máquinas durante subseqüentes preparos do solo, é possível que tal manejo tenha promovido uma maior quantidade de macroporos na área sob cultivo de eucalipto, conferindo-lhe uma maior drenagem inicial.

A Pt nos diferentes tratamentos apresentou comportamento inverso à densidade do solo, fato também observado em Paulino (2013). O mesmo pode ser dito em relação aos Macro onde aumento da Ds e PT com reduções na Macro também foi observada por Bertol e Santos (1995), onde observaram que em solos intensamente cultivados pelos preparos convencionais o surgimento de camadas compactadas, com redução do volume de macroporos e aumento de microporos, determinando diminuição do volume de poros ocupado pelo ar e um aumento na retenção de água.

Paulino (2013) ressalta que o fluxo de gases bem como o movimento de água no solo está diretamente relacionado ao volume de macroporos, ou seja, a oxigenação radicular bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil dependem dessa propriedade (SILVA et al., 2005).

Com relação à mesoporosidade (Tabela 3), responsável pela retenção da água disponível às plantas, houve também interação significativa entre sistema e profundidade, observando-se uma tendência de mesoporos menores entre os sistemas de cultivo. Esta tendência pode ter ocorrido devido ao maior teor de matéria orgânica, conforme também é observado em Dalmago (2009), a qual proporciona maior agregação ao solo, mantendo uma estrutura mais estável e agregados mais resistentes possibilitando, inclusive, a redução da densidade do solo (Tabela 2).

As alterações nos volumes de Micro e Macro são consequência do arranjo dos agregados e da atividade biológica na camada mais superficial (KLEIN e LIBARDI, 2002). Os Micro possibilitam que as plantas consigam se desenvolver em solos com algum impedimento ao desenvolvimento radicular, sendo utilizados como espaços preferenciais para o crescimento das raízes das plantas. Esses poros, normalmente, representam menos de 3 % do volume do solo, mas com efeito importante nos fluxos de ar e água no perfil, muitas vezes não detectados por métodos tradicionais (REINERT et al., 2008). Desse modo, os microporos estruturais + biológicos (Micro<sub>E+B</sub>) sofreram interferência do sistema de manejo adotado como exposto na Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição do tamanho de poros dos solos estudados sob diferentes coberturas vegetais, referente aos poros de menores diâmetros equivalentes

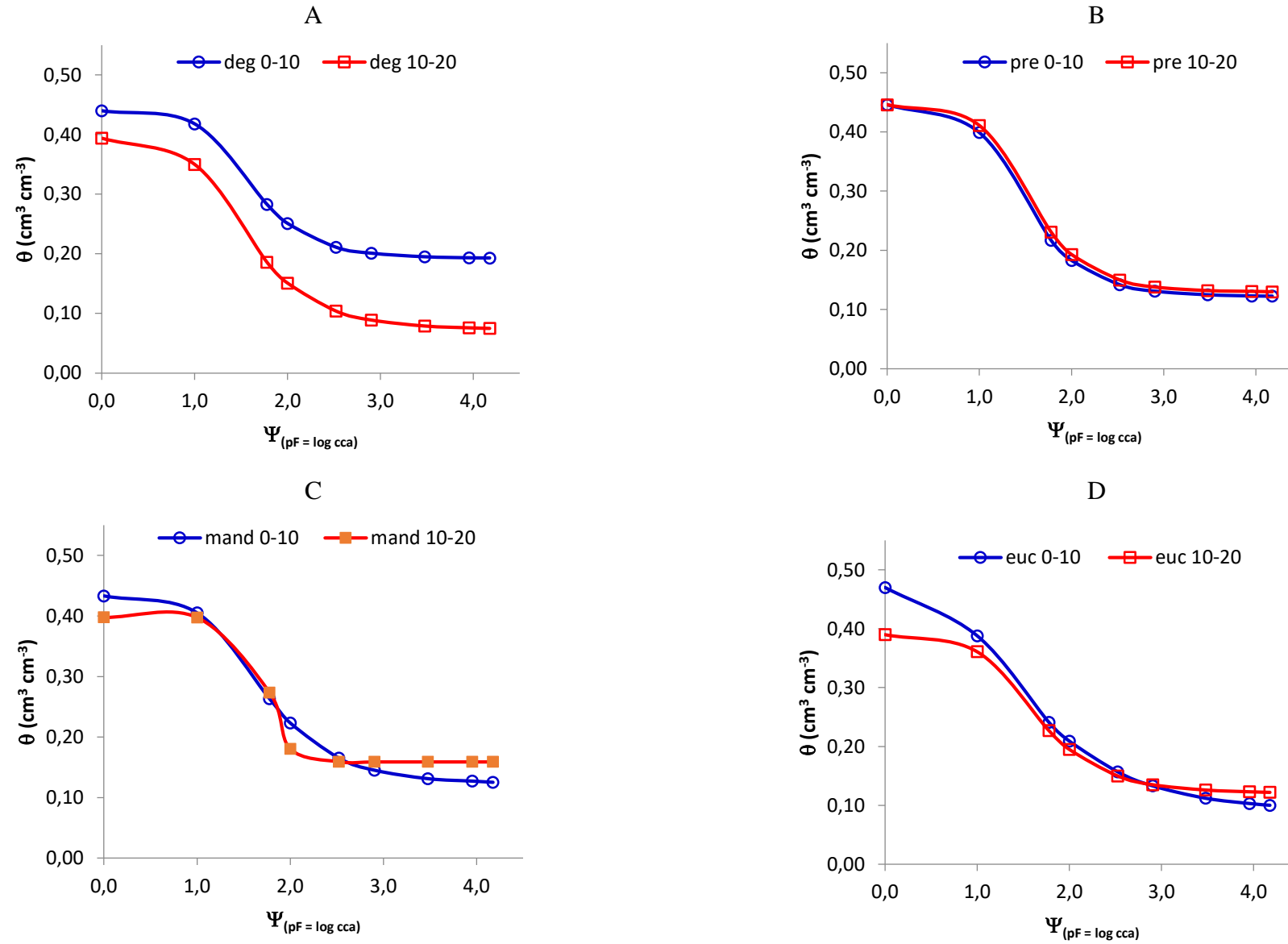
Camada (cm)	Sistemas de Uso			
	Eucalipto	Mandioca	Caatinga Degradada	Caatinga Preservada
Microporosidade Estrutural + Biológica (%)				
0-10	12,72 Aa (±1,3)	9,58 Ba (±0,7)	8,01 Ca (±1,0)	8,03 Cb (±0,1)
10-20	9,37 Ab (±0,1)	8,75 Bb (±0,4)	7,70 Ca (±0,2)	9,44 Aa (±0,5)
Microporosidade Textural				
0-10	1,98 Bb (±0,7)	2,22 Ba (±0,8)	5,062 Aa (±0,6)	1,36 Ca (±0,7)
10-20	4,42 Aa (±0,5)	1,24 Cb (±0,4)	3,043 Bb (±1,0)	0,71 Db (±0,3)
Criptoporosidade				
0-10	9,00 Cb (±3,0)	8,54 BCb (±0,5)	19,74 Aa (±5,3)	11,78 Ba (±0,5)
10-20	12,19 Aa (±5,6)	11,04 Aa (±0,2)	6,82 Bb (±0,5)	10,85 Ab (±0,9)

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante ( $p < 0,05$ ).

#### 5.4 Curva Característica de Retenção de Água do Solo

As curvas características de retenção de água do solo (CCRAS) refletem a diversidade da distribuição de tamanho de poros (DTP) ao longo das duas profundidades, em função do sistema de cultivo, como pode ser observado na Figura 7. Analisando as áreas sob o mesmo Bioma Caatinga, pode-se notar as diferenças no comportamento entre as curvas em função da profundidade. Na curva referente à área degradada (Figura 7 A), a camada superior (0-10 cm, curva em azul) indica maior porosidade total (Pt), refletindo numa melhor DTP, em comparação a curva na profundidade de 10-20 cm (em vermelho).





**Figura 7-** Curvas características de retenção de água no solo (CCRAS) das camadas do Latossolo Amarelo Distófico de Araripina, segundo o modelo de van Genuchten (software RetC do Soil Salinity Laboratory Genuchten et al. (1991))

Essa melhor condição estrutural da camada superior pode ser justificada pela capacidade de resiliência da área, promovida pela maior quantidade de raízes na superfície, como mostra a Figura 3, com nítida recuperação entre o período de sua classificação como degradada e durante a coleta para os ensaios da CCRAS.

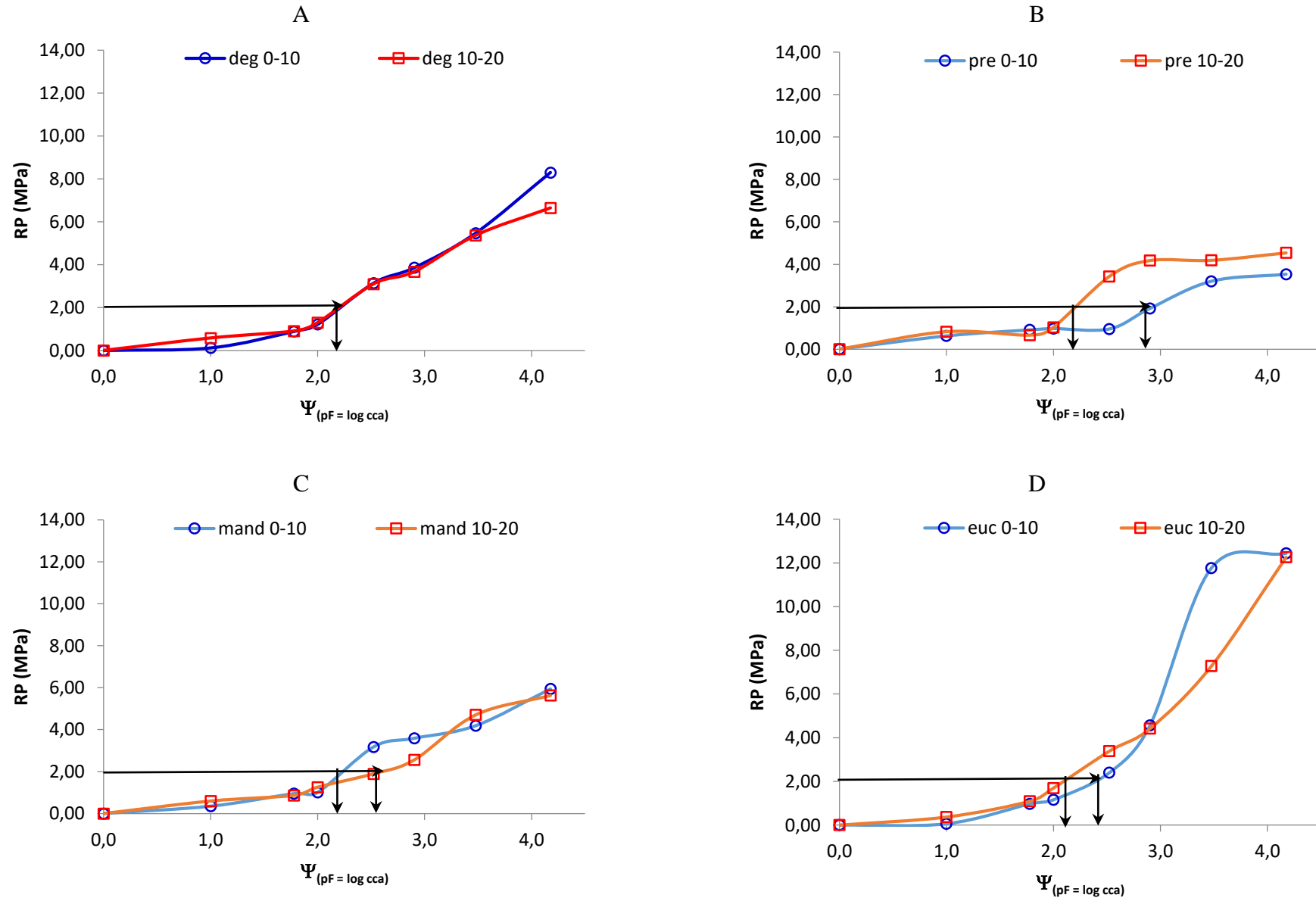
Já na Figura 7 B, curvas referentes à área preservada, não se observa diferença entre elas, havendo praticamente uma sobreposição das curvas. Entretanto, partindo da hipótese de que a área preservada teria uma melhor condição estrutural em relação à área degradada, pode-se concluir que, a camada inferior tem melhor condição estrutural em comparação à mesma profundidade na área degradada, o que explica a maior porosidade e DTP da área preservada, se igualando, praticamente à sua camada de 0-10 cm.

Analisando as áreas sob os demais sistemas (mandioca e eucalipto), observa-se que, nas camadas superiores (0-10 cm), a cultivada com eucalipto tem maior porosidade total (Pt), refletindo numa melhor DTP, com melhor dinâmica da água no solo (ver discussão sobre a  $K_{sat}$  das áreas). Entretanto, analisando estas duas áreas em relação à profundidade de 10-20 cm, não se observa grandes diferenças, podendo-se assumir que elas têm condições estruturais similares.

### **5.5 Resistência do Solo à Penetração de Raízes**

As curvas referentes à resistência do solo à penetração de raízes (RP) em função da energia de retenção de água nos poros dos solos (energia potencial:  $\Psi$ ) para as áreas estudadas nesta pesquisa estão dispostas na Figura 8.

Nas discussões sobre o tema, a literatura indica como limite crítico para o desenvolvimento das culturas o valor de 2 MPa (TAYLOR et al., 1966). Tomando-se este valor como referencial, pode-se observar que, em todas as áreas estudadas, o valor crítico ocorreu em potenciais acima de 2 pF (100 cca). Entretanto, a área sob eucalipto foi a que apresentou melhores valores de RP em função do  $\Psi$ , pois o valor crítico de 2 MPa foi atingido em potenciais maiores de retenção de água (Figura 8 D), principalmente para a camada superior (curva em azul), numa umidade próxima ao  $\Psi = 3$  pF ( $\cong 800$  cca), valor utilizado para reposição de água ao solo nos projetos de irrigação com base na agricultura de precisão. Como os valores de RP são fortemente influenciados pela umidade, é de se esperar que a resistência que o solo irá oferecer ao crescimento radicular se dará em condição de baixa umidade. Neste sentido, quando a energia de retenção da água no solo alcançar valores  $\cong 15.000$  cca (4,2 pF), a água estará retida nos criptoporos.



**Figura 8** - Curvas de resistência do solo à penetração ao sistema radicular (RP) para os solos estudados em função dos sistemas de cultivo adotados nas áreas.

Desse modo, estando a água nos criptoporos, o solo promoverá o ponto de murcha permanente para as plantas (PMP). Logo, pode-se notar que, as curvas referentes à área preservada (Figura 8 B), confirmam sua melhor condição estrutural em relação às demais áreas, pois, quando atingido o PMP, o solo apresentou os menores valores de RP (3,53 MPa, para a camada 0-10 cm e 4,54 MPa, para 10-20 cm). Nestas mesmas condições (umidade equilibradas à  $\Psi = 15.000$  cca), a área sob eucalipto foi a que apresentou os maiores valores de RP ( $\cong 12$  MPa), com valores intermediários para a área sob Caatinga degradada ( $6,7 < RP_{MPa} < 8,3$ ) e sob mandioca ( $RP \cong 5,7$  MPa).

### 5.6 Condutividade Hidráulica Saturada

Ao se analisarem os valores da condutividade hidráulica saturada dos solos ( $K_{sat}$ ), observa-se que não houve interação significativa entre os manejos e a profundidade, porém nota-se uma diferença significativa entre os manejos estudados (Tabela 5).

Tabela 5- Valores médios da condutividade hidráulica saturada para amostras do Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, camada de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, nas quatro áreas de estudo

Camada (cm)	Sistemas de Uso				Média
	Eucalipto	Mandioca	Caatinga Degradada	Caatinga Preservada	
	$K_{sat}$ (mm h <sup>-1</sup> )				
0-10	55,98	92,17	127,47	166,82	<b>114,145 a</b>
10-20	48,75	97,40	120,71	189,72	<b>110,611 b</b>
Média	<b>52,366 C</b>	<b>94,785 B</b>	<b>124,191 B</b>	<b>178,270 A</b>	—

Letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey (5 %)

Observa-se que os maiores valores de  $K_{sat}$  do solo foram obtidos para as áreas de Caatinga preservada e degradada, onde apresentaram também maiores valores de GF como visto na Tabela 1.

Segundo Metzner et al. (2003), solos com menor revolvimento, as partículas de argila e de matéria orgânica participam mais fortemente como agentes agregantes na floculação, visto que a área degradada não foi implantada nenhuma cultura; onde se tem menor manejo do solo, comparada à área de cultivo de mandioca, sendo esta área mais manejada entre as quatro, devido ao preparo do solo (revolvimento e adubação).

Para Andreola et al. (2000) quando o solo é conservado em seu estado natural, sob vegetação nativa, ele tende a manter geralmente características físicas, como densidade do solo, porosidade, permeabilidade e estrutura, adequadas ao desenvolvimento normal das espécies locais. Portanto, é importante a avaliação das características do solo após a intervenção antrópica, devido às modificações que podem ocorrer na qualidade física, química e biológica do solo (BERTOL et al., 2001).

Desse modo, analisando os valores de Ksat das amostras referentes à profundidade de 0-10 cm, foi observado que ocorreram diferenças significativas para as quatro áreas de estudo (Tabela 5). Aplicando-se a estatística, observou-se que ocorreram diferenças nos valores de Ksat, sendo a área preservada aquela com os maiores valores ( $166,819 \text{ mm h}^{-1}$ ) entre todas; e a área cultivada com eucalipto, aquela com menores valores ( $55,983 \text{ mm h}^{-1}$ ) (Tabela 5).

Embora a área plantada com eucalipto não tenha sido estatisticamente equivalente à área de mandioca, ambas apresentaram os menores valores de Ksat entre as quatro áreas. Essas duas áreas são as que possuem manejo estabelecido em determinados períodos, principalmente com a utilização de máquinas, seja para aração e gradagem, como na área da mandioca; ou para o corte das árvores, como no caso da área de eucalipto. De acordo com Alakukku e Elomen (1995); Ball et al. (1997) esses maquinários podem promover diferentes modificações na estrutura do solo. Para estes autores, a Ds será elevada de forma significativa após o tráfego de máquinas agrícolas, causando redução da macroporosidade e, conseqüentemente, diminuição da Ksat.

Wood et al. (1993) relatam que, o tráfego de quatro passadas de uma carreta, provocou decréscimos de até 50 % na porosidade. Constatações semelhantes foram feitas por Horn (1994) e Way et al. (1995), onde destacam que repetidas passadas com rodados agrícolas aumentaram a degradação da estrutura do solo. Silva et al. (2003) destacam que, cargas externas ao solo pela entrada de máquinas na área, quando combinadas à calibragem dos rodados e umidade inadequadas, contribuem para maior degradação das camadas do solo em profundidade, devido ao deslizamento provocado pelas rodas das máquinas e implementos, contribuindo para a maior compactação do solo.

A área sob plantio de mandioca apresentou valores de Ksat estatisticamente equivalentes ao da área sob caatinga degradada, por esta área ser um local manejado de forma regular, ocorrendo perturbações mais frequentes na estrutura do solo, seja por parte da aração, gradagem ou capinas. Esse tipo de manejo faz com que ocorram modificações na estrutura do solo, afetando algumas propriedades do solo (VIEIRA e KLEIN, 2007).

A respeito disso, Carpenedo e Mielniczuk (1990) afirmam que algumas práticas de manejo do solo promovem modificações nas suas propriedades físicas, principalmente na sua estrutura, podendo tais alterações ser permanentes ou temporárias. Para Reichardt et al. (2007) a variabilidade da  $K_{sat}$  deve-se a fatores como alterações na porosidade do solo, pois ao afetar a porosidade ocorre uma redistribuição de poros, e sendo o fluxo de água que passa pelo poro do solo proporcional à quarta potência do seu diâmetro, tais fatores justificam as altas variações da  $K_{sat}$ .

Tomando-se como base os maiores valores de  $K_{sat}$ , obtidos na área sob caatinga preservada, observa-se que, a área sob caatinga degradada e mandioca apresentaram valores intermediários, não diferindo estatisticamente entre si; sendo os mais baixos aqueles referentes à área sob eucalipto, diferindo-se das demais.

Com relação à área Caatinga degradada, o local pode ter mantido características importantes, por essa não continuação da perturbação, apresentando, portanto, considerável poder de recuperação, justificando os altos valores de  $K_{sat}$ , característicos das condições de preservação, confirmados pelos maiores valores do GF (Tabela 1).

A respeito disso, de acordo com Resende et al. (2002) e Garay et al. (2003), áreas degradadas que foram sujeitas à remoção da vegetação podem ser recuperadas de forma natural ao longo do tempo pelo restabelecimento das espécies nativas, e assim recuperando, em parte, as características físicas, químicas e biológicas do solo, podem ser observados algumas pequenas plantas arbustivas na área de degradação, sendo indicador de um novo ciclo de restabelecimento de espécies, fato este também verificado na área “classificada anteriormente” como caatinga degradada.

Podemos destacar o maior valor de  $K_{sat}$  na área preservada, devido à maior concentração de raízes no local. Por se tratar de uma área de mata preservada há maior concentração de diferentes espécies, fazendo com que se tenha essa maior concentração de raízes e com isso ocorra a maior variabilidade na porosidade e, conseqüentemente, nos valores obtidos de  $K_{sat}$ .

Apesar de se tratar do mesmo solo (Latosolos nas quatro áreas da Chapada), as condições, tipos de manejo e de cobertura vegetal, forma de amostragem, quantidade de raízes, estrutura do solo, entre outros, são diferentes entre as áreas (MESQUITA e MORAES, 2004; TREVISAN et al., 2009; SILVA et al., 2012; SOUZA, 2013).

Portanto, nas diferentes profundidades, apesar da mesma textura, há particularidades tais como: heterogeneidade na umidade na hora da coleta, áreas com maior ou menor compactação, diferentes coberturas do solo (vegetação), áreas com

maior ou menor influência antrópica e diferentes teores de matéria orgânica no solo que, juntos, promovem influência direta nos resultados obtidos de Ksat.

Neste sentido, as diferenças encontradas entre os valores de condutividade de campo e de laboratório (Figura 9), podem ser explicadas devido ao momento em que os ensaios foram realizados com os dados de laboratório tendo sido obtidos no início do projeto, o que reflete as condições do campo no momento em que foram feitas as coletas. A área degradada apresentava condições de estrutura realmente inferiores às outras áreas e a área preservada manteve-se constante nos dois momentos, apresentando bons resultados nos dois ensaios.

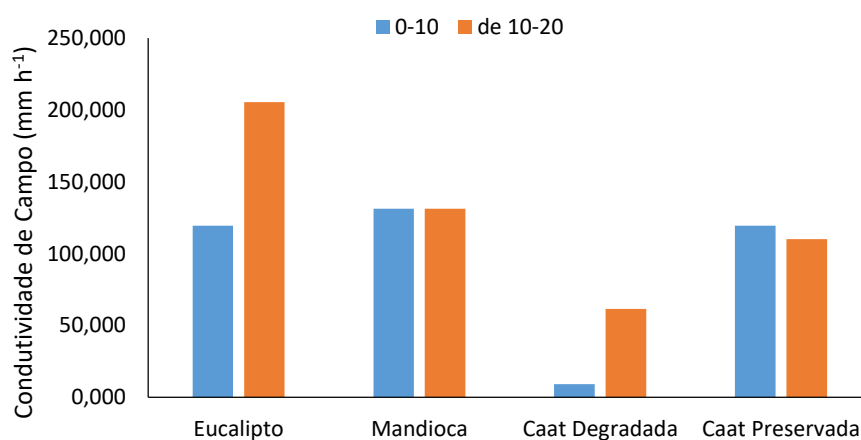


Figura 9 - Resultados de condutividade hidráulica pelo permeâmetro de Guelph

Na condutividade de campo, a área de eucalipto que antes era considerada a pior dinâmica de água no solo, pelos valores de laboratório, apresentou os maiores valores em relação às outras áreas. Essa diferença pode ser explicada pelo momento que foi feita a coleta dos dados, pois os dados de laboratório foram obtidos durante o desenvolvimento da cultura, onde não havia revolvimento do solo e a condição da estrutura do solo era considerada pior. Após um ano de experimento, quando foram feitas as análises de campo, após o corte do eucalipto, pode ter gerado um maior revolvimento do solo, o que aumentou a sua condutividade.

A área de mandioca também apresentou maiores valores de campo pelo mesmo motivo, o que pode ser explicado pelo próprio manejo da cultura pós colheita, como pode ser visto na Figura 9.

### 5.7 Estabilidade de Agregados

Segundo Corrêa (2002), do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois está relacionada com a disponibilidade de ar e água às

raízes das plantas, com o suprimento de nutrientes, com a resistência mecânica do solo à penetração, e com o desenvolvimento do sistema radicular. A manutenção de um bom estado de agregação e estabilidade e, conseqüentemente, de uma boa estrutura, é condição primordial para garantir altas produtividades agrícolas.

Os maiores valores de Diâmetro Médio Ponderado (DMP) foram observados nos sistemas de manejo (Mandioca 2,96 mm e Eucalipto 2,67 mm) (Tabela 6). Sistemas que proporcionam a adição de grande quantidade de resíduos, bem como uma eficiente ciclagem de nutrientes e uma biota edáfica ativa, favorecem a formação de agregados maiores e proporcionam incrementos na produtividade de maior conteúdo de carbono orgânico no solo.

Geralmente solos de mata nativa apresentam maior conteúdo de matéria orgânica e estabilidade de agregados (SILVA et al., 1998; ALBUQUERQUE et al., 2005). O diâmetro médio ponderado ou a presença de agregados grandes pode refletir em maior resistência do solo à erosão. Segundo Siqueira et al. (1994), um bom crescimento vegetal depende da presença de agregados com diâmetros superior a 1mm estáveis, que contenham grande quantidade de poros com mais de 75  $\mu\text{m}$  de diâmetro, condições normais de aeração, e de poros com diâmetro entre 0,2 e 30  $\mu\text{m}$  em número suficiente para reter água para o crescimento de microrganismos e raízes.

Na Tabela 6 estão apresentados os valores do DMP, agregados com diâmetro > 2 (mm) estáveis em água (AGRI), Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), e Diâmetro Médio Geométrico (DMG), dos agregados, respectivamente. De modo geral, houve interação na comparação das médias para a interação sistemas de manejo e profundidades. Na camada de 10-20 cm, as áreas apresentaram os maiores diâmetros de agregados, com exceção à área de eucalipto.

Para o IEA e a AGRI, comportamento geral desses dois índices foi semelhante aos diâmetros e também indicou melhor estado de agregação do Latossolo estudado, na profundidade de 10-20 cm. Todos esses parâmetros estudados se mostraram adequados para a avaliação da estabilidade de agregados



Tabela 6- Parâmetros de agregação de um Latossolo Amarelo distrófico sob diferentes sistemas de uso em duas camadas.

Camada	Sistemas de Uso			
	Eucalipto <sup>(SE)</sup>	Mandioca <sup>(SM)</sup>	Caatinga Degradada <sup>(SD)</sup>	Caatinga Preservada <sup>(SP)</sup>
(cm)	DMP (mm)			
0-10	2,67 Ba	2,96 Ab	1,78 Cb	0,53 Db
10-20	1,78 Cb	3,28 Aa	2,11 Ba	0,82 Da
	AGRI (%)			
0-10	74,75Ba	85,14 Ab	43,08 Cb	2,59 Db
10-20	41,97Cb	96,48 Aa	53,45 Ba	9,06 Da
	IEA (%)			
0-10	93,75 Ca	97,17 Ab	94,50 Ba	91,17 Db
10-20	84,41 Cb	98,37 Aa	93,96 Ba	94,03 Ba
	DMG (mm)			
0-10	1,94 Ba	2,39 Ab	1,02 Cb	0,367 Db
10-20	1,10 Cb	3,08 Aa	1,30 Ba	0,490 Da

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante ( $p < 0,05$ ).

### 5.8 Resistência Tênsil de Agregados

Os valores de resistência tênsil (RT), seguem os maiores valores encontrados de DMP observados na área de Eucalipto e Mandioca, como também os maiores valores de COT observados nas Tabelas 6 e 8, respectivamente.

Analisando os dados da superfície, isoladamente o Eucalipto apresentou os maiores valores de RT, isso se deve aos agentes cimentantes, como a matéria orgânica e outros compostos, que aumentam a agregação do solo. Isso é comprovado pelos maiores valores de DMP (Tabela 6) em sub-superfície observa-se que o comportamento da RT foi similar nas áreas de Eucalipto e Mandioca, entretanto os menores valores de RT podem ser vistos na área Degradada, comportamento observado também em seus valores de DMG.

Tabela 7- Resistência tênsil de agregado dos Latossolos Amarelos

Camada	Sistemas de Uso			
	Eucalipto	Mandioca	Caatinga Degradada	Caatinga Preservada
(cm)	RT (kPa)			
0-10	27,64 Aa	9,38 Cb	19,27 Ba	12,41 BCb
10-20	25,73 Aa	22,85 Aba	13,13 Ba	27,42 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante ( $p < 0,05$ ).

### 5.9 Carbono Orgânico Total (COT)

Os resultados sugerem que os processos de estabilização dos agregados desses solos estão associados aos teores de COT (Tabela 8). Houve interação na comparação das médias para a interação sistemas avaliados. Na camada 0-10 cm, à medida que os teores de COT diminuem, pelo revolvimento excessivo do solo ou pelo baixo aporte de material orgânico proporcionado pelos sistemas de manejo, decresce a qualidade estrutural desse solo (Tabela 8).

Entretanto, efeito oposto foi observado na área de Eucalipto, possivelmente o maior aporte de serrapilheira proporcionou maior teor de C na camada superficial refletindo no melhor estado de agregação nessa camada. Esses resultados corroboram com as alegações de Fernández et al. (2010), Loss et al. (2011), Junior et al. (2012), Liu et al. (2014) e Li et al. (2016) sobre a formação e manutenção da agregação estarem condicionadas ao aporte de resíduos orgânicos que os sistemas de manejo são capazes de introduzir ao solo.

Tabela 8 - Teores de Carbono Orgânico dos Latossolos amarelos

Camada (cm)	Sistemas de Uso			
	Eucalipto <sup>(SE)</sup>	Mandioca <sup>(SM)</sup>	Caatinga Degradada <sup>(SD)</sup>	Caatinga Preservada <sup>(SP)</sup>
	COT (g/kg <sup>-1</sup> )			
0-10	12,114 Aa	9,651 Bb	8,50 Cb	8,73 Cb
10-20	11,41 Db	11,86 Ca	12,07 Ba	12,550 Aa

Médias seguidas de mesma letra maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem significativamente ( $p < 0,05$ ) pelo Teste de Tukey. (\*) Significante ( $p < 0,05$ ).

### CONCLUSÕES

De acordo com os dados analisados e agrupados nas discussões a área indicada como degradada encontra-se em estado de recuperação.

Os valores da Ksat determinada em laboratório não foram suficientes para elucidar a dinâmica da água do solo em função dos sistemas de cultivo estudados, optando-se pelos dados de campo, determinados um ano após o início do experimento, comprovando-se a recuperação do estado estrutural da área degradada, o que corrobora os resultados obtidos com outros atributos.

Os valores obtidos pelos índices de estabilidade de agregados, bem como os da RT, indicam um bom estado de agregação do solo nas áreas de eucalipto e mandioca, justificados pelos valores de COT.

Os valores das CCRAS e RP, conjuntamente, comprovam as diferenças entre as condições estruturais das áreas estudadas, sendo a área preservada considerada aquela com a melhor condição estrutural em relação às demais áreas.

## **BIBLIOGRAFIAS**

AB' SABER, A. N. Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical. Geomorfologia, São Paulo: USP-IG, 1977. 20 p.

ADDINSOFT, XLSTAT 2018: Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel. 2018.

ALAKUKKU, L. e ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. Soil Till. p.141-152, 1995.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p.799-806, 2003.

ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, p.857-865, 2000.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment, Zurich, v. 88, n. 2, p.153-160, 2002.

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

AZAMBUJA, J. M. V. de. O solo e o clima na produtividade agrícola. Guaíba: Agropecuária, 1996. 164p.

BACK, A.J.; FERREIRA, P.A.; SEDIYAMA, G.C.; VIEIRA, M. Sistemas de drenagem em regime variável. 1990.

BALL, B.C.; CAMPBELL, D.J.; DOUGLAS, J.T.; HENSHALL, J.K. e O'SULLIVAN, M.F. Soil structural quality, compaction and land management. Europ. Soil Sci., p.593-601, 1997.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. Scientia Agricola, p.555-560, 2001.

BALESDENT, J.; CHENU, C. e BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. Soil Tillage Res., p.215-230, 2000.

BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; DUBUC, J.P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soil for cereal crops. *Agriculture Ecosystems & Environment*, p. 61-66, 1997.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. e SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Till. Res.*, p.205-217, 1997.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: A. KLUTE (Ed.); *Methods of soil analysis Part 1 - Physical and Mineralogical Methods*. 2 ed., p.377-382, Madison: ASA/SSSA, 1986.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A. FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:975-983, 2008.

BREWER, R. *Fabric and mineral analysis of soils*. New York, John Wiley & Sons, 1964. 482p.

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. Washington: Department of Agriculture. 1912. 83p.

CAMARGO, O.A. e ALLEONI, L.R.F. Reconhecimento e medida da compactação do solo. Disponível em: < [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/C5/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C5/Index.htm) >. Acesso em 30 de out. 2018.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Piracicaba, v.14, n.1 p.99-105, 1990.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S.; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perda de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido a diferentes intensidades de chuva simulada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.3, p.385-389, 2002.

CASSEL, D. K.; NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: Klute, A. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1 –Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: SSSA, 1986, p.901-926.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, p.254-258, 2001.

COLMAN, E. A. A laboratory procedure for determining the field capacity of soils. *Soil Science*, v.63, 1947, p.277-283.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um latossolo vermelho-amarelo em Querência, MT. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 2, p. 203-209, 2002.

DANE, J. H.; HOPMANS, J. W. Water retention and storage. In: DANE, J. H; TOPP, G.C. (Ed). Methods of soil analysis: Part 4 – physical methods. Madison: American Society of America, 2002. p.671-720.

DARCY, H. Les fontaines publiques de La Ville de Dijon Paris. Victor Dalmont, 1856. 647p.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: BLACK, C. A. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America, 1965. Cap. 1, p.545-567.

DIAS-ZORITA, M; PERFECT, E; GROVE, J. H. Disruptive methods for assessing soil structure. Soil and Tillage research, p. 3 - 22p, 2002.

EFFGEN, E. M.; DARDENGO, M. C. J. D.; SILVA, P. A.; PASSOS, R. R.; EFFGEN, T.A.M. Caracterização de atributos físicos de solos em área sob cultivo de sorgo no sul do Estado do Espírito Santo. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos-SP, p.2842-2845, 2006.

ELRICK, D. E; REYNOLDS, W. D and TAN, K. A. Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis. In: Groundwater Monitoring Review. Vol. 9, p. 184-193, 1989.

EMBRAPA. Cultivo de Algodão Irrigado. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado>>. Acesso em: 13 março 2018.

EMBRAPA. SOLOS DO NORDESTE. Folder Solos do NE, tiragem 1000 exemplares. Novembro de 2014.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. Soil Tillage Research, v.109, p.103-109, 2010.

FERREIRA, M. M. Física do solo. ESAL/FAEPE, 1993, 63p.

FILHO, F. G. Avaliação de técnicas de manejo da caatinga através da análise dos atributos físicos e químicos do solo. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Mossoró-RN, 80p., 2015.

FLINT, A. L. e FLINT, L. E. Particle density. In: DANE, J. H e TOPP, G. C. (Eds.). Methods of soil analysis: part 4 – physical methods. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p. 229-240.

FONTINELE, N. M. Comparação Entre a Produtividade e Análise Econômica de Clones de *Eucalyptus* Spp. Em Sistemas de Alto Fuste e Talhadia No Polo Gesseiro do Araripe – Pe. Dissertação ( Mestrado), Universidade Federal Rural do Pernambuco- UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 62p. 2016.

FREITAS, L.; CASAGRANDE, J. C.; OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, V. M. R. Atributos químicos de Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. *Floresta*, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 229-240, 2015.

GADELHA, F. H de L; Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana* (Cruzamento Natural) na Chapada do Araripe – PE. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010, 65p.

GADELHA, F. H. L.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, R. C.; TAVARES, J.A. Produtividade de clones de eucaliptos em diferentes sistemas de manejo para fins energéticos. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 35, n. 83, p. 263-270, 2015.

GADELHA, F. H. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus* s.p no Pólo Gesseiro do Araripe, PE. *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v. 22, n. 2, p. 331-341, 2012.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CARNEIRO, R.; FRANCO, A. A.; BARROS, E.; ABBADIE, L. Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, n.4, p.705-712, 2003.

GUERIF, J. L'analyse de la porosité: Application à l'étude du compactage des sols. In: MONIER, G. & GROSS, M.J., eds. *Soil compaction and regeneration*. Roterdan, CEE, 1987. p.122-131.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J. H. *Methods of soil analysis*. 3. ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. Cap. 4: Physical methods, p. 255-293.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 3, 2004.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Conservação e cultivo de Solos para Plantações Florestais. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Piracicaba – São Paulo, 2002. 498 p.

GROSSMAN R. B.; REINSCH T. G. Bulk density and linear extensibility. In.: Dane JH, Clarke Topp G, editors. *Methods of soil analysis: Physical methods*. Madison: Soil Science Society of America; 2002. Pt.4. p.201-28.

HILLEL, D. Solo e água: fenômenos e princípios físicos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

HILLEL, D. *Soil and Water-Physical principles and processes*. New York: Academic Press, 1971. 287p.

HORN, R. The effect of static and dynamic loading on stress distribution, soil deformation and its consequences for soil erosion. In: BLUME, H.P.; FLEISCHHAUER,

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Disponível em: [http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomass/PMDBBS%20%20CAATINGA.html](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/PMDBBS%20%20CAATINGA.html) Acessado em: 25-06-18.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P. e TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesq. Agropec. Bras.*, p. 1403-1500, 2000.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JOSSEFA, C. G. V. Uso De Redes Neurais Artificiais E Métodos Tradicionais Na Estimativa Do Volume Do Fuste De Eucalyptus Spp., Na Região Do Polo Gesseiro Do Araripe. Dissertação( Mestrado), Universidade Federal Rural do Pernambuco- UFRPE, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 72p. 2016.

JUNIOR, C. C.; PICCOLO, M. C.; NETO, M. S.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1311-1321. 2012.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition and Framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 61, n.1, p. 4-10, 1997.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. *Geonomos*, p. 17- 40, 1998

KLEIN, V. A. Física do solo. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2 ed., 240 p., 2012.

KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; VEIGA, M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo. *Ciência Rural*, v. 43, n. 5, p. 850-853, 2013.

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; KIRKSEN, C. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 2ed., 1983. 228p.

LEMOES, C. F. de; SILVA, E. T. da. Comparação das características morfológicas, mineralógicas, químicas e físicas do solo entre áreas de cultivo com plantio direto e plantio convencional. *Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, Curitiba, v.3, n.1, p. 11-18, jan./mar. 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances in Soil Science*, v.1, p.277-294. 1985.

LI, S. Y.; GU, X.; ZHUANG, J.; AN, T. T.; PEI, J. B.; XIE, H. T.; LI, H.; FU, S. F.; WANG, J. K. Distribution and storage of crop residue carbon in aggregates and its contribution to organic carbon of soil with low fertility. *Soil Tillage Research*, v.155, p.199–206, 2016.

LIBARDI, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.

LIMA, W. P. Impacto ambiental do eucalipto. 2. Ed. São Paulo: EDUSP, 1996, 203p.

LIU, M. Y.; CHANG, Q. R.; QI, Y. B.; LIU, J.; CHEN, T. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. *Catena*, v.115, p.19–28, 2014.

LLANILLO, R. F.; RICHART, A.; FILHO, J. T.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, p.205-220, 2006.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. *IDESIA*, v. 29, p. 11-19. 2011.

MARCELO, V. F.; ALMEIDA, B. G. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, W. L. da. Influência de condicionadores na distribuição de poros em um Argissolo Amarelo Distrocoeso. In: REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., 2016, Aracaju. Integração e uso do conhecimento para uma agricultura sustentável no Nordeste. Aracaju: SBCS, Núcleo Regional Nordeste, 2016.

MARIN, A. M. P; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E. D.; SAMPAIO, E. V.de S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n.3, p.555-564, 2006.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VIELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura – pecuária no Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:873-882, 2007.

MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M.; CRUZ JUNIOR, O. F.; MARTINS, G.C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no baixo amazonas. *Acta Amazônia*, Manaus, v. 38(2), p. 193-206, 2008.

MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S. e ALVAREZ V., V.H., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A. e SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *R. Bras. Ci. Solo*, p. 1149-1159, 2003.



MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v.34, p 963-969, 2004.

METZNER, A. F.; CENTURION, J. F.; MARCHIORI JÚNIOR, M. Relação entre grau de flocculação e atributo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003. Ribeirão Preto-SP, ANAIS... Botucatu, 2003. CD.

MEURER, E. J.; CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J. Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. p.290.

MEYER, P. D. e GEE, G. W. Flux-based estimation of field capacity. *J. Geotechn. Geoenviron. Eng.*, p. 595-599, 1999.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; 2003.

MIRANDA, J. P. L. a et al. Influência do pousio na recuperação de propriedades físicas de um Cambissolo em ambiente agrícola serrano-Bom Jardim (RJ). In: Embrapa Solos- Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: SBCS: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008.

NASCIMENTO, P. C.; BISSANI, C. A.; LEVIEN,R.; LOSEKANN, M. E.; FINATO, T. Uso da terra e atributos de solos do estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, n.9, p.920-926, 2014.

NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 575-588, 2007.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate Stability and Size Distribution. In: DANE, J.H. and TOPP, G.C. (Eds.) *Methods of soil analysis. IV. Physical Methods*. Madison: ASA; Soil Science Society of America Journal, Inc. p. 317-328, 2002.

OLIVEIRA, F. E. R.; OLIVEIRA, J. M.; XAVIER, F. A. S. Changes in Soil Organic Carbon Fractions in Response to Cover Crops in an Orange Orchard. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 40, p. 1-12, 2016.

PALADINI, F.L.S. e MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-Escuro afetado por sistema de culturas. *R. Bras. Ci. Solo*, p.135-140, 1991.

PAPA, R. de A. et al. Qualidade de Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos sob vegetação nativa de Cerrado. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 41, n. 4, p. 564-571, 2011.

PAULINO, P. S. Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no Estado de Santa Catarina, 2013. 93p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina -UDESC. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013

PATRIZZI, V. C.; VAZ, C.M.P.; IOSSI, M. F. e PRIMAVERSI, O. Modelamento do efeito da umidade e densidade na resistência à penetração dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, SBCS/UNESP, 2003. CDROM.

PEDROTTI, A. e MÉLLO JÚNIOR, A. V. Avanços em ciência do solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental. São Cristóvão: Editora UFS, 2009.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A. e CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, p.521-529, 2001.

PEREIRA, J.O.; SIQUEIRA, J. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A. e SILVA, S. L. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., p. 171-174, 2002.

PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. Revista Ciências Agrárias, Belém, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera. Conceitos, processos e aplicações. 1. ed. São Paulo, 2007. 203p.

REID, J. B.; GOSS, M.J. Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. J. Soil Sci., p. 521-541, 1981.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades física do solo. 2006. Disponível em:<[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_\\_texto.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf)>. Acesso em: 13 março 2018.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. Piracicaba: Manole LTDA, 1990. 188p.

REICHARDT, K. A água na produção agrícola. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1978. 120p.

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity pressure head relationship. Ground Water Monitoring Review, v.6, p.84-95, 1986.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B.; CÔRREA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4.ed. Viçosa: Neput, 2002. p.237-257.

REZENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO

SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

ROMANO, N.; HOPMANS, J.W. e DANE, J.H. Suction table. In: DANE, J.H. & TOPP, G.C., eds. Methods of soil analysis. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.692-698.

SILVA, F, G. Condutividade hidráulica do solo saturado e fluxo preferencial em amostras confinadas de terra, 2015. 63p.

SILVA, J. R. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 27-36, 2012.

SILVA, R.B.; DIAS JÚNIOR, SILVA F.M. Influência do tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um latossolo de cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo nº06. Viçosa. 2003. p.973-983.

SILVA, M. Z. F.; FREITAS, E. P.; MESSIAS, R. M.; SOUSA, C. F.; NASCIMENTO, M. A. Análise sobre um perfil do solo no município de Taboleiro Grande/RN. Revista do Ceres, Natal, v. 1, n. 2, p. 62-68, 2015.

SOUZA, J. M. Atributos físico-químicos do solo em lavoura de café conilon submetida à subsolagem. 2013. 75f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus. 2013.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; SANTOS, R. V.; ARAÚJO, G. T.; SOUTO, L. S. Decomposição de esterco dispostos em diferentes profundidades em área degradada no Semiárido da Paraíba. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 125-130, 2005.

STOLF, R.; FERNANDES, J. e URLANI NETO, V.L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p.

STOLF R, THURLER A. M.; BACCHI O. O. S. Reichardt K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. R Bras Ci Solo. p. 447-59, 2011.

SUGUIO, K. Introdução à sedimentologia. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blucher - EDUSP, 1973.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M. e PARKER, J.J. Soilstrength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci., p. 18-22, 1966.

TEIXEIRA, Wilson. FAIRCHILD, Thomas Rich. TOLEDO, M. Cristina Motta de. TAIOLI, Fabio. Decifrando a Terra – 2a edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009.

TISDALL, J. M. e OADES, J. M. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.*, p. 429- 441, 1979.

TOGNON, A. A. Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guairá-SP sob diferentes sistemas de cultivo. 1991. 85 f. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

TORMENA, C. A. e ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, p. 333-339, 1996.

TREVISAN, R. et al. Condutividade hidráulica do solo saturado na zona vadosa in situ e em laboratório. *Irriga, Botucatu*, v. 14, n. 3, p. 413-422, 2009.

VIEIRA, M. L.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes temas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 6, p. 1271-1280, 2007.

VEZZANI, F. M. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p.

WAY, T. R.; BAILEY, A. C.; RAPER, R. L. e BURT, E. C. Tire lug height effect on soil stresses and bulk density. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, p. 669-674, 1995.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S. e NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.*, p. 487-494, 2005.

WOOD, R. K.; REEDER, R. C.; MORGAN, M. T. e HOLMES, R. G. Soil physical properties as affected grain cart traffic. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, p. 11-14, 1993.

## **CAPÍTULO II**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DE LATOSSOLOS DA CHAPADA DO ARARIPE NA  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO SOB USOS E MANEJOS**

## RESUMO

Com o objetivo de desenvolver e aplicar um índice de qualidade do solo para a avaliação do impacto de diferentes usos e manejos em áreas da Chapada do Araripe, foram analisadas propriedades físicas (textura, condutividade hidráulica saturada, e resistência mecânica do solo à penetração-RP) e químicas (matéria orgânica do solo - MOS), de quatro áreas experimentais, situadas sobre um Latossolo Amarelo franco-arenoso, no semiárido pernambucano (PE). As quatro experimentais foram: área sob vegetação nativa preservada; área sob vegetação nativa degradada; área sob uso convencional (monocultivo de mandioca) e área sob uso de eucalipto. Depois de obtidas as médias dos parâmetros em cada uma das áreas experimentais, a Análise de Componentes Principais (ACP) foi utilizada para selecionar os indicadores apropriados e como método de extração dos fatores de ponderação. Após a seleção dos indicadores, os valores foram normalizados por meio de uma padronização relativa a ser incluída no Índice de Qualidade do Solo (IQS), transformando-se em escores dos indicadores (S), que variam de 0 a 1. Os resultados os IQS foram submetidos à one-way ANOVA (análise de variância) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). O IQS foi maior seguindo a ordem: Caatinga Preservada ( $0,80 \pm 0,04$ , média  $\pm$  desvio padrão) > Caatinga Degradada ( $0,76 \pm 0,03$ ) = Eucalipto ( $0,76 \pm 0,03$ ) > Mandioca ( $0,69 \pm 0,03$ ), na profundidade de 10-20 cm, o IQS foi maior seguindo a ordem: Eucalipto ( $0,87 \pm 0,03$ ) > Caatinga Degradada ( $0,78 \pm 0,03$ ) > Caatinga Preservada ( $0,77 \pm 0,03$ ) > Mandioca ( $0,73 \pm 0,03$ ).

**Palavras-Chave:** caatinga, IQS, parâmetros

## 1. INTRODUÇÃO

Das definições sobre solo uma das mais atuais considera solo como um corpo natural composto por sólidos, líquidos e gases na superfície da Terra, caracterizado por horizontes e resultante de agregações, perdas, transferências e transformações de matéria e energia, e pela sua capacidade de suportar as plantas (USDA, 2010). O tipo de uso e manejo de uma área tem grande influência sobre os atributos físicos de qualidade do solo, especialmente nas camadas mais superficiais, onde a compressão mecânica parece ser mais atuante (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

O estabelecimento de Índices de Qualidade do Solo é útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva (ARAÚJO et al., 2007). Portanto, este índice torna-se um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental. Neste contexto, um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade do solo de maneira simples e confiável.

A qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado da qualidade desse solo (ARAÚJO et al., 2007). Entre estes, têm sido recomendados aqueles atributos ou indicadores que podem sofrer mudanças em médio prazo, tais como: densidade e porosidade; estado de agregação e de compactação; conteúdo de matéria orgânica e nível de atividade biológica (CARVALHO et al., 2004). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido (D'ANDRÉA et al., 2002).

Em função da importância da qualidade do solo e da sua manutenção, vários pesquisadores buscaram formas de avaliá-la. (DORAN; PARKIN, 1994; CHAER; TÓTOLA, 2007). Entretanto, para que o conceito de qualidade do solo seja efetivo, é necessário ter índices constituídos por variáveis ou indicadores que ajudem na avaliação da condição do recurso, fornecendo informação sobre o seu estado atual e sobre suas tendências.

Nesse sentido, os indicadores de qualidade do solo devem permitir a avaliação da situação atual e identificar pontos críticos e os possíveis impactos antes de uma intervenção devendo permitir o monitoramento do impacto das atividades antrópicas e ajudando a determinar se o uso do solo é sustentável (WIENHOLD; ANDREWS; KARLEN, 2004; MELO FILHO; SOUZA; SOUZA, 2007).

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um índice de qualidade do solo com parâmetros físico-químicos de fácil obtenção, sendo estes sensíveis às variações do uso e manejo do solo, e que tenham relação com as funções do solo (SCHINDELBECK et al., 2008).

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização do Meio Físico**

Os solos em estudo, localizados no topo da Chapada do Araripe, foram identificados como Latossolo Amarelo distrófico, A moderado, textura franco-argilo arenosa, sendo selecionadas quatro áreas de modo a representarem quatro situações distintas: a primeira, sob vegetação nativa com Caatinga preservada, que servirá de referencial comparativo com os demais tipos de coberturas vegetais; a segunda, em área sob vegetação nativa, com Caatinga degradada; a terceira, em área sob monocultivo da mandioca; e a quarta, em área sob cultivo com eucalipto.

Em seguida foram realizadas coletas de amostras de solo com estrutura deformada (anel volumétrico e agregados) e indeformada (trado) em cada camada (0-10 e 10-20), para as análises físicas e de matéria orgânica. Além disso, foi realizada análise morfológica e classificação do solo de acordo com Santos et al. (2013), disponibilizada nos Apêndices.

### **2.2 Análises do Solo**

Os atributos físicos utilizados como indicadores da qualidade dos solos na construção do IQS foram: densidade do solo (método do anel volumétrico, segundo Grossman e Reinsch, 2002); porosidade total do solo (método da saturação, conforme Flint e Flint, 2002); distribuição do tamanho de poros, sendo macro e mesoporos pela Mesa de Tensão (ROMANO et al., 2002); e os micro e criptoporos, via Câmara de Richards (DANE e HOPMANS, 2002). A capacidade de água disponível foi obtida pela diferença entre as umidades volumétricas na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente (DANE e HOPMANS, 2002). A condutividade hidráulica do solo saturado, foi obtida pelo método do permeâmetro de carga constante, determinada em condições de campo (permeâmetro de Guelph) e laboratório, conforme preconizado em Reynolds e Elrick (2002). A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento via úmida



(NIMMO e PERKINGS, 2002). Para a resistência do solo à penetração de raízes foi usado um penetrômetro de bancada, com agulha acoplada à célula de carga, sob umidade controlada (MARCELO et al., 2016); sendo também utilizado nos ensaios de resistência tênsil de agregados, substituindo a agulha por uma placa metálica, usada para a ruptura do agregado. A matéria orgânica do solo foi obtida pelo método Walkley-Black, adaptado conforme Embrapa (1997). Maiores detalhes sobre a metodologia para determinação dos atributos avaliados nesse estudo, bem como a descrição da caracterização do meio físico, encontram-se no Capítulo I. As médias dos resultados obtidos para os atributos físicos utilizados como indicadores da qualidade dos solos nesta pesquisa encontram-se dispostos na Tabela 9.

### **2.3 Elaboração do Índice de Qualidade do Solo**

O primeiro passo para desenvolvimento do índice de qualidade do solo (IQS) é definir as funções que os parâmetros exercem no solo. Do ponto de vista ambiental e agrícola, os indicadores selecionados neste trabalho assumem importância por estabelecerem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como taxa de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão, além de exercerem funções essenciais no suprimento e armazenamento de água, de nutrientes e de oxigênio no solo.

O IQS obtido nesta pesquisa foi desenvolvido baseado na análise de componentes principais (ACP), adaptando-se as metodologias utilizadas por Karlen e Stott (1994), Brejda et al. (2000), Borges (2013) e Mukhopadhyay et al. (2016), para avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo nos solos da Chapada do Araripe-PE.

Inicialmente, os 21 atributos determinados nos solos das áreas em estudo, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm (Tabela 9), foram submetidos à análise de multicolinearidade. O diagnóstico de multicolinearidade foi realizado por meio do método do fator de inflação de variância (FIV), utilizando-se software estatístico. Considerou-se haver multicolinearidade quando os valores de FIV foram maiores que 10 (HAIR et al., 2009). ACP foi utilizada para selecionar os indicadores apropriados e como método de extração dos fatores de ponderação.

Foram selecionados para interpretação apenas os fatores que apresentaram autovalores  $\geq 1,0$  em pelo menos 5% da variação dos dados (BREJDA et al., 2000; SHARMA et al., 2005), por explicarem mais da variação total nos dados do que um único atributo.

Tabela 9 - Médias das propriedades físicas e COT dos solos da Chapada do Araripe – PE, sob diferentes manejos (Eucalipto, Caatinga Degradada, Caatinga Preservada e Mandioca) nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm

Variáveis	Eucalipto		Caat. Degradada		Caat. Preservada		Mandioca		Eucalipto		Caat. Degradada		Caat. Preservada		Mandioca	
	0-10 cm								10-20 cm							
Ds	1,37	±0,03	1,55	±0,10	1,48	±0,07	1,48	±0,07	1,68	±0,09	1,57	±0,07	1,52	±0,08	1,51	±0,07
PT	0,47	±0,03	0,44	±0,07	0,45	±0,04	0,43	±0,06	0,39	±0,04	0,39	±0,03	0,44	±0,06	0,41	±0,07
Macro	7,25	±0,83	3,66	±0,55	4,13	±1,32	3,36	±0,79	3,55	±0,62	2,99	±1,42	3,17	±0,98	3,19	±0,85
Meso	13,77	±2,81	12,37	±1,68	20,18	±1,77	14,13	±1,64	13,06	±4,34	17,62	±2,32	18,75	±1,91	12,50	±0,75
Micro B+E	13,11	±1,47	7,91	±0,89	8,01	±0,20	9,55	±0,64	9,37	±0,19	7,72	±0,20	9,30	±0,57	8,84	±0,39
Micro T.	2,19	±0,77	4,88	±0,74	1,34	±0,70	2,37	±0,85	4,74	±0,62	3,08	±0,90	0,73	±0,33	1,27	±0,30
Cripto.	7,70	±2,72	18,90	±4,88	11,87	±0,46	8,60	±0,56	9,95	±3,95	6,87	±0,51	10,45	±1,12	10,98	±0,25
DMP	2,66	±0,10	1,78	±0,05	0,53	±0,01	2,98	±0,07	1,76	±0,35	2,12	±0,16	0,82	±0,06	3,28	±0,03
DMG	1,90	±0,15	1,03	±0,03	0,37	±0,01	2,43	±0,18	1,04	±0,32	1,38	±0,17	0,50	±0,03	3,09	±0,09
AGRI	74,43	±3,55	43,19	±1,64	2,55	±0,39	84,51	±3,44	40,42	±13,00	53,69	±4,90	8,98	±1,89	96,40	±1,11
IEA	94,00	±1,87	94,49	±0,10	91,18	±0,46	97,32	±0,61	85,56	±8,78	93,82	±1,81	94,10	±0,24	98,39	±0,58
COT	12,06	±0,16	8,48	±0,19	8,83	±0,46	9,67	±0,45	11,41	±0,05	12,07	±0,39	12,56	±0,25	11,83	±0,19
Ksat	55,98	±63,25	127,47	±68,41	166,82	±106,95	92,17	±51,96	48,75	±42,07	120,71	±60,71	189,72	±117,29	97,40	±46,43
RT	27,65	±12,08	19,27	±10,65	12,42	±5,53	9,39	±5,36	25,73	±15,83	13,13	±11,47	27,42	±17,66	22,85	±12,21
RP10	0,06	±0,02	0,12	±0,00	0,62	±0,10	0,34	±0,05	1,10	±0,14	0,58	±0,02	0,86	±0,22	0,60	±0,07
RP60	1,16	±0,29	0,87	±0,08	0,97	±0,06	0,95	±0,14	0,38	±0,04	1,40	±0,05	1,04	±0,04	0,86	±0,05
RP100	0,93	±0,14	1,22	±0,05	0,92	±0,13	1,01	±0,04	1,73	±0,14	0,80	±0,06	0,71	±0,26	1,27	±0,11
RP333	2,40	±0,09	3,13	±0,27	0,96	±0,11	3,39	±1,04	3,45	±0,74	3,85	±1,86	4,20	±0,49	1,91	±0,17
RP800	4,65	±0,61	3,84	±0,79	1,90	±0,36	3,14	±0,31	4,33	±0,40	3,13	±0,22	3,39	±0,77	2,51	±0,70
RP3000	12,47	±0,14	5,36	±0,99	3,23	±0,17	4,20	±0,37	7,34	±0,72	5,34	±0,75	4,15	±0,44	5,84	±0,88
RP15000	11,69	±0,75	8,40	±0,85	3,55	±0,42	6,01	±0,70	12,21	±0,35	6,65	±0,11	4,85	±0,98	4,72	±0,40

Ds: densidade do solo; P: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B+E.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; DMP: diâmetro médio ponderado: (mm); DMG: diâmetro médio geométrico: (mm); AGRI: agregados com diâmetro > 2 mm estáveis em água: (mm); IEA: índice de estabilidade de agregados: (%); COT: carbono orgânico total (g kg<sup>-1</sup>); Ksat: condutividade hidráulica saturada: (mm/h<sup>-1</sup>); RT: resistência tênsil de agregados: (kPa); RP: resistência do solo à penetração; (10, 60, 100, 333, 800, 3.000, 15.000 – mPa). (média ± desvio padrão).

Os fatores retidos, foram submetidos à rotação varimax para maximizar a relação entre atributos interdependentes, o que facilita a interpretação (MINGOTI, 2007). Nos fatores retidos, os atributos que apresentaram cargas fatoriais rotacionadas  $\geq 0,80$  (correlação do atributo com o fator) em módulo e comunalidades  $\geq 0,70$  (proporção da variação do atributo explicada pelos fatores retidos) foram selecionados como indicadores da qualidade do solo. Os atributos selecionados foram submetidos a uma nova rotação varimax, e as respectivas cargas fatoriais rotacionadas foram utilizadas no cálculo dos pesos relativos dos atributos no IQS, conforme a equação (1), sugerida em Andrade et al. (2005).

$$W_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{\left(\sum_{j=1}^n F_1 P_{1j}\right) + \left(\sum_{j=1}^n F_2 P_{2j}\right)} \quad (1)$$

onde,  $W_i$ : peso relativo do atributo na  $i$ -ésima variável que compõe o IQS;  $F_{1i}$  e  $F_{2i}$ : autovalor das componentes principais;  $P_i$ : carga fatorial rotacionada do atributo na  $i$ -ésima variável;  $P_j$ : carga fatorial rotacionada do atributo na  $j$ -ésima variável;  $i$  e  $j$ : índices para as variáveis;  $n$ : número de variáveis envolvidas na ACP.

Após a seleção dos indicadores, os valores foram normalizados por meio de uma padronização relativa a ser incluído no IQS, transformando-se em escores dos indicadores ( $S_i$ ), que variam de 0 a 1, de acordo com Liebig et al. (2001) e Bhardwaj et al. (2011). Os indicadores foram ranqueados em ordem ascendente ou descendente, dependendo se o valor mais alto era considerado prejudicial ou benéfico, respectivamente, às funções do solo. Para indicadores do tipo “mais é melhor”, cada observação foi dividida pelo maior valor observado, de modo que o valor mais alto recebeu o escore 1,0. Para indicadores do tipo “menos é melhor”, o menor valor observado (no numerador) foi dividido por cada observação (no denominador), de modo que o valor mais baixo recebeu o escore 1,0. Para aqueles indicadores onde nem mais alto é melhor nem mais baixo é melhor (“ótimo”), as observações foram pontuadas como “mais é melhor” até um valor limite e então pontuadas como “menos é melhor” acima deste valor (LIEBIG et al., 2001).

O índice de qualidade do solo (IQS) foi determinado pela equação (2).

$$SQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i) \quad (2)$$

onde, IQS: é um número entre 0 e 1;  $W_i$ : peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1; e  $S_i$ : escore do  $i$ -ésimo indicador, um número entre 0 e 1. No modelo, maiores índices indicam melhor qualidade do solo ou maior desempenho da função do solo.

## 2.4 Análise Estatística

Os dados dos IQS's gerados para os sistemas de manejo avaliados foram submetidos à one-way ANOVA (análise de variância) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ). As variáveis carregadas com ACP foram submetidas à análise de correlação de Pearson a 1% ( $p < 0,01$ ) e 5% ( $p < 0,05$ ). Os dados foram analisados utilizando o software para Microsoft Excel XLSTAT (versão 2018.5) (ADDINSOFT, 2018).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no fator de inflação de variância (FIV), o diagnóstico de multicolinearidade para as variáveis explicativas revelou que das 21 variáveis do solo, sete apresentaram multicolinearidade na profundidade de 0-10 cm (DMP, DMG, AGRI, COT, RP10, RP3000 e RP15000) (Figura 10), e seis apresentaram multicolinearidade na profundidade de 10-20 cm (DMP, DMG, AGRI, RP60, RP100 e RP15000) (Figura 11). Caso a ACP para composição dos índices fossem realizadas com alto grau de multicolinearidade, a estimativa dos parâmetros do modelo poderia ser prejudicada.

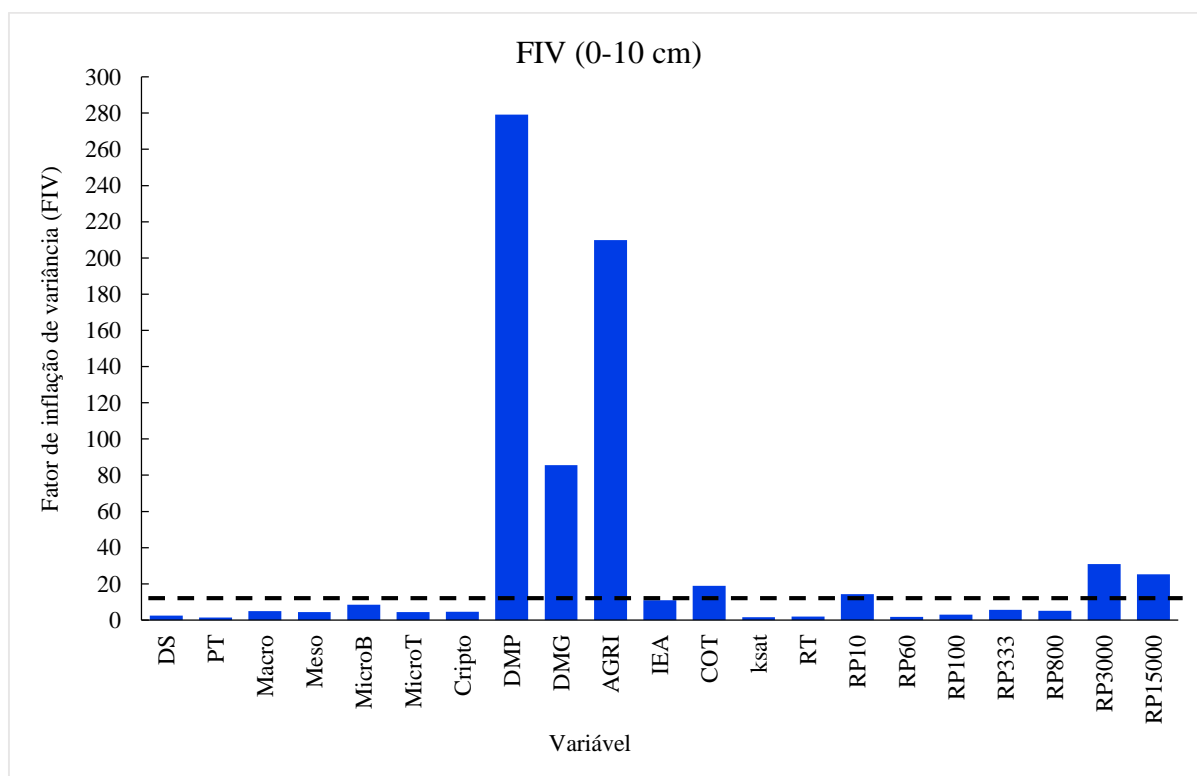


Figura 10- Diagnóstico da multicolinearidade para variáveis explicativas, com base no fator de inflação da variância (FIV), em quatro sistemas de manejo e avaliados na profundidade de 0-10 cm, na Chapada do Araripe – PE.

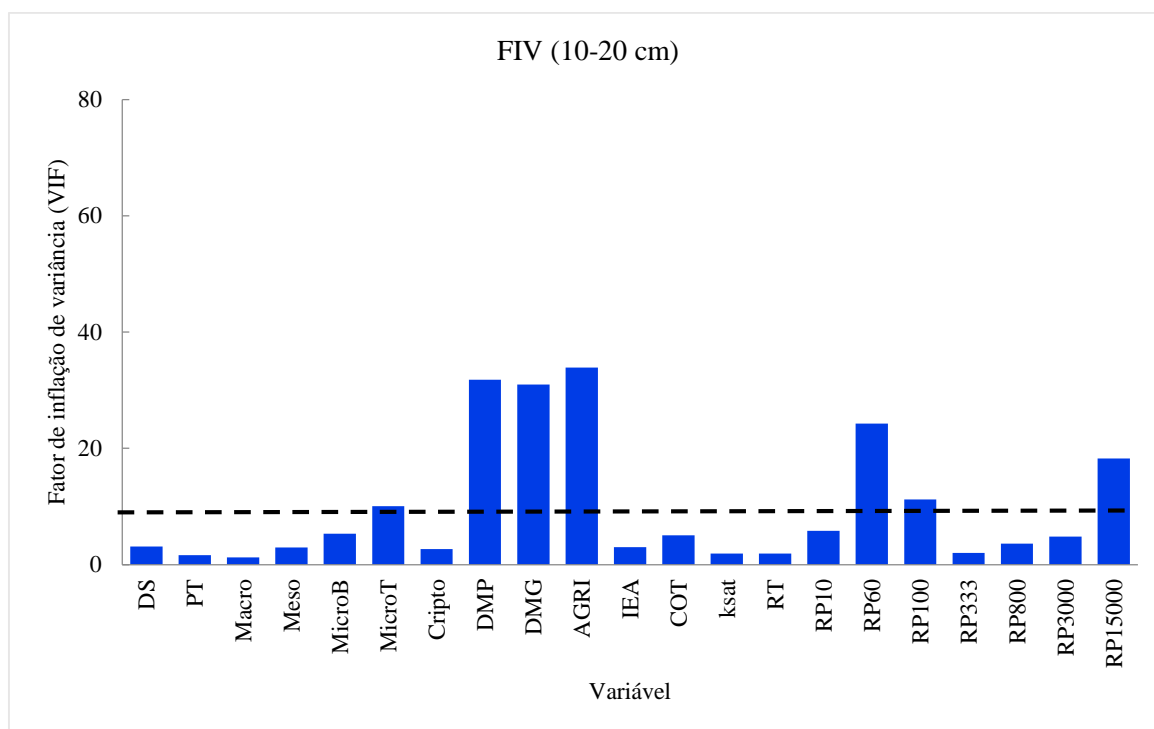


Figura 11- Diagnóstico de multicolinearidade para as variáveis explicativas, com base no fator de inflação de variância (FIV), em quatro sistemas de manejo avaliados na profundidade de 10-20 cm, na Chapada do Araripe – PE.

Quando não há correlação entre os atributos do solo, a identificação de padrões de agrupamento dos atributos nos fatores não é possível (Brejda et al., 2000; Mingoti, 2007). Todavia, correlações significativas ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) foram observadas em 47 dos 81 pares de atributos do solo submetidos à análise de correlação para as profundidades 0-10 e 10-20 cm (Tabelas 10 e 11). A alta frequência de correlações ( $f > 50\%$ ) indica que os atributos do solo podem ser agrupados em fatores baseados nas suas estruturas de correlação.

Tabela 10. Correlação entre as variáveis altamente carregadas da análise de componentes principais (0 – 10 cm profundidade).

Variáveis	Ds	PT	Macro	Meso	Micro B.	Micro T.	Ksat	RP60	RP333
Ds	1								
PT	-0,471*	1							
Macro	-0,500*	0,238**	1						
Meso	0,000	-0,103	-0,093	1					
Micro B.	-0,573*	0,209	0,759*	-0,224**	1				
Micro T.	0,378*	-0,044	-0,227**	-0,512*	-0,226**	1			
Ksat	0,169	0,055	-0,296*	0,290*	-0,441*	-0,074	1		
RP60	-0,350*	0,033	0,485*	-0,032	0,395*	-0,362*	-0,228**	1	
RP333	0,126	-0,086	-0,203	-0,617*	0,099	0,468*	-0,281*	-0,121	1

\* Correlação significativa ao nível de  $p < 0,01$ ; \*\* Correlação significativa ao nível de  $p < 0,01$ , Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RP 60: resistência do solo à penetração (60 kPa); RP 333: resistência do solo à penetração (333 kPa).

Tabela 11. Correlação entre as variáveis altamente carregadas da análise de componentes principais (10 – 20 cm profundidade).

Variáveis	Ds	PT	Micro B.	Micro T.	Cripto.	COT	ksat	RT	RP100	RP3000
Ds	1									
PT	-0.461*	1								
Micro B.	0.079	0.196	1							
Micro T.	0.597*	-0.287*	-0.086	1						
Cripto.	-0.268**	0.161	0.493*	-0.274**	1					
COT	-0.389*	0.311*	-0.068	-0.677*	-0.068	1				
Ksat	-0.263**	0.163	-0.071	-0.416*	-0.025	0.459*	1			
RT	0.068	0.152	0.357*	-0.082	0.257**	0.029	0.209	1		
RP100	0.447*	-0.221**	0.376*	0.582*	0.159	-0.716*	-0.526*	0.101	1	
RP3000	0.460*	-0.297*	0.131	0.648*	0.099	-0.808*	-0.504*	0.046	0.740*	1

\* Correlação significativa ao nível de  $p < 0,01$ ; \*\* Correlação significativa ao nível de  $p < 0,01$ , Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; COT: carbono orgânico total; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RT: resistência tênsil de agregados; RP 100: resistência do solo à penetração (100 kPa); RP 3000: resistência do solo à penetração (3000 kPa).

De modo geral, a maioria dos atributos se correlacionaram negativamente, com a Ds apresentando correlações com a maioria dos atributos em ambas as profundidades (Tabela 10 e 11). A maior correlação positiva ocorreu na profundidade de 0-10 cm entre os atributos Macro e Micro B. ( $r = 0,750$ ), e a maior correlação negativa ocorreu na profundidade de 10-20 cm entre os atributos COT e RP3000 ( $r = -0,808$ ).

Os resultados mostraram que 84,91% e 79,96% da variância total foram explicadas por duas componentes principais (CPs) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, respectivamente (Tabelas 12 e 13). Em ambas as profundidades, os dois fatores tiveram autovalores  $> 1$ , e foram retidos para interpretação, ou seja, foram considerados para o desenvolvimento do IQS. As comunalidades estimam a proporção da variância em cada atributo do solo que é explicada pelos fatores (Brejda et al., 2000), ou seja, quanto maior a comunalidade, maior será o poder de explicação da variável pelo fator. Os dois fatores explicaram mais de 90% da variação nos atributos Ds, Macro, Meso, Micro B., Ksat e RP60 na profundidade de 0-10 cm, assim como, PT, Micro B., Micro T., Cripto, RT, RP100 e RP3000 na profundidade de 10-20 cm (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12. Cargas fatoriais rotacionadas e comunalidades de um modelo de dois fatores calculados a partir de atributos do solo na profundidade de 0-10 cm de sistemas de manejo da Chapada do Araripe – PE.

Atributos do solo	Fator		Comunalidades
	1	2	
Ds	<b>-0,95</b>	0,27	<b>0,98</b>
PT	<b>0,88</b>	-0,04	<b>0,77</b>
Macro	<b>0,95</b>	-0,07	<b>0,91</b>
Meso	-0,20	<b>-0,98</b>	<b>1,00</b>
Micro B.	<b>0,99</b>	0,12	<b>0,99</b>
Micro T.	-0,36	<b>0,86</b>	<b>0,87</b>
Cripto	-0,69	0,38	0,62
IEA	0,02	0,70	0,49
Ksat	<b>-0,81</b>	-0,50	<b>0,90</b>
RT	0,74	0,32	0,65
RP60	<b>0,98</b>	-0,22	<b>1,00</b>
RP100	-0,56	0,77	0,91
RP333	-0,03	<b>0,91</b>	<b>0,84</b>
RP800	0,66	0,74	0,97
Autovalores	7,12	4,77	
Porcentagem da variância explicada	50,78	34,13	
Porcentagem acumulada	50,78	84,91	

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RT: resistência tênsil de agregados; RP: resistência do solo à penetração (60, 100, 333, 800 – kPa). Fatores em negrito são considerados altamente carregados e selecionados como indicadores de qualidade do solo.

Os dois fatores também explicaram mais de 80 % da variação nos atributos Micro T. e RP333 em 0-10 cm, e Ds, COT e Ksat em 10-20 cm. Entretanto, apenas o atributo PT na profundidade de 10-20 cm apresentou variação acima de 70% (Tabela 13). De forma geral, todos esses parâmetros foram correlacionados entre si ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,05$ ) (Tabelas 10 e 11). Dessa forma, na profundidade de 0-10 cm, os atributos que compuseram o IQS foram Ds, PT, Macro, Meso, Micro B., Micro T. Ksat, RP60 e RP333 (Tabela 14). Assim como na profundidade de 10-20 cm, os atributos Ds, PT, Micro B., Micro T., Cripto, COT, Ksat, RT, RP100 e RP3000 (Tabela 15).

Esses resultados confirmam a importância desses atributos do solo no diagnóstico e monitoramento da qualidade física de solos sob diferentes sistemas de uso. Diante da lista de tais atributos que têm relação direta com o IQS, pode-se sugerir que, aqueles que são de mais fácil determinação, e rotineiramente determinados em pesquisas, tais como a PT e Ds, podem ser utilizados para avaliar o impacto ambiental que certos sistemas de uso e manejo promovem no ambiente.

Tabela 13. Cargas fatoriais rotacionadas e comunalidades de um modelo de dois fatores calculados a partir de atributos do solo na profundidade de 10-20 cm de sistemas de manejo da Chapada do Araripe – PE.

Atributos do solo	Fator		Comunalidades
	1	2	
Ds	<b>0,93</b>	-0,02	<b>0,86</b>
PT	<b>-0,85</b>	0,49	<b>0,96</b>
Macro	0,71	0,66	0,94
Meso	-0,64	-0,45	0,60
Micro B.	0,10	<b>0,95</b>	<b>0,91</b>
Micro T.	<b>0,95</b>	-0,24	<b>0,96</b>
Cripto	-0,13	<b>0,98</b>	<b>0,97</b>
IEA	-0,78	-0,09	0,61
COT	<b>-0,93</b>	-0,14	<b>0,89</b>
Ksat	<b>-0,93</b>	-0,07	<b>0,88</b>
RT	-0,05	<b>0,95</b>	<b>0,91</b>
RP100	<b>0,86</b>	0,46	<b>0,96</b>
RP333	-0,14	-0,34	0,13
RP800	0,65	0,17	0,45
RP3000	<b>0,96</b>	0,16	<b>0,96</b>
Autovalores	8,13	3,86	
Porcentagem da variância explicada	52,57	27,39	
Porcentagem acumulada	52,57	79,96	

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; IEA: índice de estabilidade de agregados; COT: carbono orgânico total; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RT: resistência tênsil de agregados; RP: resistência do solo à penetração (100, 333, 800, 3.000 – kPa). Fatores em negrito são considerados altamente carregados e selecionados como indicadores de qualidade do solo.

A análise de componentes principais como método multivariado de dados, com os indicadores selecionados permitiu calcular os pesos ( $W_i$ ) de cada indicador, em função dos autovalores e da explicabilidade do indicador pelo fator retido (Tabelas 14 e 15). Procedimento semelhante foi utilizado por Andrade et al. (2005) para obtenção dos pesos de indicadores da qualidade da água no vale do rio Trussu, no Ceará. Assim como, Borges (2013) na avaliação da recuperação de áreas mineradas para bauxita em Minas Gerais. Dentre as profundidades, os pesos dos atributos selecionados variaram de 0,06 a 0,13. Na profundidade de 0-10 cm os atributos Ds, Micro B., Ksat e RP60 apresentam maior peso, enquanto na profundidade de 10-20 cm, o atributo PT apresentou o maior peso.

Como observado anteriormente, esses resultados podem nortear a tomada de decisão a respeito da manutenção da sustentabilidade ambiental, diagnóstico sobre os impactos no ambiente promovidos pelas atividades agrícolas, e assim monitorar as



prováveis modificações nos atributos do solo, utilizando aqueles indicadores confiáveis e de mais fácil obtenção, como, neste caso, a porosidade total do solo e sua densidade.

Tabela 14. Atributos físicos na camada de 0-10 cm, selecionados como indicadores da qualidade de solo, suas cargas fatoriais rotacionadas e pesos no Índice de Qualidade do Solo (IQS), de sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE

Atributos do solo	Fatores		W <sub>i</sub>
	1	2	
Ds	-0,96	0,22	0,13
PT	0,88	-0,07	0,11
Macro	0,96	-0,07	0,12
Meso	-0,17	-0,98	0,09
Micro B.	0,98	0,16	0,13
Micro T.	-0,38	0,80	0,10
Ksat	-0,80	-0,56	0,13
RP60	0,98	-0,18	0,13
RP333	-0,06	0,96	0,07
Autovalores	5,35	2,94	
Porcentagem da variância explicada	59,35	32,68	
Porcentagem acumulada	59,35	92,03	

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração (60, 333 – kPa).

Tabela 15. Atributos físicos na camada de 10-20 cm, selecionados como indicadores da qualidade de solo, suas cargas fatoriais rotacionadas e pesos no Índice de Qualidade do Solo (IQS), de sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE.

Atributos do solo	Fatores		W <sub>i</sub>
	1	2	
Ds	0,88	-0,02	0,10
PT	-0,83	0,55	0,13
Micro B.	0,12	0,97	0,07
Micro T.	0,91	-0,26	0,12
Cripto	-0,06	0,96	0,07
COT	-0,97	-0,07	0,11
Ksat	-0,97	0,01	0,11
RT	-0,03	0,98	0,06
RP100	0,91	0,39	0,12
RP3000	0,99	0,09	0,11
Autovalores	6,00	3,34	
Porcentagem da variância explicada	59,56	33,54	
Porcentagem acumulada	59,86	93,40	

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; COT: carbono orgânico total; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RT: resistência tênil de agregados; RP: resistência do solo à penetração (100, 3.000 – kPa).

Houve diferença significativa entre os IQSs dos sistemas de manejo avaliados nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm ( $p < 0,05$ ) (Figuras 12 e 13). Na profundidade 0-10 cm o IQS foi maior seguindo a ordem: Caatinga Preservada ( $0,80 \pm 0,04$ , média  $\pm$  desvio padrão)  $>$  Caatinga Degradada ( $0,76 \pm 0,03$ ) = Eucalipto ( $0,76 \pm 0,03$ )  $>$  Mandioca ( $0,69 \pm 0,03$ ) (Figura 12). Na profundidade de 10-20 cm, o IQS foi maior seguindo a ordem: Eucalipto ( $0,87 \pm 0,03$ )  $>$  Caatinga Degradada ( $0,78 \pm 0,03$ )  $>$  Caatinga Preservada ( $0,77 \pm 0,03$ )  $>$  Mandioca ( $0,73 \pm 0,03$ ) (Figura 13).

Considerando os resultados obtidos na camada superficial, embora a área com eucalipto não tenha o mesmo IQS que a área de mandioca, ambas apresentaram os menores valores de qualidade entre as quatro áreas. Essas duas áreas são as que possuem manejo estabelecido em determinados períodos, principalmente com a utilização de máquinas, seja para aração e gradagem, como na área da mandioca; ou para o corte das árvores, como no caso da área de eucalipto. Esses maquinários podem promover diferentes modificações na estrutura do solo.

No geral na profundidade de 0-10 cm, a contribuição das variáveis para o IQS foi na seguinte ordem: Ds ( $0,48 \pm 0,06$ )  $>$  RP60 ( $0,46 \pm 0,013$ )  $>$  PT ( $0,42 \pm 0,004$ )  $>$  Micro B. ( $0,38 \pm 0,02$ )  $>$  Ksat ( $0,35 \pm 0,04$ )  $>$  Macro ( $0,30 \pm 0,03$ )  $>$  Meso ( $0,26 \pm 0,015$ )  $>$  Micro T. ( $0,22 \pm 0,03$ )  $>$  RP333 ( $0,14 \pm 0,02$ ). A Ds será elevada de forma significativa após o tráfego de máquinas agrícolas, causando redução da macroporosidade e, conseqüentemente, diminuição da qualidade do solo.

Podemos destacar o melhor resultado de IQS na área de preservada, por se tratar de uma área de mata preservada, há maior concentração de diferentes espécies, fazendo com que se tenha essa maior concentração de raízes e com isso ocorra a maior variabilidade na porosidade e, conseqüentemente, nos valores obtidos neste estudo. A respeito disso, de acordo com o que foi discutido no Capítulo I, a área degradada está passando por um processo de recuperação, em partes, das características físicas e químicas do solo, podendo ser observados algumas pequenas plantas arbustivas na área, sendo um indicador de um novo ciclo de restabelecimento de espécies, o que pode ser comprovado pelo resultado de IQS.

Na profundidade de 10-20 cm, a contribuição das variáveis para o IQS foi na seguinte ordem: PT ( $0,46 \pm 0,07$ )  $>$  COT ( $0,42 \pm 0,04$ )  $>$  Ds ( $0,38 \pm 0,05$ )  $>$  RP3000 ( $0,35 \pm 0,02$ )  $>$  RP100 ( $0,32 \pm 0,03$ )  $>$  Micro B. ( $0,27 \pm 0,06$ )  $>$  Ksat ( $0,26 \pm 0,03$ )  $>$  Micro T. ( $0,24 \pm 0,04$ )  $>$  Cripto ( $0,23 \pm 0,01$ )  $>$  RT ( $0,21 \pm 0,01$ ).

A área de eucalipto foi a que apresentou melhores valores de COT possivelmente dado pelo o maior aporte de serrapilheira, refletindo no melhor estado de agregação do solo nessa área. Esses resultados contribuíram para que a área de eucalipto apresentasse também os melhores valores de RP. Como esta área também apresentou os maiores valores de microporos e criptoporos e esses indicadores foram fundamentais para a obtenção do IQS na profundidade 10-20 cm, explica-se então o resultado de IQS obtido.

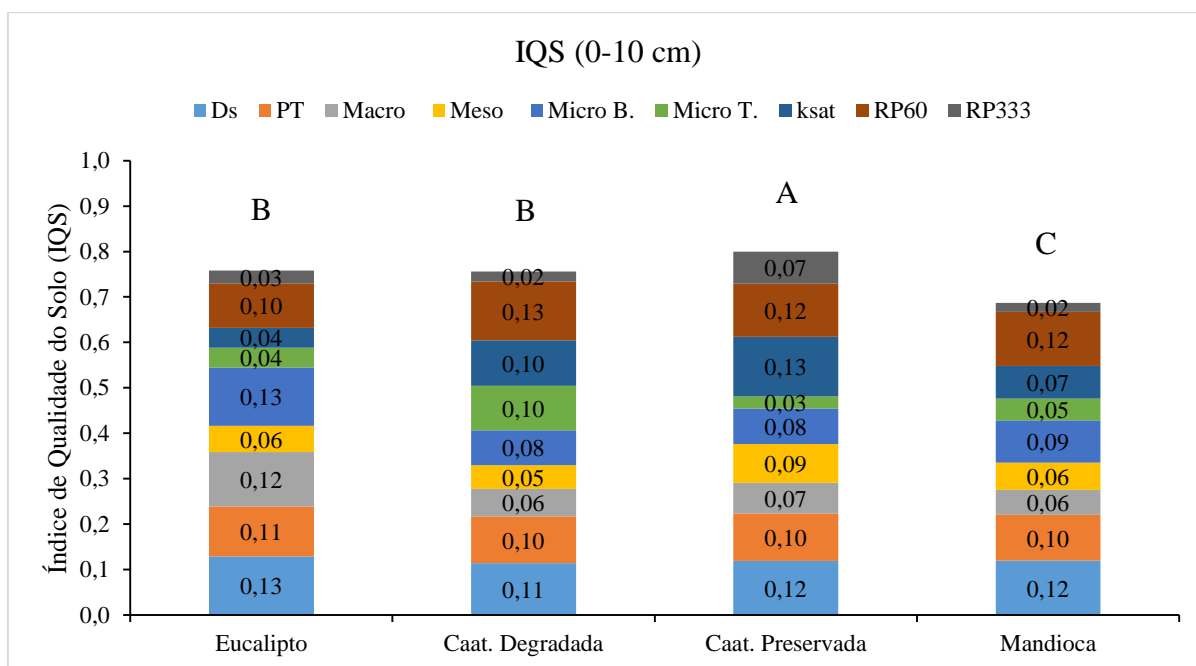


Figura 12- Médias dos Índices de Qualidade do solo (IQS) e contribuição de cada indicador no IQS na profundidade 0-10 cm, em áreas sob sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE. Médias seguidas de mesma letra maiúscula em cada sistema não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Meso: mesoporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RP: resistência do solo à penetração (60, 333 – kPa).

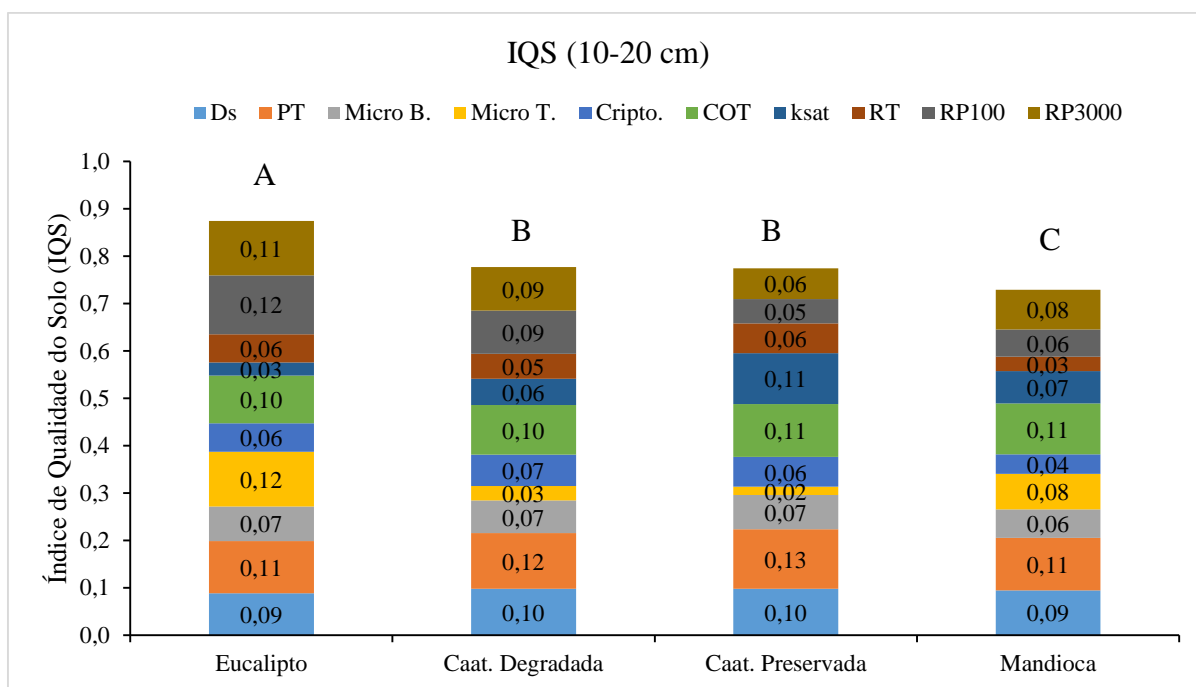


Figura 13- Médias dos Índices de Qualidade do Solo (IQS) e contribuição de cada indicador no IQS na profundidade de 10-20 cm, em áreas sob sistemas de manejo na Chapada do Araripe-PE. Médias seguidas de mesma letra maiúscula em cada sistema não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro B.: microporosidade biológica e estrutural; Micro T.: microporosidade textural; Cripto.: criptoporosidade; COT: carbono orgânico total; Ksat: condutividade hidráulica saturada; RT: resistência tênsil de agregados; RP: resistência do solo à penetração (100, 3.000 – kPa).

#### 4. CONCLUSÕES

De modo geral, os indicadores que mais responderam quanto à classificação do IQS foram a DS e a PT. A distribuição de tamanho de poros e a RP, COT e Ksat são fatores importantes e que se relacionam diretamente com os atributos principais.

Com os resultados de IQS, observa-se que a área de mandioca evidenciou os piores resultados quando comparada às demais áreas, nas duas profundidades estudadas sendo a área preservada a que evidenciou os melhores resultados na área superficial. Em subsuperfície essa área também apresenta bons resultados, reforçando o que foi discutido neste trabalho. Os resultados de IQS nas duas profundidades analisadas comprovam que a área degradada está passando por um processo de recuperação das suas características físicas.

**BIBLIOGRAFIAS**

ADDINSOFT, XLSTAT 2018: Data analysis and statistical solution for Microsoft Excel. 2018.

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. S. Índice de qualidade de água, uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. Rev. Ci. Agron., p. 135-142, 2005.

ARAÚJO, R. et al. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 05, p. 1099-1108, 2007.

BARRIOS, E.; COUTINHO, H. L. C.; MEDEIROS, C. A. B. InPaC-S: Participatory knowledge integration on indicators of soil quality, methodological guide. World agroforestry, Embrapa and Centro internacional de agricultura tropical. 180p. 2012.

BHARDWAJ, A. K., JASROTIA, P., HAMILTON, S.K., ROBERTSON, G.P., 2011. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. Agric. Ecosyst. Environ. 140, 419-429.

BORGES, S.R., 2013. Qualidade do Solo em Áreas em Recuperação com Forrageiras e Cafeeiro Pós-Mineração de Bauxita. 2013. 123 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BREJDA, J. J., MOORMAN, T. B., KARLEN, D. L., DAO, T. H., 2000. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and Southern High Plains. Soil Sci. Soc. Am. J. 64, 2115-2124.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, n.5, p.777-788. 2005.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, n.6, p.1381-1396. 2007.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. Chapters 1-8, p.1-21. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA special publication, Inc., Madison, Wisconsin, USA, n.35. 244p. 1994.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. Agriculture, ecosystems and environment, v.80, n.1, p.29-45. 2000.

HAIR, J.F.; Black, W.C.; Babin, B.J.; Anderson, R.E.; Tatham, R.L. Análise multivariada de dados. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

KARLEN, D.L., STOTT, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W. et al. (Ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Sci. Soc. Am. 53-72.

LIEBIG, M. A., VARVEL, G. E., DORAN, J. W., 2001. A simple performance-based index for assessing multiple agroecosystem functions. *Agron. J.*, 93, 313-318.

MELO FILHO, J. F de. et al. Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 31, n. 04, p. 1168-1177, 2009.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 297 p.

MUKHOPADHYAY, S., MASTO, R. E., YADAV, A., GEORGE, J., RAM, L. C., SHUKLA, S.P., 2016. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. *Sci.Total Environ.* 542, 540–550.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, v.X, n.2, p.137-148. 2007.

SHARMA, K. L., MANDAL, U. K., SRINIVAS, K., VITTAL, K. P. R., MANDAL, B., GRACE, J. K., et al., 2005. Long-term soil management effects on crop yield and soil quality in a dry land alfisol. *Soil Tillage Res.* 83, 246–259.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista brasileira de ciência do solo*. Viçosa, v.33, n.4, p.743-755. 2009.

**APÊNDICES****Descrição e classificação dos perfis de solos da Chapada do Araripe.****APÊNDICE A - DESCRIÇÃO GERAL PERFIL 1**

PERFIL: P1 – Área sob vegetação nativa preservada - AP

DATA:03/04/2016

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Amarelo distrófico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Propriedade particular do senhor Sebastião, área sob vegetação nativa preservada, município de Araripina (PE), 7° 25' 36" S e 40° 25' 50" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo plano de chapada, declive de 0-2% de mata nativa

ALTITUDE: 837m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Arenitos da formação Exú

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de alteração das rochas supracitadas

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO Primária: carrasco

USO ATUAL: Sem uso

CLIMA: Bshw, da classificação de koppen.

DESCRITO E COLETADO POR: ARAÚJO FILHO, J. C.; REZENDE, J. S.

## APÊNDICE B – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA PERFIL 1

A – (0-17cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/3, úmida) e bruno (7,5 YR 5/3, seca); franco arenosa; fraca a moderada/pequena a média, blocos sub angulares, granular e grãos simples; ligeiramente dura; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB – (17-39cm), Bruno-claro (7,5 YR 5/6, úmida). e Bruno-amarelado (7,5 YR 6/4, seca); franco-Arenosa; fraca a moderada/pequena a média. blocos sub angulares, ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e gradual.

BA – (39-63cm), Bruno-claro (7,5 YR 5/6, úmida); franco-arenosa; fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW1 – (63-100cm), Bruno-claro (7,5 YR 5/8, úmida); franco-argilo-arenosa; fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura; muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

BW2 – (100-180+cm), Amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, úmida).; franco-argilo-arenosa; fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

RAÍZES: muito finas, comuns médias e poucas grossas nos horizontes A e AB; comuns finas e poucas médias no BA; comuns finas e raras médias no BW1; poucas finas no BW2.

OBSERVAÇÕES: Solo ligeiramente úmido ao longo do perfil com algumas partes secas nos horizontes A e AB; Presença de raízes em todo perfil; Área sob vegetação nativa, denominada de carrasco, presença de pequena quantidade de minerais ferromagnéticos, A cor do solo é amarelo tendendo para vermelho amarelo; Solo ligeiramente mais arenoso que as demais área



**APÊNDICE C - DESCRIÇÃO GERAL PERFIL 2**

PERFIL: P2 – Área sob vegetação nativa degradada-AD

DATA:04/04/2016

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Amarelo distrófico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E ESTADO E COORDENADAS: Área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Área sob vegetação nativa degradada, Município de Araripina (PE), 7° 27' 52" S e 40° 25' 3" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo plano de chapada, declive de 0-2% sob degradação

ALTITUDE: 830m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Arenitos da formação Exú

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de alteração das rochas supracitadas

PEDREGOSIDADE: Ausente

ROCHOSIDADE: Ausente

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO Primária: carrasco

USO ATUAL: Sem uso

CLIMA: Bshw, da classificação de koppen

DESCRITO E COLETADO POR: ARAÚJO FILHO, J. C.; REZENDE, J. S.

## APÊNDICE D – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA PERFIL 2

AP– (0-14cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/4, úmida) e bruno-amarelado (7,5 YR 6/4, seca), franco-arenosa, fraca/pequena a média. blocos sub angulares e grãos simples, ligeiramente dura a dura e macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB – (14-45cm), bruno (7,5 YR 5/4, úmida) e bruno-amarelado (7,5 YR 6/4, seca), franco-arenosa; fraca a moderada/pequena a média, blocos sub angulares e grãos simples, ligeiramente dura a macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BA – (45-75cm), bruno-claro (7,5 YR 5/6, úmida) e amarelo avermelhado (7,5 YR 6/6, seca), franco-arenosa, fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura a macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW1 – (75-110cm), amarelo avermelhado (7,5 YR 6/6, úmida) e amarelo avermelhado (7,5 YR 7/6, seca), franco-argiloarenosa, fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura a macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW2 – (110-180+cm), bruno-claro (7,5 YR 5/8, úmida) e amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, seca), franco-argiloarenosa, fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura a macia; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

**RAÍZES:** Comuns finas, raras grossas e médias nos horizontes AP e AB; poucas finas, raras médias no BA; raras finas e médias nos horizontes BW1 e BW2.

**OBSERVAÇÕES:** Área em processo de degradação visível pela presença de clareiras, onde não nasce vegetação ao longo de décadas, presença de pequena quantidade de minerais ferromagnéticos, presença de mosqueados pouco, grande e difusos, presença de crosta de 1cm, que causa impedimento de infiltração de água no solo. A chuva provocou

separação da areia e argila entorno do local da trincheira. O solo se encontra totalmente seco no perfil, diferente das outras áreas.

### **APÊNDICE E - DESCRIÇÃO GERAL PERFIL 3**

**PERFIL:** P3 – Área sob monocultivo de mandioca -AM

**DATA:**02/04/2016

**CLASSIFICAÇÃO:** Latossolo Amarelo distrófico

**LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E ESTADO E COORDENADAS:** Área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, Área sob cultivo convencional (monocultivo de mandioca), município de Araripina, 7° 27' 40" S e 40° 25' 21" W

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:** Topo plano de chapada, declive de 0-2% sob cultivo de mandioca.

**ALTITUDE:** 828m

**LITOLOGIA E CRONOLOGIA:** Arenitos da formação Exú

**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Produtos de alteração das rochas supracitadas

**PEDREGOSIDADE:** Ausente

**ROCHOSIDADE:** Ausente

**RELEVO LOCAL:** Plano

**RELEVO REGIONAL:** Plano

**EROSÃO:** Não aparente

**DRENAGEM:** Acentuadamente drenado

**VEGETAÇÃO Primária:** carrasco

**USO ATUAL:** Mandioca

**CLIMA:** Bshw, da classificação de koppen

**DESCRITO E COLETADO POR:** ARAÚJO FILHO, J. C.; REZENDE, J. S.

### APÊNDICE F – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA PERFIL 3

AP – (0-17cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/3, úmida); franco-arenosa, fraca/pequena a média. blocos sub angulares e granular; muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB – (17-38cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/4, úmida); franco-Arenosa; fraca a moderada/pequena a média. blocos sub angulares; muito friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e gradual.

BA – (38-65cm), bruno-claro (7,5 YR 5/6, úmida), franco-arenosa+; fraca/pequena a média. blocos sub angulares; muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW1 – (65-110cm), bruno-claro (7,5 YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca/pequena a média, blocos sub angulares, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW2 – (110-180+cm), amarelo avermelhado (7,5 YR 6/6, úmida); franco-argiloarenosa; fraca/pequena a média. blocos sub angulares e forte muito pequena granular; muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte AP; poucas finas no AB, BA e BW1; raras finas no BW2.

**APÊNDICE G - DESCRIÇÃO GERAL PERFIL 4**

PERFIL: P4 – Área sob uso agro-energético de eucalipto- AE

DATA:02/04/2016

CLASSIFICAÇÃO: Latossolo Amarelo distrófico

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, área sob cultivo de eucalipto, município de Araripina, 7° 27' 40" S e 40° 24' 39" W

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: topo plano de chapada, declive de 0-2% sob cultivo de eucalipto

ALTITUDE: 828m

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Arenitos da formação Exú

MATERIAL ORIGINÁRIO: Produtos de alteração das rochas supracitadas

PEDREGOSIDADE: AUSENTE

ROCHOSIDADE: Ausente

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Acentuadamente drenado

VEGETAÇÃO Primária: carrasco

USO ATUAL: Eucalipto

CLIMA: Bshw, da classificação de koppen

DESCRITO E COLETADO POR: ARAÚJO FILHO, J. C.; REZENDE, J. S.

#### APÊNDICE H – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA PERFIL 4

AP – (0-17cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/3, úmida) e bruno (7,5 YR 5/4, seca), franco-arenosa, fraca/pequena a média, blocos sub angulares e granular, ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e clara.

AB – (17-40cm), bruno-escuro (7,5 YR 4/6, úmida) e bruno (7,5 YR 5/4, seca); franco-arenosa, fraca a moderada/pequena a média, blocos sub angulares, ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e gradual.

BA – (40-69cm), bruno-claro (7,5 YR 5/6, úmida); franco-arenosa+; fraca/pequena a média. blocos sub angulares, ligeiramente dura; muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

BW1 – (69-115cm), bruno-claro (7,5 YR 5/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca/pequena a média. blocos sub angulares e forte muito pequena granular; ligeiramente dura a macia; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

BW2 – (115-190+cm), amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8, úmida); franco-argiloarenosa; fraca/pequena a média, blocos sub angulares e forte muito pequena granular, ligeiramente dura a macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e difusa.

RAÍZES: Comuns finas no horizonte AP; poucas finas e médias e raras grossas no AB, poucas finas, médias e grossas no BA, raras finas e médias no BW1, raras finas no BW2.

OBSERVAÇÕES: Solo ligeiramente úmido até 1m de profundidade. Solo sob cultivo de eucalipto. Presença marcante de raízes de Eucalipto até 1m de profundidade. Presença de pequena quantidade de minerais ferromagnéticos. Presença de carga orgânica que caracteriza o horizonte O.