

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

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**MANEJO DA QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS COESOS EM
TABULEIRO COSTEIRO DE PERNAMBUCO**

VALERIO FERREIRA MARCELO

Orientador: Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Coorientador: Dr. José Coelho de Araújo Filho

Recife, PE

Fevereiro, 2015

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

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Valerio Ferreira Marcelo

**Manejo da Qualidade Física de Solos Coesos em Tabuleiro
Costeiro de Pernambuco**

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

Coorientador: Dr. José Coelho de Araújo Filho

Recife, PE

Fevereiro, 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**MANEJO DA QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS COESOS EM TABULEIRO
COSTEIRO DE PERNAMBUCO**

VALERIO FERREIRA MARCELO

APROVADO EM: 20 de fevereiro de 2015.

Prof. Dr. Marcelo Metri Corrêa

Prof. Dr. André Maciel Netto

Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida

Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva

Coordenador do PPEAMB

AGRADECIMENTOS

A Deus, aos meus protetores, guias, mestres(as) e orixás. A minha família pelo amor, apoio e compreensão. A minha mãe Lídia por me educar, a minha companheira Giordanna por estar sempre comigo, a minha filha Lara por acreditar no pai e a minha sogra Valdenice por apoiar incondicionalmente nesta empreitada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Brivaldo Gomes de Almeida pela orientação responsável e o seu compromisso com a boa pesquisa e ensino, além do companheirismo nos momentos decisivos da pesquisa e por manter o ambiente de trabalho alegre.

Ao pesquisador José Coelho Araújo Filho por aceitar a coorientação da pesquisa.

Aos professores, estudantes e funcionários do Laboratório de Tomografia Computadorizada (LTC), do Núcleo em Ensaios não Destrutivos de Aplicação de Raios-X (NENDARX) do Departamento de Energia Nuclear/UFPE, por colaborarem tecnicamente com o estudo.

À coordenação do programa e aos funcionários do departamento por atender gentilmente as necessidades acadêmicas que surgiram no decorrer do curso.

Ao Instituto de Pesquisa Agrônômica de Pernambuco (IPA) representado aqui, na pessoa do Sr. Manuel Américo de Carvalho Fonseca, Supervisor da Estação Experimental de Itapirema/Goiana-PE, por ter disponibilizado a área de estudo para esta pesquisa e ter apoiado na logística interna durante as atividades realizadas na estação.

Aos amigos do programa pelo convívio e pelo aprendizado.

Aos companheiros permanentes e “circulantes” do laboratório de Física do Solo que apoiaram e contribuíram com a minha pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudos.

Socializar é compartilhar. Aqui agradeço, especialmente, aos que compartilharam comigo seus conhecimentos, alegrias, tempo e trabalho para realização deste estudo: Prof. Brivaldo, Prof. Cartaxo, Prof. Metri, Prof. Piscoya, Prof. Richard, Nana, Clodomir, Elvis, Elisângela, Hermon, Kairon, Wagner, Jailson, Marcos, Thiago, Hernan, Rodolfo, Diego, Heitor, Ana, Gabriela e Cássia.

A Denise, por contribuir na leitura e sugestões ortográficas no texto.

A capacidade do ser humano em colaborar com o seus semelhantes nunca será esgotada, pois a meu ver, esta é uma de nossas virtudes naturais. Aqui reforço o empenho do meu orientador Prof. Dr. Brivaldo e dos doutores Wagner e Jailson que saíram muitas vezes tarde do laboratório de Física do Solo e ampliaram sua dedicação durante seus horários reservados ao repouso em suas residências; por toda esta dedicação, reforço meus agradecimentos.

RESUMO

Os Tabuleiros Costeiros abrangem do Rio de Janeiro ao Amapá, esta unidade de paisagem possui camadas coesas de impedimento localizadas próximas à superfície do solo que promovem alterações no estado da água no solo, que reduz a disponibilidade de água às plantas, além de interferir no desenvolvimento de seu sistema radicular. O caráter coeso é o termo aplicado para descrever horizontes subsuperficiais que apresentam aumento significativo na coesão das suas partículas. Solos que apresentam o caráter coeso têm sérias limitações físicas, sobretudo pela presença de horizontes que apresentam, quando secos, uma forte coesão, restringindo o crescimento das plantas, mas, quando úmidos, a sua estrutura torna-se muito instável.

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de condicionadores químicos na melhoria da qualidade física de solos coesos no ambiente dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco, a partir de ensaios de atributos físicos e físico-hídricos. Foi aberto um perfil em área de plantio de cana-de-açúcar sobre Tabuleiro Costeiro na Zona da Mata Norte e coletado amostras estruturadas e não estruturadas do horizonte coeso. As amostras foram subdivididas em três tratamentos T0 (Controle), T1 (Poliacrilamida - PAM /100 mg kg⁻¹) e T2 (PAM + Gesso-CaSO₄2H₂O/1,523 g L⁻¹).

Os atributos físicos avaliados foram: Porosidade Total (macro, meso, micro e criptoporosidade); densidade do solo (Ds); curva característica de retenção de água no solo (CCRAS); resistência do solo a penetração de raízes (RP), intervalo hídrico ótimo (IHO). As médias dos parâmetros físicos analisados foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e para os parâmetros que apresentarem diferenças significativas foi aplicado o teste de Tukey, por meio do aplicativo SAS. A realização da toaleta no solo contido nos anéis volumétricos, antes ou após a aplicação dos condicionadores, não interfere nos resultados da densidade (Ds); A forma de distribuição de poros, evidenciou as modificações na porosidade no solo sob ação dos condicionadores; A resistência à penetração foi um atributo eficiente para avaliar a redução da coesão; O índice de estabilidade estrutural não foi conclusivo para a escolha do melhor tratamento; Os valores do IHO comprovam a eficiência deste atributo, com relação à disponibilidade de água para às plantas; O tratamento com PAM aumentou a disponibilidade de água às plantas.

Palavras-chave: poliacrilamida; gesso; porosidade; densidade.

ABSTRACT

The Coastal Plains cover of Rio de Janeiro to Amapá, this landscape unit has cohesive layers of impediment located near the soil surface that promote changes in the state of water in the soil, which reduces the availability of water to plants and interfere with the development of its root system. The cohesive character is the term applied to describe subsurface horizons that have a significant increase in the cohesion of its particles. Soils with the cohesive character have serious physical limitations, especially by the presence of horizons that have, when dry, a strong cohesion, restricting plant growth, but when wet, its structure becomes very unstable. The objective of this study was to evaluate the use of chemical conditioners in improving the physical quality of cohesive soils in the environment of the coastal Pernambuco, from physical and physical-hydric attributes trials. Opened a profile on acreage of cane sugar on the North Coast Plains Forest Zone and collected samples structured and unstructured the cohesive horizon. The samples were divided into three treatments T0 (control), T1 (polyacrylamide - PAM / 100 mg kg⁻¹) and T2 (PAM + Gypsum-CaSO₄2H₂O / 1,523 g L⁻¹). The evaluated attributes were: Total porosity (macro, meso, micro and criptoporosidade); bulk density (Ds); water retention curve characteristic of the soil (CCRAS); soil resistance to root penetration (RP), limiting water range (LLWR). The mean physical parameters analyzed were subjected to analysis of variance (ANOVA) and the parameters that differ significantly was the Tukey test, using the SAS application. The embodiment of the toilet in soil contained in the soil core before or after application of conditioners do not affect the results of the bulk density (BD); The form of distribution of pores, showed changes in porosity in the soil under the action of conditioners; The penetration resistance was efficient attribute to evaluate the reduction of cohesion; The structural stability index was not conclusive for choosing the best treatment; The values of the IHO demonstrated the efficacy of this attribute, regarding the availability of water for the plants; Treatment with WFP increased the availability of water to plants.

Keywords: polyacrylamide; plaster; porosity; density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Aspectos da área selecionada para abertura do perfil, destacando-se os horizontes	20
Figura 2	Sequência da amostragem dos solos, com destaque para os procedimentos de separação do bloco do perfil (a, b), acondicionamento do bloco (c, d, e) e inserção dos anéis (f)	21
Figura 3	Sequência de amostragem pelo segundo processo	22
Figura 4	Sequência dos procedimentos para obtenção das amostras sob tratamento	23
Figura 5	Penetrômetro de bancada.	30
Figura 6	Curva de retenção de água dos solos sob tratamentos, ajustada por Van Genuchten, com detalhes em: a) curvas entre a macroporosidade (0 à 10 cca); b) curvas na faixa úmida (10 à 333 cca); c) curvas na faixa mais seca (microporosidade, de 1000 a 15000 cca).	44
Figura 7	Curva da resistência do solo à penetração de raízes em função do potencial mátrico	45
Figura 8	Diagramas para o IHO nos tratamentos T0, T1 e T2	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Análise Granulométrica do Perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico	24
Tabela 2	Caracterização química do perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico	26
Tabela 3	Distribuição Estatística dos parâmetros utilizados como variáveis físicas do solo	32
Tabela 4	Parâmetros resultantes da regressão linear para (RP)	32
Tabela 5	Parâmetros resultantes da regressão linear para (θ_v)	33
Tabela 6	Distribuição dos tamanhos de poros dos solos sob tratamentos	36
Tabela 7	Distribuição simplificada dos tamanhos de poros dos solos sob tratamentos	37
Tabela 8	Análise granulométrica do perfil estudado sob ação dos tratamentos	38
Tabela 9	Densidade do solo do horizonte coeso sob ação dos tratamentos	41
Tabela 10	Parâmetros do IHO do solo coeso sob ação dos tratamentos	49
Tabela 11	Descrição morfológica do perfil do solo estudado	64
Tabela 12	Resistência do solo à penetração de raízes e densidade sob ação dos tratamentos	65
Tabela 13	Resistência do solo à penetração de raízes e umidade volumétrica sob ação dos tratamentos.	66

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Qualidade Física do Solo.....	14
2.2 Tabuleiros Costeiros.....	17
2.3 Formação e Origem do Horizonte Coeso	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 Área Estudada	21
3.2 Coleta das Amostras de Solo.....	22
3.3 Tratamento das Amostras.....	24
3.4 Análise Granulométrica do Solo	25
3.5 Argila Dispersa em Água (ADA).....	25
3.6 Caracterização Química do Horizonte Estudado	26
3.7 Caracterização Física do Horizonte Estudado.....	28
3.7.1 Porosidade (total, macro, meso, micro e criptoporosidade)	28
3.7.2 Densidade do Solo (Ds).....	29
3.7.3 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)	30
3.7.4 Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP)	30
3.7.5 Intervalo Hídrico Ótimo (IHO).....	31
3.7.6 Índice de Estabilidade Estrutural	34
3.8 Tratamento Estatístico	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Porosidade (total, macro, meso, micro e criptoporosidade)	36
4.2 Densidade do Solo (Ds).....	40
4.3 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)	43
4.4 Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP)	46
4.5 Intervalo Hídrico Ótimo (HIO).....	47
5. CONCLUSÃO	51
6. PERSPECTIVAS.....	52
7. REFERÊNCIAS	53
ANEXO A – DESCRIÇÃO MOFORLÓGICA DO SOLO	64

**APÊNDICE A – TABELA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO DE RAÍZES E DENSIDADE SOB AÇÃO DOS
TRATAMENTOS..... 66**

**APÊNDICE B - TABELA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO DE RAÍZES SOB AÇÃO DOS TRATAMENTOS..... 67**

1. INTRODUÇÃO

Os Tabuleiros Costeiros são formações Terciárias, com amplas superfícies planas e elevações de 30 a 150 m acima do nível do mar, Sobral et al. (2002), o termo faz referência à topografia plana, do tipo tabular apresentando também suave ondulação com menor frequência. Nos tabuleiros predominam os Latossolos Amarelos, Argissolos e alguns Latossolos Vermelho Amarelos.

Na unidade de paisagem Tabuleiros Costeiros, as camadas coesas de impedimento localizadas próximas à superfície do solo, promovem alterações complexas no estado da água no solo, reduzindo a disponibilidade de água às plantas, interferindo na frequência irrigação e lâminas de água a serem utilizadas.

A melhoria na qualidade física de solos, além de tradicionalmente ter sido avaliada por parâmetros físicos de solos como sua porosidade, também tem sido quantificada pela aplicação de condicionadores químicos em solos, principalmente naqueles que apresentam caráter coeso. Solos que apresentam o caráter coeso têm sérias limitações físicas, sobretudo pela presença de horizontes que apresentam, quando secos, uma forte coesão, restringindo o crescimento das plantas, mas, quando úmidos, a sua estrutura torna-se muito instável.

A importância social e econômica dos Tabuleiros Costeiros para os Estados do Nordeste, principalmente Pernambuco, é refletida pela proximidade das grandes concentrações urbanas, pela diversidade de explorações agrícolas. Trabalhos já foram propostos, apresentando soluções para a redução do caráter coeso desses solos, especificamente para aumentar a sua profundidade efetiva por meio de práticas mecânicas.

As práticas de manejo provocam alterações nos atributos do solo que podem significar perda de qualidade do mesmo, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica.

Em Pernambuco, Oliveira e Melo (1970) foram os pioneiros nos estudos de natureza físico-hídrica em solos de Tabuleiros Costeiros. Foram poucos os trabalhos produzidos nas décadas de 1970 e 1980, havendo uma retomada nas pesquisas nas décadas de 1990 e 2000, como visto em Araújo Filho (2001).

Um condicionador usualmente adicionado ao solo é o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). A aplicação de gesso melhora as características físicas do solo assim como a poliacrilamida (PAM), um condicionante muito usado no cenário internacional, que tem minimizado os impactos negativos da coesão na produção agrícola destes solos. Quando aplicado com o gesso, esse efeito tem sido potencializado. O PAM é um polímero condicionador de solos (ALMEIDA, 2008).

No Brasil, poucos são os estudos realizados com a aplicação de poliacrilamida em solos com horizontes coesos oriundos de Tabuleiros Costeiros no Nordeste do Brasil, como os estudos de Almeida (2008), Melo (2013) e Andrade (2014). Outra maneira de se avaliar a melhoria da qualidade de solos tem sido o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO). O IHO constitui-se em um índice que integra fatores relacionados diretamente com o crescimento das plantas, como a porosidade da aeração maior que 10%, água no solo nas tensões entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) e teor de água no solo em que a resistência a penetração do solo (RP) é menor que 2 MPa.

Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo geral, avaliar o uso de condicionadores químicos na melhoria da qualidade física de solos coesos no ambiente dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade Física do Solo

A crescente ênfase mundial sobre a agricultura sustentável está ligada a compreensão que os recursos naturais são finitos, também a propagação crescente da degradação do solo e a necessidade de preservar recursos da terra para longo prazo (RESENDE, 2002). O solo constitui a base para a existência de muitos outros recursos naturais como a vegetação nativa, a fauna e até mesmo a quantidade e a qualidade da água (AHRENS, 2007).

De acordo com a EMBRAPA (2006), solo pode ser definido como uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e pode ser vegetado na natureza onde ocorrem e, eventualmente, ter sido modificado por interferências antrópicas.

Segundo Arshad e Martin (2002), indicadores de qualidade do solo referem-se a atributos do solo mensuráveis que influenciam a capacidade do solo para desempenhar produção agrícola ou funções ambientais. Atributos que são mais sensíveis ao manejo são mais desejáveis como indicadores. Stefanoski et al. (2013) apresentaram como indicadores primários da qualidade do solo os atributos densidade, resistência à penetração, agregação (>2 mm), textura, porosidade total, infiltração e condutividade hidráulica saturada. Para Niero et al. (2010), as práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nos atributos do solo, que podem significar perda de qualidade, afetando a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola. O manejo do solo consiste num conjunto de operações realizadas com objetivos de propiciar condições favoráveis à sementeira, ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas, por tempo ilimitado (EMBRAPA, 2013).

Segundo Fernandes (2008), não há conhecimento de uma qualidade ideal para o solo, e o ideal será definido entre os vários tipos de solo e para cada cultura que está ou será estabelecida. Valer-se do planejamento das práticas de manejo e conservação, bem como buscar novas alternativas de manejo, pode ser a forma mais adequada de melhorar e ou conservar as qualidades produtivas do solo. Se o uso é intenso e de maneira inadequada, o solo perde a fertilidade pela diminuição das qualidades físicas, pela redução de nutrientes e de matéria orgânica e, também, pelo acúmulo de sais (FILIZOLA, 2012).

Segundo Nichols e Toro (2011), vários autores têm proposto índices para avaliar a qualidade do solo por meio de sua estabilidade, incluindo: diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), agregação estável em água (AEA), como sugerido por Kemper e Rosenau (1986). Outros, como Niewczas e Witkowska-Walczak (2003) e Six et al. (2004), propuseram, respectivamente, o índice de estabilidade de agregados (IEA) e índice de estabilidade normalizada (IEN). Porém, esses índices tanto carecem de uma clara diferenciação entre macroagregados estáveis e instáveis ou são aplicados somente a um conjunto específico de tamanhos de agregados e não ao solo como um todo (MARQUEZ et al., 2004). Nichols e Toro (2011) ainda comentam que esses índices também podem ser influenciados por fatores processuais que podem contribuir para a decomposição artificial de agregados de maior tamanho em agregados menores, por abrasão contra as telas ou colisão de partículas de grande porte contra partículas de menor porte. Além disso, os índices de estabilidade de agregados do solo raramente expressam numericamente os impactos de fatores mecânicos, ambientais ou biológicos.

Neste sentido, Reynolds et al. (2007) comentam sobre a utilização de um outro índice para avaliar a degradação de solos por meio da sua qualidade estrutural. Para estes autores, além dos principais indicadores da qualidade física do solo, tais como a capacidade de campo, água disponível às plantas, macroporosidade, densidade do solo, outros índices de estabilidade estrutural têm sido utilizados para diagnosticar o grau de degradação de solos, como o criado por Pieri (1992).

O índice de estabilidade estrutural (SI) sugerido por Pieri (1992) avalia a qualidade do solo por meio da estabilidade da sua estrutura. Com base nos resultados do SI, o autor sugere classes que dão noção do grau de degradação do solo, utilizando equação que relaciona os teores de carbono orgânico e frações de argila e silte (ver equação no item 3.7.7), necessários para manter a estrutura do solo.

Desse modo, os valores do índice criado por Pieri (1992) podem variar entre: $0 \leq SI_{(\%)} < \infty$. Assim, valores de $SI > 9\%$ indicam estrutura estável; $7\% < SI \leq 9\%$, indicam baixo risco de degradação estrutural; $5\% < SI \leq 7\%$, indicam alto risco de degradação, e $SI \leq 5\%$ indicam solos estruturalmente degradados.

Como o SI é baseado nos teores de carbono orgânico e frações granulométricas do solo, que não se relacionam diretamente à sua porosidade estrutural, e sim à “resiliência” da estrutura do solo, este índice é geralmente utilizado para diagnosticar a capacidade de recuperação de solos sob remediação.

Com relação a práticas de manejo do solo, Castro (1993) descreve três categorias: preparo primário, preparo secundário e cultivo do solo após o plantio. O preparo primário consiste em operações executadas em maiores profundidades no solo, com o objetivo de incorporar as plantas consideradas daninhas e os restos de cultura ao solo como também soltá-lo, por meio de mecanização com a aração e rolo-faca. O preparo secundário é executado subsequentemente ao primário e consiste no nivelamento e destorroamento do terreno, incorporação de herbicidas, retirada das ervas daninhas de forma que seja possível a semeadura de forma fácil. O cultivo do solo após semeadura é definida como toda a manipulação do solo após a implantação da cultura.

Quando se trata de manejo do solo dos Tabuleiros Costeiros, os horizontes coesos requerem práticas que reduzam a célere perda da água após o período das chuvas. As propriedades físicas dos solos e os fatores de crescimento das plantas, se arrançados de forma inadequada, podem elevar os custo de produção e perda da produtividade, sendo estes, problemas concretos da cadeia produtiva (CINTRA et al., 2004).

Na perspectiva de melhorar as condições produtivas do solo por meio de suas práticas de manejo, diversos condicionadores orgânicos e químicos estão sendo pesquisados, a exemplo de macrófitas aquáticas associadas a doses de fósforo (MACHADO et al., 2014). O gesso agrícola (sulfato de cálcio) subproduto resultante da produção de ácido fosfórico, como um condicionador de solo atuando como fonte de cálcio e enxofre, correção de solos sódicos e com elevados teores de potássio (VITTI et al., 2008). Aliados a estes condicionadores do solo, há a matéria orgânica em que sua função de condicionador de solo é muito mais relevante do que como fonte de nutrientes (SILVA, 2015). Outro condicionador de solo são as zeólitas, que atuam na retenção de água no solo, as zeólitas são um grupo de tectosilicatos com 50 tipos de minerais de ocorrência natural (BERNARDI et al. 2009).

Os primeiros condicionantes sintéticos utilizados no solo foram aplicados por volta dos anos de 1950 e foram experimentados na agricultura, horticultura e no paisagismo, no início dos anos 1960. O interesse foi reduzido quando experimentos apontaram que aqueles condicionantes eram fitotóxicos, pela presença elevada de monômeros de acrilamida (MORAES, 2001), mas, principalmente, os de carga positiva. Surge nos anos de 1980 uma nova geração de polímeros e co-polímeros (propenamida e propenamida-propenoato), os polímeros hidroretentores, promovendo a retomada aos experimentos em busca por metodologias que propiciassem o desenvolvimento de plantas em solos degradados.

Polímeros são macromoléculas de alta massa molar, formadas por unidades menores, chamadas monômeros. Estes reagem por adição ou condensação, produzindo polímeros com

diferentes propriedades físico-químicas e mecânicas (GONÇALVES, 2009). Santos et al. (2009), realizando experimentos com uso das poliacrilamidas aniônicas na região dos solos mediterrâneos do sul de Portugal, no Alentejo, onde se predomina a agricultura de sequeiro com solos erodidos, obteve estabilização da estrutura da superfície do solo e no controle da erosão induzidas pelas regas, redução de escoamento e da perda de solo além da elevação da infiltração da água.

Segundo Pires et al. (2012), os polímeros à base de poliacrilamida (PAM) são constituídos por uma longa cadeia de polímeros de grandes dimensões e elevado peso molecular, com relação às cargas são eletronegativos e solúveis em água. Suriani (2010) classifica os polímeros em três grupos: I) A água é fortemente confinada por ligação H-H, toda a água é retirada pelo polímero; II) Grande capacidade de absorver água, mas com pouca força de retenção; III) A água é apreendida por ligação fraca de H, e é liberada por longos períodos de tempo. A poliacrilamida atua na retenção de água preservando por maior tempo a umidade dessa forma reduzindo também a perda de nutrientes por lixiviação (BALENA, 1998).

Almeida et al. (2012), fazendo uso do PAM em solos hardsetting para redução da resistência tênsil (RT) de seus agregados, afirmaram ser possível recomendar o uso do PAM líquido, na dose 15 L ha⁻¹, combinado com gesso agrícola (CaSO₄ 2H₂O), dose de 10 t ha⁻¹ pois seus experimentos demonstraram significativa redução da RT.

Apesar das pesquisas com PAM em solos com caráter coeso terem avançado em outros países, como Austrália, no Brasil ainda há carência no que diz respeito à concentração ideal da PAM e sua combinação com outros condicionadores de solos, como gesso. Este foi o desafio propulsor dessa pesquisa, buscando contribuir para a redução do caráter coeso nos solos dos Tabuleiros Costeiros do Brasil, especificamente em Pernambuco.

2.2 Tabuleiros Costeiros

O termo “Tabuleiros Costeiros” é uma referência à topografia predominantemente plana, do tipo tabular e, com menos frequência, suavemente ondulada, em que se constata a ausência de vales profundos ou encostas com fortes declividades, compostas por superfícies na forma de meseta, que ocupam uma zona úmida costeira das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, sob clima de estações secas e úmidas bem definidas (JACOMINE, 2001). As elevações dos Tabuleiros Costeiros tem variações de 30 a 150 m acima do nível do mar, Sobral et al. (2002); os autores também afirmam que há uma grande variação climática nos

Tabuleiros Costeiros, com precipitação entre 500 a 1500 mm no período de seis meses, com temperatura anual próxima a 26° C e a temperatura média no mês mais frio superior a 15° C.

A irregularidade pluviométrica, a pobreza de nutrientes e a ocorrência das camadas coesas, são limitações atribuídas aos solos desta unidade de paisagem relacionadas à estrutura (ARAÚJO, 2000). “Nos Tabuleiros predominam os Latossolos Amarelos, os Argissolos (antes Podzólicos Vermelhos) e alguns Latossolos Vermelho-Amarelos” (LEPSH, 2007). Os principais solos apresentam diferenças texturais variando de argila arenosa a areia, apesar de morfologicamente serem uniformes. As diferenças de drenagem interna variam de moderada a excessiva (EMBRAPA/CPATC, 1994).

Na região Nordeste, os Tabuleiros Costeiros ocupam aproximadamente 8.420.000 hectares, representando 14% dos nove estados, onde estão concentrados 45% de sua população. Os Tabuleiros constitui uma das 20 grandes unidades de paisagens da região nordeste brasileira (SILVA JÚNIOR, 2006). Esta unidade de paisagem tem em seu favor a estação chuvosa que embora variável, é presente; solos com profundidade de 2m com ausência de pedras (rochas); a topografia variando de plana a ligeiramente ondulada e a localização próxima aos grandes centros consumidores (EMBRAPA/CPATC, 1994).

Ao longo do tempo, a unidade de paisagem Tabuleiros Costeiros tem sido explorada desde o processo de colonização, iniciando com o extrativismo, seguido pelas monoculturas da cana-de-açúcar, coco, cacau e citros, plantios de grãos, pastagens e essências florestais exóticas, entre outras atividades como a pecuária (SILVA JÚNIOR, 2006). Os Tabuleiros tem uma grande importância socioeconômica para os Estados nordestinos pelo grande potencial para produção de alimentos, ampla infraestrutura de transporte rodoviário e de terminais marítimos, aliados a um grande mercado potencial e demanda reprimida por produtos agrícolas, mesmo assim, apesar dessa importância, a atividade agropecuária tem sido inviabilizada pelas baixas produções e alta relação custo/benefício proporcionada pelas culturas (CINTRA e LIBARDI, 1998).

Nos Tabuleiros há a ocorrência de horizontes coesos, em que o termo caráter coeso é usado para distinguir solos com horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca e muito duros a extremamente duros quando secos, passando a friáveis ou firmes quando úmidos (EMBRAPA, 2013). A coesão ocorre tanto nas áreas sob floresta e áreas sob cultivo, por isso, não se considera o fenômeno como herança do manejo, a ocorrência indica ser um processo de transformação do seu material de origem (RIBEIRO, 1991).

2.3 Formação e Origem do Horizonte Coeso

Nos Tabuleiros Costeiros, caráter coeso é observado nos horizontes transicionais AB e ou BA entre 30 cm e 70 cm da superfície do solo, podendo prolongar-se até o Bw ou coincidindo com o Bt, no todo ou em parte. Uma amostra de horizonte coeso, quando seca, desmancha-se ao ser imersa em água (EMBRAPA, 2013).

Na Austrália, os solos que se tornam duros suficientemente para dificultar e até inviabilizar o cultivo foram classificados como *hardsetting* (GIAOLA et al.; 2001). Segundo Almeida (2008), o termo *hardsetting* é aplicado para solos com variação marcante nos parâmetros físicos, entre os períodos secos e úmidos. “No Brasil, o termo coeso é aplicado para solos e, ou, horizontes duros e muito duros, formados a partir de sedimentos do Grupo Barreiras, sem considerar qualquer restrição ao uso dos solos, imposta pela resistência oferecida pelos horizontes” (GIAROLA et al., 2001).

O clima e a situação do solo na paisagem condicionam determinados processos pedogenéticos e, por conseguinte, a gênese e evolução dos solos (NUNES et al., 2011), com base nisso, os autores recomendam cautela para se interpretar e correlacionar atributos pedológicos, processos e compostos que envolvem a conformação do coeso, destacando ainda a que se deve relacionar sempre com o material de origem e o tempo de formação do solo.

Os solos dos Tabuleiros Costeiros tem origem no Grupo Barreira que é uma sedimentação continental ao longo da costa brasileira que iniciou seu estabelecimento no período Terciário sob um clima árido ou semiárido e terminou durante o pleistoceno, com a mudança para um clima quente e úmido (SUGUIO et al., 1985). Solos com esta origem são sedimentos com pouco ferro “livre”, madurecidos, caulíníticos, com estrutura de quartzo mal distribuída, sendo esta estrutura favorável ao empacotamento dos minerais de solo deles originados (ARCANJO, 1990; RAMOS et al., 2013). Esta formação dos solos coesos relacionada com a origem dos depósitos sedimentares é também relatada por Resende (2013), que aponta na mineralogia da fração argila a predominância da caulinita como mineral dominante e a fração areia constituída por quartzo.

Há nos solos coesos materiais amorfos desempenhando a função de agentes cimentantes temporários (VIEIRA et al., 2012).

A formação do horizonte coeso nos Tabuleiros Costeiros está associada a vários processos físicos e químicos que ocorrem naturalmente (GIAROLA; SILVA, 2002). Rezende (2013), baseado nos estudos de UFV (1984), Ribeiro (1986), Ponte e Ribeiro (1990), Jacomine (1996), Ferreira, Fernandes e Curi (1999), Araújo Filho, Carvalho e Silva (2001),

REZENDE et al. (2002), reforça que há uma polêmica relacionada a gênese do horizonte coeso em Tabuleiros Costeiros relacionadas com a argiluviação, presença de ferro em baixos teores e sílica nos microporos provenientes dos ciclos de exposição do solo a umidade e seca, promovendo o adensamento. Há também a acomodação face a face das partículas de argila que tende a fazer com que a atração por um corpo estranho aumente (adesão), aumentando com isto suscetibilidade do solo ao adensamento e compactação, somando-se a todos estes fatores a contribuição da areia fina. Para Corrêa et al., (2008) a coesão está relacionada com translocação de argilas muito finas. Segundo Neto et al. (2009), a formação do caráter coeso ainda é um assunto polêmico e não completamente esclarecido.

Os horizontes coesos possuem textura média, argilosa ou muito argilosa e, em condições naturais, têm uma fraca organização estrutural, são geralmente maciços ou com tendência a formação de blocos (EMBRAPA, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

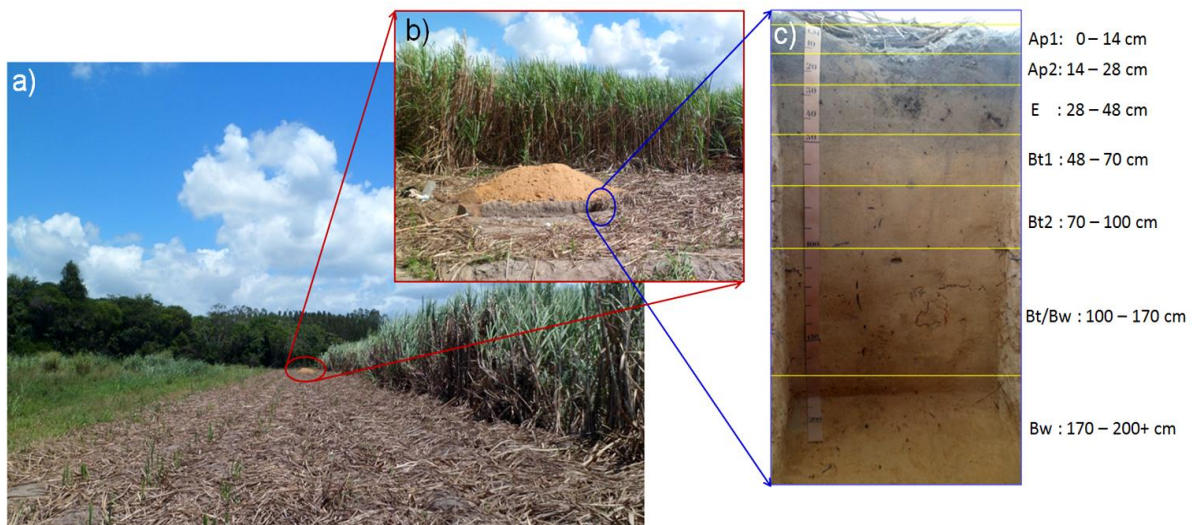
3.1 Área Estudada

O trabalho foi realizado com solo proveniente da Estação Experimental de Itapirema, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), instalada no município de Goiana-PE, Zona da Mata Norte.

A área foi selecionada com base na melhor representação de solo coeso sob relevo plano (tabuleiro). O local já está bem referenciado, com pesquisas em solos coesos desenvolvidas desde 1960. Após seleção, foi aberto um perfil em área sob cana-de-açúcar, cultivada há aproximadamente dois anos, tendo como cultura anterior o coco.

Para descrição do perfil, procedeu-se a separação dos horizontes, segundo Santos et al. (2005), seguindo-se a classificação do solo conforme SiBCS (EMBRAPA, 2013). A seleção do horizonte para o estudo foi realizada baseado nas características morfológicas do caráter coeso selecionando o horizonte com características de máxima coesão sendo o horizonte coeso identificado como Bt1, na profundidade entre 48-70 cm, sendo o perfil do solo classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupto. A descrição morfológica do perfil pode ser visualizada no Apêndice A. A Figura 1 ilustra o relevo plano da área de Tabuleiro Costeiro (em **a**), a cultura em uso (em **b**), local da abertura do perfil (em **a** e **b**), e a separação do mesmo em horizontes (em **c**).

Figura 1 – Aspectos da área selecionada para abertura do perfil, destacando-se os horizontes.

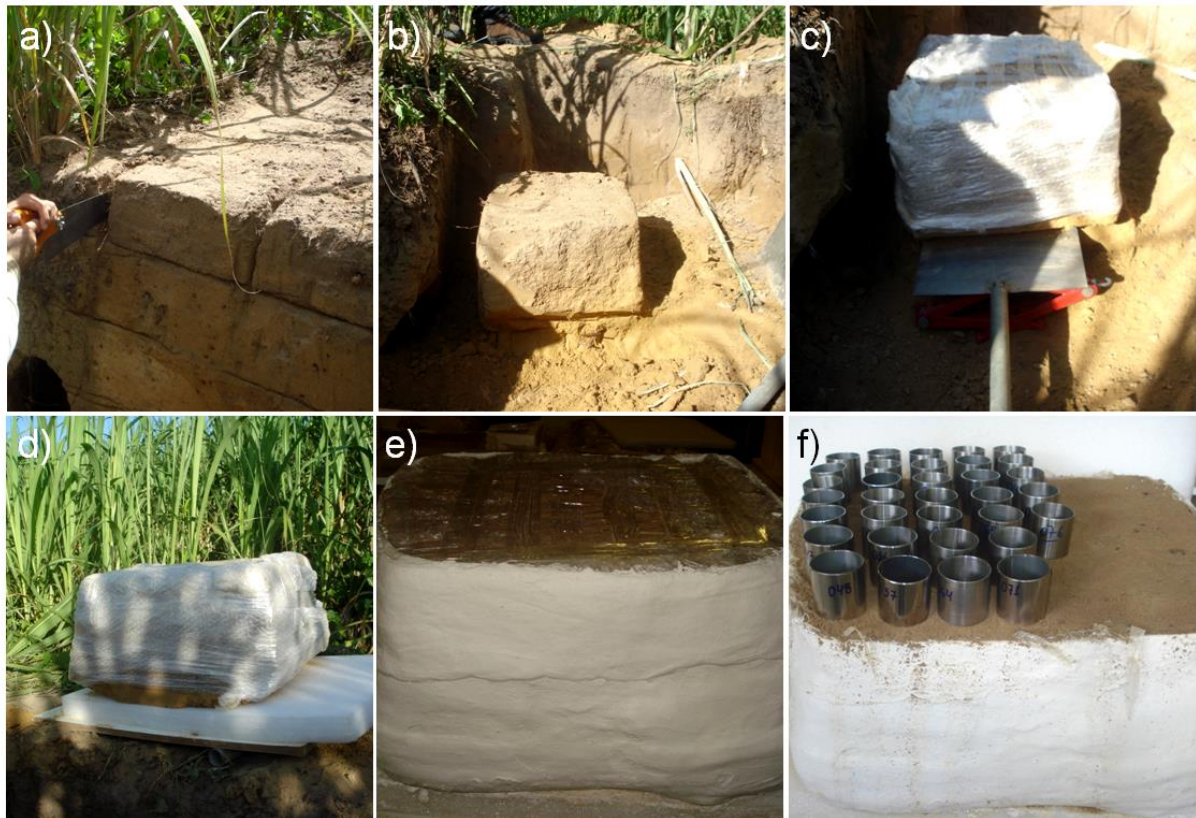


Fonte: Foto do arquivo do autor

3.2 Coleta das Amostras de Solo

As amostras foram coletadas em anéis volumétricos por dois procedimentos distintos. No primeiro, em blocos (três) não deformados, estes foram retirados do horizonte, após sua separação do perfil, feita por meio do uso de serrote, pá reta e macaco hidráulico (Figura 2a e 2b) e envolvido com plástico bolha, fixado com fita de empacotamento, identificado e sinalizado a base e o topo; tendo dimensões 45x45x22cm, respectivamente: comprimento, largura e altura, sendo a última correspondente a espessura do horizonte Bt1. Em seguida, foram acondicionados entre placas de isopor e transportados para o laboratório (Figura 2c e 2d), diminuindo-se assim a possibilidade de perturbação da estrutura.

Figura 2 – Sequência da amostragem dos solos, com destaque para os procedimentos de separação do bloco do perfil (a, b), acondicionamento do bloco (c, d, e) e inserção dos anéis (f)



Fonte: Foto do arquivo do autor

No laboratório, os blocos foram engessados (contidos) pelas bordas com ataduras embebidas em solução de gesso com água. Dessa maneira, os blocos mantiveram-se estruturados para suportar a etapa de coletas das amostras de solo com a inserção dos anéis volumétricos. Após a contenção com ataduras, os blocos foram previamente acondicionados em bandejas plásticas forradas com espuma de 20 mm e umedecidos com água destilada

(Figura 2e). A coleta com anéis volumétricos nos blocos foi realizada com amostrador tipo Uhland, mas sem o uso do martelo para impactar o anel ao solo, e sim com auxílio de braço mecânico movido por uma engrenagem de tração manual, que auxilia a inserção dos anéis com o mínimo de impacto, preservando a estrutura da amostra dentro do anel (Figura 2f).

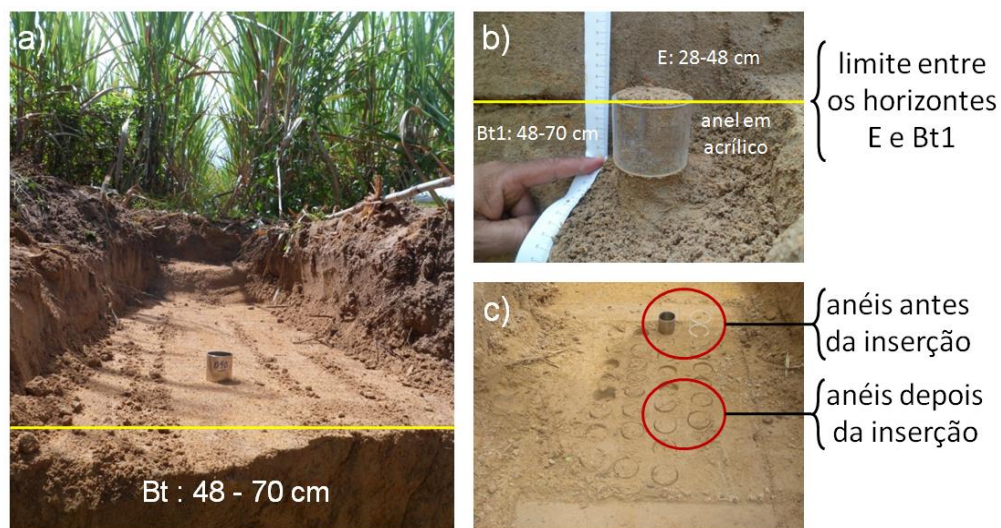
O braço mecânico, com seus aparatos, está em via de processo de depósito de patente, junto ao Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT) da UFRPE, pelo qual não se pode apresentar imagens, ilustrando maiores detalhes.

No segundo procedimento, o horizonte a ser coletado foi exposto à superfície, pela remoção dos horizontes acima deste (Figura 3a). Os anéis volumétricos, acondicionados unitariamente em cápsula de aço (cachimbo), foram inseridos diretamente no horizonte, fazendo uso de um macaco elétrico apoiado em um suporte de ferro e alimentado por bateria.

Quando completamente inseridos no solo (Figura 3b e 3c), os anéis foram retirados com um sacador, contendo encaixe tipo baioneta, elaborado especificamente para este fim. O conjunto de equipamentos, composto por suporte para macaco elétrico, sacador de anéis e amostrador de bancada, está em processo de depósito de patente junto ao NIT da UFRPE e, por este motivo, sem divulgação de fotos ou maiores detalhes.

Na condução dos ensaios foram utilizados anéis de aço 50 x 50 mm e anéis de acrílico de 50 x 54 mm (Figura 3b e 3c).

Figura 3 – Sequência de amostragem pelo segundo processo



Fonte: Foto do arquivo do autor

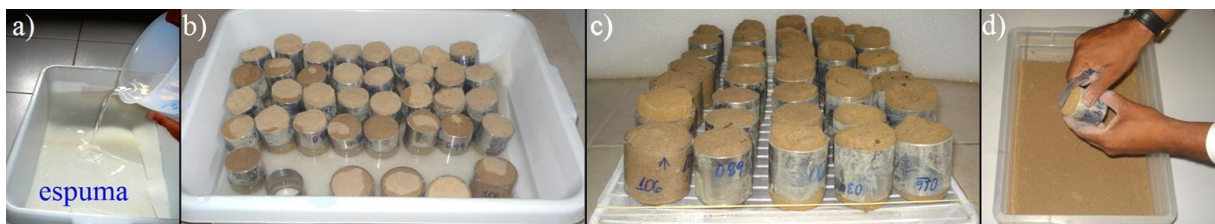
Na obtenção de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), as amostras não estruturadas de solo para os ensaios de granulometria e caracterização química, foram coletadas nos 7 horizontes que compõem o perfil, destorroadas, secas ao ar e passadas em peneira de 2,00 mm.

3.3 Tratamento das Amostras

As amostras de solo em anéis foram casualizadas e submetidas a três tratamentos: T0, tratamento apenas com águas destilada, representando a testemunha; T1, tratamento com polímero aniônico à base de poliacrilamida (PAM), na concentração de 100 mg kg^{-1} ; e T2, tratamento com PAM (100 mg kg^{-1}) + Gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, P.A., na concentração de $1,523 \text{ g L}^{-1}$). O PAM utilizado é produzido pela Cytec com nome comercial de “Poliacrilamida Superfloc A-130”; tem alta massa molecular ($15,0 \text{ Mg mol}^{-1}$) e 35% de densidade de carga (hidrólise). As quantidades de PAM e Gesso utilizados nesse estudo foram baseados nos trabalhos de Almeida (2008); Melo (2013) e Andrade (2014). Estes autores obtiveram melhor desempenho dos condicionadores PAM e Gesso aplicados em solos coesos sob condições semelhantes ao solo objeto deste estudo.

Os condicionadores químicos foram aplicados nas amostras contidas nos anéis volumétricos por capilaridade, respeitando a seguinte sequência: os anéis contendo as amostras de solo e sem ter sido feito o toailete, foram postos para secar ao ar; em seguida, foram submetidos aos seus respectivos tratamentos. Para isto, bandejas plásticas foram forradas com espuma de 10 mm de espessura utilizadas para reduzir o atrito das amostras com a bandeja, manter a superfície de contato úmida, onde se colocou as soluções (Figura 4a) e, após saturação da espuma, os anéis foram acondicionados nas bandejas com os respectivos tratamentos, tendo início a saturação das amostras por capilaridade (Figura 4b). O nível da solução foi elevado de $\cong 1 \text{ cm}$ a cada 30 min, até 95% da altura dos anéis volumétricos, preservando estas condições por 48 horas. Passado este período, os conjuntos anel-amostra saturados com seus respectivos tratamentos foram retirados e postos para secar ao ar, utilizando uma grade suspensa revestida por tela de nylon com malha 1 mm (Figura 4c). Em seguida, procedeu-se o toailete das amostras (Figura 4d), reservando-as para futuros ensaios, conforme descritos no item 3.7.1.

Figura 4 – Sequência dos procedimentos para obtenção das amostras sob tratamento



Fonte: Foto do arquivo do autor

3.4 Análise Granulométrica do Solo

A determinação da distribuição das partículas primárias do solo (areia, silte e argila) para caracterização do solo estudado (Tabela 1), foi realizada conforme metodologia sugerida por Almeida (2008). Nessa, o solo teve sua fração argila dispersa quimicamente pelo uso de solução de hexametáfosfato de sódio e fisicamente por agitação lenta, no agitador tipo Wagner por 16 h. Após a agitação, o material foi passado em peneira de 0,053 mm, coletando-se as frações argila e silte em proveta de 1L, até o volume de 940 mL, agitando-se manualmente com haste. Após 24 h de repouso, o material em suspensão (argila total + dispersante) teve sua densidade medida pelo uso do densímetro de Bouyoucos (152 H), procedendo-se a leitura também da prova em branco (apenas dispersante). O material retido na peneira, após secagem em estufa a 105°C por 24 h, foi pesado e calculado como areia total. O silte foi obtido pela diferença entre as frações [% silte = 100 – (% areia + % argila)].

3.5 Argila Dispersa em Água (ADA)

Os teores de argila dispersa em água foram determinados do mesmo modo aos ensaios para quantificação da argila total, excetuando-se a adição de dispersante químico, conforme Almeida (2008). Para efeito de comprovação da ação floculante dos tratamentos, foram realizados ensaios de ADA em amostras Controle; PAM (100 mg kg⁻¹) e PAM(100 mg kg⁻¹) + Gesso(1,523 g L⁻¹), conforme observado na Tabela 8, da página 39.

Tabela 1. Análise Granulométrica do Perfil do Argissolo Amarelo Distrocoeso Abrúptico

Horizonte	Análise Granulométrica ¹						
	Areia	Silte	Argila	ADA ²	Silte/Argila	GF ³	GD ⁴
	-----g kg ⁻¹ -----				-----%-----		
Ap1	893,65	46,02	60,33	40,15	0,76	33,45	66,55
Ap2	887,48	12,12	100,40	40,08	0,12	60,08	39,92
E	830,05	8,99	160,97	60,18	0,06	62,61	37,39
Bt1^(a)	684,55	10,57	304,88	20,16	0,03	93,39	6,61
Bt2	680,49	16,18	303,34	0,00	0,05	100,00	0,00
Bt/Bw	670,34	2,83	323,89	0,00	0,02	100,00	0,00
Bw	656,57	6,90	336,53	0,00	0,02	100,00	0,00

¹Método do densímetro (ALMEIDA, 2008); ^(a): Horizonte coeso, objeto do estudo;
²ADA (Argila Dispersa em Água); ³GF (Grau de Floculação); ⁴GD (Grau de dispersão).

]

3.6 Caracterização Química do Horizonte Estudado

A caracterização química foi realizada em todo o perfil do solo (Tabela 2), utilizando-se a metodologia conforme EMBRAPA (2011). O pH do solo foi determinado em suspensão na proporção 1:2,5 (solo: solução), utilizando-se água e KCl 1 mol L^{-1} como soluções. Na quantificação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} utilizou-se KCl (1 mol L^{-1}) como solução extratora, dosados via espectrofotometria de absorção atômica. O KCl (1 mol L^{-1}) foi utilizado também para extrair o Al^{3+} titulado com NaOH $0,25 \text{ mol L}^{-1}$. Com a solução dupla ácida Mehlich 1, foram extraídos Na⁺, K⁺ e P nas amostras e determinados com fotômetro de chama (Na⁺ e K⁺) e fotocolorimetria (P).

Na determinação da acidez potencial (H+Al) utilizou-se solução extratora tamponada de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ com pH 7,0, titulando-se com NaOH na presença de fenolftaleína. A capacidade de troca catiônica potencial (CTC_{pot}) à pH 7,0 foi determinada utilizando-se solução de acetato de cálcio 1 N pH 7,0 como cátion saturante do complexo de troca e solução de acetato de sódio 1N pH 7,0 como deslocante, conforme Camargo et al. (2009). A determinação do carbono orgânico total (COT) foi realizada por combustão úmida com dicromato de potássio ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) oxidando a matéria orgânica.

Os resultados dos ensaios permitiram calcular: a soma das bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{ef}); saturação por base (V%) e por alumínio (m%).

Tabela 2. Caracterização química do perfil do Argissolo Amarelo Distrocóseo abrupto

Horizontes	pH		$\Delta\text{pH}^{(3)}$	PCZ ⁽⁴⁾	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	SB	CTC _{ef}	CTC _{pot}	V	m	PST	P	COT
	(H ₂ O) ⁽²⁾	(KCl) ⁽²⁾																
	-----mmolc kg ⁻¹ -----												-----%-----		mg kg ⁻¹	dag kg ⁻¹		
Ap1	5,28	4,36	-0,92	3,44	0,51	1,14	11,62	2,66	2,67	43,45	15,93	18,59	59,38	26,82	14,34	6,12	13,38	14,42
Ap2	5,01	4,13	-0,89	3,24	0,32	0,58	7,15	1,51	2,67	33,00	9,55	12,22	42,55	22,45	21,82	4,72	11,59	4,65
E	4,85	4,12	-0,74	3,38	0,29	0,67	3,89	1,14	3,67	28,60	5,99	9,66	34,59	17,32	37,96	6,89	11,17	9,35
Bt1⁽¹⁾	5,01	4,13	-0,89	3,24	0,25	0,62	3,38	0,85	5,67	29,70	5,10	10,77	34,80	14,66	52,62	5,77	9,21	10,03
Bt2	4,91	4,09	-0,82	3,27	0,26	0,89	3,53	0,75	5,67	36,85	5,42	11,09	42,27	12,83	51,09	8,00	11,08	8,41
Bt/Bw	4,87	4,15	-0,72	3,43	0,25	0,67	3,70	0,62	6,00	36,30	5,24	11,24	41,54	12,62	53,38	5,92	9,81	7,42
Bw	4,85	4,23	-0,62	3,61	0,25	0,86	4,14	0,64	6,33	32,45	5,89	12,23	38,34	15,37	51,81	7,02	9,41	5,85

⁽¹⁾ Horizonte coeso, selecionado para o estudo; ⁽²⁾ Suspensão TFSA: solução na proporção 1:2,5 (V:V); ⁽³⁾ $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ (MEKARU e UEHARA, 1972); ⁽⁴⁾ Ponto de carga zero, estimado pela equação: $\text{PCZ} = 2 (\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}})$ (KENG e UEHARA, 1974)

3.7 Caracterização Física do Horizonte Estudado

Estes ensaios foram realizados em amostras coletadas nos anéis volumétricos, exigindo-se, portanto, a manutenção da estrutura.

3.7.1 Porosidade (total, macro, meso, micro e criptoporosidade)

A classificação do tamanho dos poros foi realizada segundo Prevedello (1996), sendo diâmetro dos poros calculado pela equação de ascensão capilar: $|\Psi| = [2\sigma(\cos\Phi)/(\rho gr)]$; logo: $d = \{[4\sigma(\cos\Phi)]/(\rho g|\Psi|)\}$, em que $|\Psi|$ é o valor em módulo do potencial matricial (m); σ , a tensão superficial da água a 20 °C ($72,75 \cdot 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$); Φ , o ângulo de contato entre o menisco e a parede do tubo capilar, assumido ser igual a 0; r , o raio do poro (μm); d , o diâmetro do poro (μm); g , a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$); e ρ , a densidade ou peso específico da água (1.000 kg m^{-3}). Dessa forma, os diâmetros (\emptyset) dos poros considerados neste estudo são: Macroporos sendo poros com $\emptyset > 300 \mu\text{m}$; Mesoporos sendo poros com \emptyset entre 300 e 50 μm ; Microporos sendo poros com \emptyset entre 50 e 0,2 μm e Criptoporos sendo poros com $\emptyset < 0,2 \mu\text{m}$

A porosidade total (P) foi determinada por meio da umidade volumétrica de saturação (equação 1), em que o volume de água de saturação equivale ao volume de poros. As amostras foram saturadas e após a realização da CCRAS, foram secas em estufa (24h, 105 °C), onde a quantificação do volume de poros foi obtida pela diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco.

$$P = \frac{V_{\text{poros}}}{V_{\text{total}}} \quad (1)$$

onde: P, é a porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); V_{poros} é volume de poros (cm^3) e V_{total} , o volume do solo (cm^3), obtido pelo volume do anel volumétrico utilizado na coleta.

A macroporosidade foi quantificada após a aplicação do potencial mátrico correspondente a 1 kPa ou 10cca (mesa de tensão), calculada pela relação entre o volume de água contido entre a saturação e equilibrada a -1 kPa (volume de macroporos) e o volume do anel, conforme a equação (2).

$$\text{Macroporosidade} = \frac{V_{\text{macroporos}}}{V_{\text{total}}} \quad (2)$$

onde: Macroporosidade é expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $V_{\text{macroporos}}$, é o volume de água retirado da amostra depois de aplicada e equilibrada a tensão de 1 kPa, em cm^3 ; e V_{total} , o volume do solo (cm^3), obtido pelo volume do anel volumétrico utilizado na coleta.

Após equilibrada a tensão de 1 kPa, a umidade nos mesoporos foi determinada após aplicação da tensão de 6 kPa (mesa de tensão), calculada conforme a equação (3).

$$\text{Mesoporosidade} = \frac{V_{\text{mesoporos}}}{V_{\text{total}}} \quad (3)$$

onde: Mesoporosidade, expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $V_{\text{mesoporos}}$, é o volume de água retirado da amostra depois de aplicada e equilibrada as tensões entre -1 kPa e -6 kPa, expressa em cm^3 ; e V_{total} , o volume do solo (cm^3), obtido pelo volume do anel volumétrico

A microporosidade foi obtida após o esvaziamento dos mesoporos e aplicada a tensão de 1500 kPa (câmara de Richards), calculada conforme a equação (4).

$$\text{Microporosidade} = \frac{V_{\text{microporos}}}{V_{\text{total}}} \quad (4)$$

onde: Microporosidade, expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $V_{\text{microporos}}$ é o volume de água retirada da amostra após aplicada e equilibradas as tensões entre 6 e 1.500 kPa; e V_{total} , o é volume do solo (cm^3), obtido pelo volume do anel volumétrico.

A criptoporosidade foi encontrada após o esvaziamento dos microporos, e obtenção da água contida nestes poros por meio da secagem em estufa (24h, 105°C), conforme a equação (5).

$$\text{Criptoporosidade} = \frac{V_{\text{criptoporos}}}{V_{\text{total}}} \quad (5)$$

onde: Criptoporosidade, expressa em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $V_{\text{criptoporos}}$ é volume de água retirada da amostra após equilibrada a tensão de 1.500 kPa e secagem à estufa (24h, 105°C); e V_{total} , o volume total do anel (cm^3), obtido pelo volume do anel volumétrico.

3.7.2 Densidade do Solo (D_s)

A determinação da densidade foi realizada pelo método do anel conforme descrita em Grossman e Reinsch (2002), onde o solo contido em anel volumétrico é seco em estufa à 105 °C, até peso constante. A densidade do solo foi calculada por meio da equação (6).

$$D_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (6)$$

onde: D_s é a densidade expressa em g cm^{-3} ; M_s é a massa do solo seco à 105 °C; e V_s é o volume de sólidos (volume do anel) encontrado pelo cálculo ($V_{\text{anel}} = \pi r^2 h$).

3.7.3 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)

A curva característica de retenção de água no solo (CCRAS) serve para obtenção de umidades em determinadas tensões preestabelecidas; os valores de umidade são utilizados na quantificação da distribuição de poros (macro, meso, micro e criptoporos).

A construção da CCRAS foi realizada nas amostras contidas nos anéis volumétricos, pelo uso da mesa de tensão (até 10 kPa), segundo Oliveira (1968); e das câmaras de Richards (> 10 kPa), conforme metodologia sugerida em Dane e Hopmans (2002).

Após cada equilíbrio da tensão/pressão, as amostras foram pesadas, levadas à estufa (105°C, 24 h) e a umidade calculada conforme equação (7).

$$\theta_{(\%) } = \left(\frac{\text{massa de água equilibrada à determinada tensão/pressão}}{\text{volume total}} \right) \times 100 \quad (7)$$

Os resultados obtidos foram ajustados por meio da equação (8) proposta por Van Genuchten (1980), conforme equação (8).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi)^n]^m} \quad (8)$$

onde: θ é a umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_r é a umidade residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s é a umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); α parâmetro inversamente proporcional ao diâmetro médio dos poros (cm^{-1}); Ψ é a tensão que a água está retirada no solo (cca) e n e m são parâmetros empíricos da equação. Para calcular do valor de m, utilizou-se a expressão $m = 1 - 1/n$, conforme sugere Van Genuchten (1980).

3.7.4 Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP)

A cada tensão equilibrada (mesa de tensão e câmara de Richards), as amostras foram pesadas e levadas ao penetrômetro de bancada para realização dos ensaios da resistência do solo à penetração de raízes (RP). No ensaio, foi utilizado o equipamento penetrômetro de bancada composto por um atuador linear elétrico com motor de passo, um painel para controle da velocidade (1 mm s^{-1}), uma base metálica para sustentação do conjunto mecânico e da amostra durante o teste, e uma célula de carga com capacidade nominal de 20 kg, contendo na sua extremidade inferior uma haste com agulha de 4 mm de diâmetro de cone, que foi introduzida no solo na direção perpendicular (Figura 5).

Figura 5– Penetrômetro de bancada.



Fonte: Foto do arquivo do autor

Os ensaios de RP foram realizados nas amostras contidas nos anéis volumétricos, submetidas a diferentes tensões de água no solo (1; 6; 10; 33; 50; 100; 500; 1000 e 1500 kPa), obtidas a partir da CCRAS.

3.7.5 Intervalo Hídrico Ótimo (IHO)

Após a elaboração das CCRAS e RP, como também o valor da umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), conteúdo de água no solo em que a RP atinge o valor crítico e conteúdo de água em que a porosidade de aeração é de 10%.

Para a determinação do intervalo hídrico, foi realizado o ajuste da curva de resistência do solo à penetração conforme o modelo não-linear proposta por Busscher (1990), (equação 11)

$$RP = a \cdot \theta_v^b Ds^c \quad (11)$$

onde: RP é a resistência do solo à penetração, θ_v é a umidade volumétrica, Ds é a densidade do solo e **a**, **b** e **c** são os parâmetros de ajuste do modelo (Tabela 4). De forma que após a equação (11) ser linearizada obteve-se a equação (12).

$$\ln RP = \ln a + b \ln \theta_v + c \ln Ds \quad (12)$$

A curva característica de retenção de água no solo (CCRAS), que relaciona a variação de umidades em função dos potenciais mátricos aplicados, foi ajustada conforme modelo não-linear utilizado por Silva et al. (1994), na forma de log neperiano. (equação 13)

$$\ln(\theta_v) = d + e Ds + f \ln |\Psi| \quad (13)$$

onde, θ_v é a umidade volumétrica, D_s é a densidade do solo, $|\Psi|$ é o potencial mátrico e d , e e f são parâmetros de ajuste do modelo (Tabela 5)

Uma vez definidos os parâmetros (a , b , c , d , e , f) foram determinados os valores críticos das umidades na capacidade de campo, no ponto de murcha permanente, na porosidade de aeração e resistência do solo a penetração de raízes por meio das equações (14, 15, 16 e 17).

$$\theta_{CC} = \exp (d + e . D_s) 0,033^f \quad (14)$$

$$\theta_{PMP} = \exp (d + e . D_s) 1,5^f \quad (15)$$

$$\theta_{PA} = (1 - D_s/2,65) - 0.1 \quad (16)$$

$$\theta_{RP} = (5,0/a . D_s^c)^{1/b} \quad (17)$$

onde, θ_{CC} é a umidade na capacidade de campo para solos argiloso no potencial 0,033 MPa ou 333 KPa; θ_{PMP} é a umidade no ponto de murcha permanente para solos argilosos no potencial 1,5 MPa ou 1500 KPa; θ_{PA} é a umidade em que a porosidade de aeração é igual a 10%, e o valor da densidade de partícula (D_p) assumida é 2,65 g.cm⁻³; θ_{RP} é a resistência do solo à penetração de raízes que nesse estudo foi considerado como valor crítico quando atinge 5,0 MPa.

O IHO pode ser calculado considerando quatro possibilidades conforme os valores das equações a seguir. (Wu et al., 2003; Leão et al., 2004).

Se ($\theta_{PA} \geq \theta_{CC}$) e ($\theta_{RP} \leq \theta_{PMP}$), a equação (18) empregada será:

$$IHO = \theta_{CC} - \theta_{PMP} \quad (18)$$

Se ($\theta_{PA} \geq \theta_{CC}$) e ($\theta_{RP} \geq \theta_{PMP}$), a equação (19) empregada será:

$$IHO = \theta_{CC} - \theta_{RP} \quad (19)$$

Se ($\theta_{PA} \leq \theta_{CC}$) e ($\theta_{RP} \geq \theta_{PMP}$), a equação (20) empregada será:

$$IHO = \theta_{PA} - \theta_{RP} \quad (20)$$

Se ($\theta_{PA} \leq \theta_{CC}$) e ($\theta_{RP} \leq \theta_{PMP}$), a equação (21) empregada será:

$$IHO = \theta_{PA} - \theta_{PMP} \quad (21)$$

onde: θ_{PA} é o conteúdo de água em que a porosidade de aeração é de 10% ($m^3 m^{-3}$); θ_{CC} é a umidade na capacidade de campo (%); θ_{RP} é o conteúdo de água no solo em que a RP atinge o valor crítico; θ_{PMP} é a umidade no ponto de murcha permanente (%).

A Tabela 3 expõe os parâmetros utilizados para as variáveis físicas do solo na determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) para os três tratamentos estabelecidos no estudo. Nas tabelas 4 e 5 estão apresentados os parâmetros resultantes da regressão linear, resistência do solo à penetração de raízes (RP) e umidade volumétrica (θ) para ajuste empírico da equação.

Tabela 3 - Distribuição Estatística dos parâmetros utilizados como variáveis físicas do solo.

Variável	Média	Desvio-padrão	CV	Mínimo	Máximo
Tratamento – T0					
<i>RP</i>	5,556	5,995	89,902	1,070	15,790
<i>Ds</i>	1,677	0,048	2,841	1,560	1,774
θ	0,212	0,043	20,393	0,145	0,301
Tratamento – T1					
<i>RP</i>	5,415	4,650	85,889	1,300	15,000
<i>Ds</i>	1,693	0,076	4,522	1,505	1,933
θ	0,213	0,042	19,897	0,148	0,298
Tratamento – T2					
<i>RP</i>	5,836	4,821	82,597	1,410	15,600
<i>Ds</i>	1,672	0,034	2,031	1,585	1,726
θ	0,205	0,038	18,706	0,136	0,283

Tabela 4 - Parâmetros resultantes da regressão linear para (RP)

	Coefficiente	Erro padrão	f	Probabilidade
Tratamento – T0				
<i>a</i>	0,000472	0,000589		
<i>b</i>	-3,5040	0,4027	97,32	<.0001
<i>c</i>	6,9045	1,8932		
Tratamento – T1				
<i>a</i>	0,0105	0,996		
<i>b</i>	-4,0288	0,328	108,50	<.0001
<i>c</i>	-0,6626	1,461		
Tratamento – T2				
<i>a</i>	0,00316	0,00829		
<i>b</i>	-2,8104	0,4317	61,34	<.0001
<i>c</i>	5,6343	4,6955		

Tabela 5 - Parâmetros resultantes da regressão linear para (θ_v)

	Coefficiente	Erro padrão	f	Probabilidade
----- Tratamento – T0 -----				
d	-26788	0,5513		
e	0,5277	0,3322	1621,72	<.0001
f	-0,0661	0,00572		
----- Tratamento – T1 -----				
d	4,6011	5,3667		
e	-3,6319	3,3010	8,20	0,0003
f	-0,0679	0,0972		
----- Tratamento – T2 -----				
d	-2,1274	0,6140		
e	0,1976	0,3683	1910,21	<.0001
f	-0,0703	0,00575		

3.7.6 Índice de Estabilidade Estrutural

O índice de estabilidade estrutural (SI) foi determinado utilizando-se os teores de carbono orgânico e frações de silte e argila, conforme proposto por Pieri (1992), calculado pela equação (22).

$$SI_{(\%)} = \frac{1,724 \times CO}{(silte + argila)} \times 100 \quad (22)$$

onde: SI pode variar entre: $0 \leq SI < \infty$; CO é o conteúdo de carbono orgânico (%); e silte + argila é o somatório dos conteúdos das frações de silte e argila dispersa (argila total) expressos em %.

3.8 Tratamento Estatístico

Nos ensaios utilizou-se o delineamento em blocos casualizados. Foram realizadas quatro repetições por tratamento, totalizando 108 unidades (9 tensões x 4 repetições x 3 tratamentos).

Nos ensaios utilizando TFSA (amostras que não receberam tratamento), realizados para a caracterização do solo estudado, foram realizadas três repetições por horizonte.

As médias dos parâmetros físicos analisados foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e para os parâmetros que apresentarem diferenças significativas foi aplicado o teste de Tukey, por meio do aplicativo SAS (1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Porosidade (total, macro, meso, micro e criptoporosidade)

A aplicação dos condicionadores químicos aos solos, de um modo geral, não promoveu alterações na distribuição dos tamanhos de poros, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos (T1 e T2) em relação ao controle (T0), mesmo diminuindo o rigor estatístico, tendo-se $p < 0,10$ (Tabela 6).

Nesse contexto, a falta de efeito dos tratamentos nos diferentes tamanhos de poros pode ser explicada pela distribuição dos diâmetros dos poros dos solos aqui adotada. De fato, alguns autores, como nesta pesquisa, classificam macroporos como poros com diâmetro maior que $300 \mu\text{m}$, drenando água a 1 kPa (REYNOLDS et al., 2007; CASTELLINI et al., 2013), e incluem na classificação dos poros os mesoporos como uma classe intermediária e os criptoporos como uma subdivisão dos microporos (KLEIN e LIBARDI, 2002; KLEIN, 1998; KOOREVAAR et al., 1983; LUXMOORE, 1981).

Por outro lado, há autores que usam uma classificação mais simplificada, separando os poros em apenas duas classes: macroporos, quando os poros têm diâmetro (\emptyset) maior do que $60 \mu\text{m}$; e microporos, quando os poros são menores do que $60 \mu\text{m}$, como proposto por Kiehl (1979); enquanto Richards (1965) e USDA (1972) classificam os macroporos como poros com $\emptyset > 50 \mu\text{m}$ e microporos os com $\emptyset < 50 \mu\text{m}$.

Portanto, de um modo geral, os poros do solo são separados em macroporos e microporos, usando-se o diâmetro de $50 \mu\text{m}$ como limite entre as duas classes (BAMBERG et al., 2009).

Tabela 6 - Distribuição dos tamanhos de poros dos solos sob tratamentos

Tratamento	Porosidade (%)										Total (saturação)	Total (MA+ME+MI+CRIPTO)										
	Macro		Meso		Micro		Cripto		DP ¹	CV ²												
	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²														
T0	4,18	A	0,0091	21,773	4,54	A	0,0033	7,278	9,65	A	0,0028	2,985	11,71	A	0,0099	8,474	30,00	A	30,00	A	0,0176	5,864
T1	3,13	A	0,0090	28,828	3,81	A	0,0098	25,778	9,86	A	0,0096	9,784	11,90	A	0,0081	6,815	28,72	A	28,72	A	0,0108	3,766
T2	4,33	A	0,0099	22,835	4,71	A	0,0071	15,137	9,82	A	0,0022	2,273	11,40	A	0,0089	7,869	30,42	A	30,42	A	0,0190	6,258

Letras idênticas na mesma coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade.; ¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de Variação

Assim, seguindo estes autores, e refazendo a nossa classificação, os macroporos seriam, na realidade, o somatório de macro e mesoporos; e os microporos, o somatório de micro e criptoporos, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Distribuição simplificada dos tamanhos de poros dos solos sob tratamentos

Tratamento	Tamanhos de Poros						Porosidade Total		
	Macroporos ¹			Microporos ²			%	DP ³	CV ⁴
	%	DP ³	CV ⁴	%	DP ³	CV ⁴			
T0	8,73 AB	1,11	12,73	25,24 A	0,48	1,89	33,97 A	1,43	4,22
T1	6,95 B	1,22	17,55	25,78 A	1,37	5,30	32,74 A	0,86	2,64
T2	9,06 A	1,27	14,07	24,99 A	0,68	2,72	34,05 A	1,75	5,13

¹Poros com diâmetro (\varnothing) > 50 μm . ² Poros com \varnothing < 50 μm . Letras idênticas na mesma coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade; ³ Desvio Padrão; ⁴ Coeficiente de Variação

A partir dos dados da classificação simplificada dos tamanhos de poros (Tabela 7), observa-se que os condicionadores aplicados aos solos coesos não alteraram significativamente suas microporosidades. Assim, como já observado em Santana et al. (2009), a microporosidade revelou-se um atributo menos indicativo para avaliar alterações nos horizontes coesos sob condições contrastante (com e sem tratamento).

Já para a macroporosidade, nota-se diminuição na sua quantidade nos solos sob tratamento apenas com PAM (T1). Os macroporos podem ser considerados como poros inter-agregados (OTHMER et al., 1991) e, sendo assim, como o PAM diminuiu a macroporosidade, essa diminuição foi devida a redução entre os espaços dos agregados, aumentando a agregação do solo.

Nesse contexto, apesar da redução dos valores originais da macroporosidade (de 8,73 % no controle, para 6,95 % no T1), estes poros ainda estão em quantidades acima do limite crítico para o desenvolvimento de plantas, em termos de garantia de aeração do sistema radicular e drenagem da água no solo, citado na literatura como sendo ≤ 4 % de macroporos (CARTER, 1988; DREWRY et al., 2001; REYNOLDS et al., 2002; DREWRY e PATON, 2005). Assim, a redução da macroporosidade pela ação do PAM não diminuiu a capacidade do solo em drenar o excesso de água, nem provavelmente prejudicará a proliferação de raízes, já que estão presentes no solo entre 5 e 10 %, conforme comentam Reynolds et al. (2009). Esta discussão corrobora os resultados da curva de retenção de água no solo (item 4.3), bem como os do intervalo hídrico ótimo (item 4.5), discutidos mais adiante, onde a redução dos macroporos, promovida pela ação do polímero (T1), explica o

comportamento da água com relação a sua retenção nos poros do solo e sua disponibilidade às plantas.

Desse modo, como bem observado por Santana et al. (2009), pode-se afirmar que a macroporosidade, classificada como poros com $\varnothing > 50 \mu\text{m}$ (Tabela 7), foi o atributo mais sensível para diagnosticar alterações nas porosidades dos solos coesos, promovidas pelo uso dos condicionadores, nas concentrações aqui especificadas.

Santana et al. (2009) também ressaltaram que a macroporosidade pode ser considerada uma integração de granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação, todos atributos importantes envolvidos na coesão.

Neste sentido, Pieri (1992) propôs um “índice de estabilidade estrutural”, SI (%), que avalia o risco de degradação estrutural em solos cultivados. Valores de $\text{SI} > 9\%$ indicam estrutura estável; $7\% < \text{SI} \leq 9\%$, indicam baixo risco de degradação estrutural; $5\% < \text{SI} \leq 7\%$, indicam alto risco de degradação, e $\text{SI} \leq 5\%$ indicam solos estruturalmente degradados. Note-se que, como o SI é baseado nos teores de carbono orgânico e frações granulométricas (item 3.7.7) do solo, que não se relacionam diretamente à sua porosidade estrutural, e sim à “resiliência” da estrutura do solo, isto é, sua capacidade de se recuperar.

Os solos coesos aqui estudados, sem aplicação dos tratamentos, apresentaram valores de SI em torno de 5,95 %, sendo, portanto, solos com alto risco de degradação (Tabela 8).

Tabela 8. Análise granulométrica do perfil estudado sob ação dos tratamentos

Horizonte	Tratamento	Frações Granulométricas				Silte/Argila	GF ³	GD ⁴	SI ⁵
		Argila	Silte	Areia	ADA ²				
		----- g kg ⁻¹ -----						----- % -----	
Bt1⁽¹⁾	T0	304,88	10,57	684,55	280,19	0,03	8,10	91,90	5,95
	T1	304,88	10,57	684,55	271,11	0,03	11,08	88,92	6,14
	T2	304,88	10,57	684,55	20,04	0,03	93,43	6,57	56,48

Método do densímetro (ALMEIDA, 2008); ⁽¹⁾ Horizonte coeso, objeto do estudo; ² ADA (Argila Dispersa em Água); ³ GF (Grau de Flocculação); ⁴ GD (Grau de dispersão); ⁵ SI (Índice de Estabilidade de estrutura)

Pela classificação de Pieri (1992), o uso do tratamento T1 aos solos coesos promoveu uma discreta melhoria na sua estabilidade estrutural, com aumento nos valores de SI de 5,95 % (controle) para 6,14 %.

Já para o T2, a ação combinada de PAM e Gesso potencializaram a ação do polímero na flocculação dos solos, aumentando o grau de flocculação de 8,1 % (controle) para 93,4 % (Tabela 8). Estes resultados indicam a capacidade desses condicionadores promoverem a

resiliência do solo degradado (controle), passando a ter uma estrutura mais estável ($SI > 9\%$), já que os valores do T0 passaram de 5,95 % para 56,48 %.

Apesar destes resultados, definir a recuperação dos solos coesos apenas pelo índice de Pieri (1992) parece não indicar um diagnóstico correto da real ação dos tratamentos na melhoria da qualidade do solo estudado. De fato, os outros parâmetros avaliados nesta pesquisa não indicam o tratamento T2 como o mais eficiente, visto que os dados de retenção de água no solo, aliados aos do IHO, concluem na direção do tratamento T1.

Vale salientar que os resultados aqui apresentados poderiam refletir uma melhor ação da PAM na redução da coesão, provavelmente devido ao número de aplicações dos tratamentos: no caso, apenas uma. De fato, quando a aplicação é feita em campo, os polímeros são aplicados a cada turno de rega, já que estes são dissolvidos na água usada na irrigação (SOJKA e SURAPANENI, 2000; AJWA e TROUT, 2006). Provavelmente, com várias aplicações de PAM, os seus efeitos nos atributos físico-hídricos fossem mais perceptíveis e teríamos diferenças significativas.

Além disso, o solo coeso de Itapirema, comparando-o a outros dentro do Estado de Pernambuco, é um dos mais degradados, o que leva, possivelmente, a uma menor eficiência dos tratamentos. Com relação a isso, Andrade (2014), avaliando três diferentes solos coesos: Zona da Mata Norte (Estação do IPA, Itapirema); Zona da Mata Central (Bacia hidrográfica do Rio Natuba, Vitória de Santo Antão); Zona da Mata Sul (Usina Trapiche, Sirinhaém); concluiu que o uso da poliacrilamida (PAM) evidenciou efeitos mais significantes no solo coeso menos degradado (Natuba), enquanto para o mais degradado (Itapirema), os efeitos foram menos significativos, ou não evidentes.

4.2 Densidade do Solo (Ds)

Os ensaios realizados para avaliar a densidade do solo (Ds) coeso sob ação dos condicionantes químicos (PAM e PAM + Gesso), não apresentaram resultados que possam demonstrar diferença quando observados os valores encontrados nos respectivos tratamentos, mesmo sob diferentes tensões (Tabela 9).

Os valores para a densidade do solo (Ds) encontrados no horizonte coeso estudado estão situados entre 1,59 a 1,78 g.cm^{-3} , como também encontrados por Araújo Filho et al. (2001); Corrêa (2005); Lima Neto et al. (2009). Como a densidade do solo é a razão entre a massa de sólidos e o volume do solo, para haver diferenças significativas, estas seriam devido ao aumento ou diminuição da massa de sólidos, promovido pela incorporação dos tratamentos

(PAM e Gesso) e seus efeitos na expansão ou contração do solo. No caso, a massa desses condicionadores em cada anel contendo o solo foi baixa, contribuindo para que, em média, a massa de sólidos não se alterasse, e, conseqüentemente, não alterando os valores da Ds.

Resultados semelhantes foram encontrados por Melo (2013) e Andrade (2014). Estes autores trabalharam com solos coesos na mesma área do estudo, mas procederam a determinação da densidade do solo, fazendo o toaleta das amostras antes da aplicação dos tratamentos.

No caso em questão, para aumentar a sensibilidade da Ds em detectar nuances nos seus valores devido aos tratamentos, tomou-se a decisão de fazer o toaleta só após a aplicação dos tratamentos. Esperava-se com estes procedimentos que a ação de expansão ou contração dos poros, devido aos tratamentos, fosse mais perceptíveis. Assim, pode-se concluir que, para as doses utilizadas neste trabalho, não há interferência em fazer toaleta das amostras antes ou depois da aplicação dos tratamentos.

Tabela 9. Densidade do solo do horizonte coeso sob ação dos tratamentos.

Tratamento	Tensões (cca)																																			
	10				60				100				333				500				1000				5000				10000				15000			
	Densidade do solo (g cm⁻³)																																			
	DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²			DP ¹	CV ²		
T0	1,71	Aa	0,04	2,73	1,69	Aa	0,05	2,72	1,71	Aa	0,04	2,27	1,68	Aa	0,04	2,14	1,65	Aa	0,03	1,44	1,66	Aa	0,03	1,84	1,66	Aa	0,08	4,78	1,62	Aa	0,02	0,96	1,71	Aa	0,02	1,29
T1	1,74	Aa	0,09	5,12	1,68	Aa	0,06	3,54	1,71	Aa	0,04	2,19	1,74	Aa	0,04	2,58	1,66	Aa	0,02	1,09	1,65	Aa	0,04	2,78	1,68	Aa	0,02	0,93	1,59	Aa	0,06	4,22	1,78	Aa	0,10	5,88
T2	1,70	Aa	0,04	2,22	1,67	Aa	0,03	1,72	1,66	Aa	0,07	4,09	1,67	Aa	0,04	2,58	1,66	Aa	0,02	1,13	1,67	Aa	0,02	1,47	1,65	Aa	0,03	1,66	1,69	Aa	0,01	0,83	1,68	Aa	0,02	1,53

As médias acompanhadas pelas letras idênticas na mesma coluna e linha não apresentam diferenças entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade. ¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de Variação

4.3 Curva Característica de Retenção de Água no Solo (CCRAS)

A análise das curvas características de retenção de água nos solos sob tratamentos (Figura 6) mostra que houve redistribuição nos tamanhos dos poros promovida pela ação dos condicionadores e, que isto, definiu três comportamentos distintos da água nos poros ao longo das tensões aplicadas: i) água nos macroporos, sob tensões de até 10 cca (Figura 6a); ii) água nos mesoporos e parte dos microporos, isto é, água nos poros sob tensões de 10 a 333 cca (Figura 6b); iii) água nos poros sob tensões a partir de 333 cca, especificamente nos microporos com menor diâmetro (Figura 6c).

No primeiro caso, é nítida a ação do tratamento T1 nos macroporos, onde o mecanismo de adsorção do polímero ao solo levou à redução dos espaços entre os agregados, tendo como resultado uma menor retenção de água nas tensões mais baixas (0 à 10 cca), conforme ilustrado pela Figura 6a, que destaca as CCRAS apenas neste intervalo de tensão.

Com relação aos mecanismos de ação de polímero em solos, Almeida (2008) faz um relato sobre o efeito da aplicação de PAM, sob diferentes viscosidades, apontando as diferentes correntes com relação à sua adsorção em solos. Há uma linha de pesquisadores que defendem a teoria que o PAM quando aplicado ao solo não penetra no agregado, sendo apenas adsorvido na sua superfície externa (NADLER e LETEY, 1989; MALIK e LETEY, 1991; MALIK et al., 1991). Em oposição a estes argumentos, Miller et al. (1998) afirmaram que o PAM penetra até certo ponto nos agregados e há adsorção do PAM pelos agregados tanto de forma externa, como interna. Levy e Miller (1999) sugerem que ambos processos podem ocorrer e que o tamanho dos agregados e dos poros é que define a penetração do polímero nos poros do solo.

Diante destas linhas de pensamentos, podemos especular que, no caso da ação do T1, o PAM não penetrou no agregado, sendo apenas adsorvido na sua superfície externa, atuando na aproximação dos agregados, com redução dos macroporos.

Com relação aos efeitos do tratamento T2, sabe-se que a adição de PAM em solos afeta a dispersão de suas partículas, floculação, e agregação (BEN-HUR et al., 1992). Devido à elevada viscosidade das soluções de PAM (MALIK e LETEY, 1992), autores têm sugerido o uso de sais de cálcio, como gesso, para aumentar a presença de eletrólitos na solução de PAM, reduzindo assim a sua viscosidade (AJWA e TROUT, 2006). Esta prática tem potencializado os efeitos positivos da ação de PAM (CHAN e SIVAPRAGASAM, 1996).

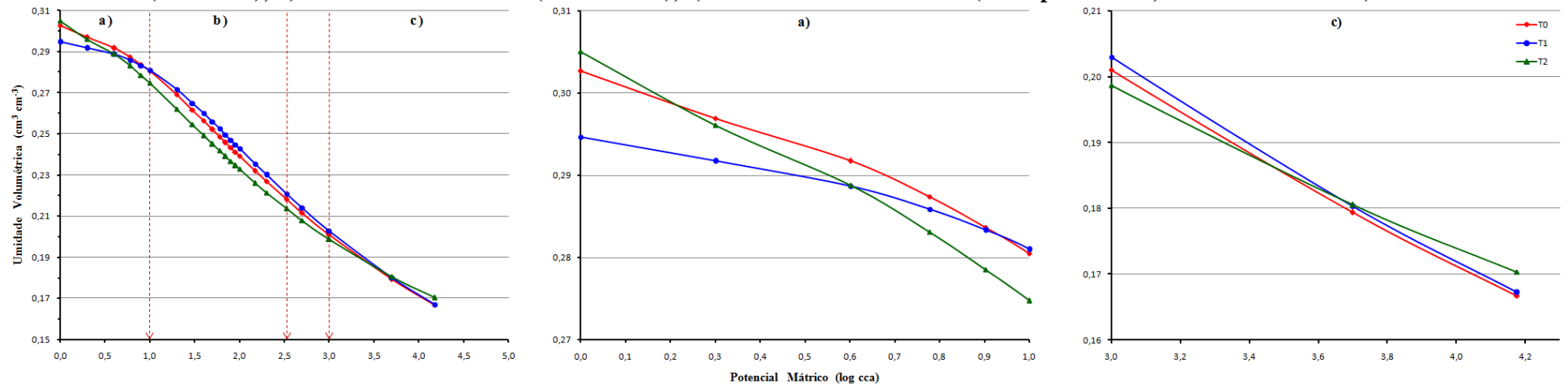
Assim, a solução de PAM no tratamento T2, por ser menos viscosa, pode penetrar em poros de menor diâmetro e o mecanismo de ação PAM-solo passou a ser de adsorção

interna. Este mecanismo, como explicado em Levy e Miller (1999), levou a uma maior penetração do polímero, reduzindo os espaços porosos pela redistribuição dos tamanhos de poros, o que promoveu, conseqüentemente, uma maior capacidade de retenção de água, ao longo de todas as tensões, porém, com diminuição da sua disponibilidade às plantas, como ilustra a Figura 6.

Esta ação do tratamento T2, no que se refere ao aumento do potencial mátrico (tensões mais negativas) e conseqüentemente não disponibilidade da água retida em poros menores, pode ser vista com mais detalhe na Figura 6c. Estes resultados ratificam o comportamento da água nos poros dos solos sob tratamento T2, quando avaliada a disponibilidade por meio do parâmetro IHO, comentado no item 4.5.

O conhecimento do comportamento de sorção do PAM é útil para predizer dose apropriada de aplicação, a profundidade de um tratamento eficaz, a sua mobilidade no solo e as mudanças nas condições físicas do solo. Com um bom conhecimento das interações polímero- solo a quantidade ótima de aplicação do polímero ao solo pode ser potencialmente prescrita (LU et al., 2002).

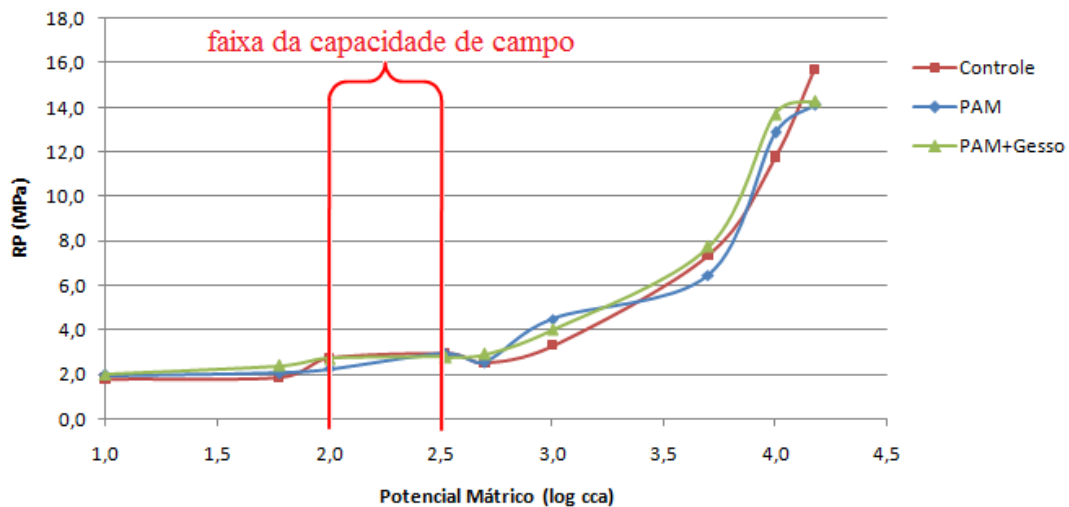
Figura 6 – Curva de retenção de água dos solos sob tratamentos, ajustada por Van Genuchten, com detalhes em: a) curvas entre a macroporosidade (0 à 10 cca); b) curvas na faixa úmida (10 à 333 cca); c) curvas na faixa mais seca (microporosidade, de 1000 a 15000 cca).



4.4 Resistência do Solo à Penetração de Raízes (RP)

A aplicação dos condicionadores via tratamentos PAM (T1) e PAM + Gesso (T2) ao solo coeso, de um modo geral, não alteraram a condição da resistência do solo à penetração com relação ao controle (T0), exceto na faixa da capacidade de campo, onde a água fica retida sob energia de 100 a 333 cca, isto é, log de 2 a 2,5 cca, respectivamente (Figura 7).

Figura 7 - Curva da resistência do solo à penetração de raízes em função do potencial mátrico



A busca de redução da coesão deve ter como objetivo maior manter o solo sob condições de manejo adequado, dentro de uma faixa de umidade que a planta tenha relativa facilidade de utilização do reservatório de água, contido no montante de poros do solo. Esta faixa de umidade é a capacidade de campo (θ_{CC}).

Desse modo, embora as RP dos solos sob T1 e T2 não tenham diferido do controle (Apêndice A), existe uma tendência de redução da RP na faixa da θ_{CC} , como comprovado pela Figura 7.

Os valores de RP, para todos os tratamentos, na faixa da capacidade de campo, foram maiores que 2 MPa; apresentando, portanto, limitação para o crescimento radicular. Com relação à faixa de valores de RP limitante, Tavares Filho et al. (2001) afirmaram que RP entre 1,0 a 3,35 MPa limitam o crescimento do sistema radicular das plantas.

A não redução da RP dos solos coesos sob ação dos tratamentos, como evidenciada estatisticamente (Apêndice A), pode ser explicada pelo mecanismo de ação da PAM no processo inicial de sua adsorção aos agregados do solo. De fato, solos tratados com PAM, tendem, no início das aplicações, apresentar maior RP, mas que, com o seu uso contínuo,

tende a promover maior estruturação do solo, reduzindo a sua RP (SOJKA e SURAPANENI, 2000; LU et al., 2002; AJWA e TROUT, 2006). Assim, a adsorção do PAM, quer por esfera interna ou externa, aproxima as partículas “soltas” individualmente no solo, agregando-as em estruturas mais estáveis; ou, no caso dos agregados já existentes no solo, o polímero tende a reduzir os espaços entre eles, diminuindo assim os macroporos (espaços inter-agregados), promovendo um aumento na resistência do solo à penetração das raízes (MILLER et al. 1998). Com aumento do número de aplicações, este processo tenderá a dar uma maior estabilidade, aumentando a flocculação das partículas de argilas, tendo-se como consequência, uma menor RP. É fato que estatisticamente este processo ainda não pode ser comprovado, mas a Figura 8 já indica as tendências de que o polímero deve melhorar a estrutura dos solos coesos, apresentando menores valores de RP, como já comprovado em outras pesquisas com solos similares aos coesos do Brasil (hardsetting da Austrália) (GIAROLA e SILVA, 2002).

Os elevados valores de RP encontrados neste estudo são semelhantes aos encontrados por Melo (2013), que estudando solos coesos sob ação de poliacrilamida, nas mesmas concentrações deste estudo, relatou elevação da RP nos coesos tratados com PAM.

Uma característica dos solos coesos é o aumento da sua rigidez à medida que o solo perde água, sendo essa característica também observada no solo estudado. Contudo, esta característica foi muito marcante, mesmo em condições de umidade elevada, quando os ensaios mostraram alta RP, já atingindo 2 MPa, mesmo praticamente saturado, sob 1 KPa de tensão (Figura 7).

Sobre este fato, Silva e Carvalho (2007), avaliando o comportamento mecânico de solos coesos, registraram RP com valores entre 3,82 e 6,76 MPa; enquanto Giarola et al. (2001) encontraram, em solo com horizonte coeso de Tabuleiro Costeiro do município de Cruz das Almas(BA), RP com até 12,8 MPa.

No solo estudado, foram encontrados valores de RP entre 1,8 a 15,7 MPa, nas tensões 1 a 1500 KPa, respectivamente. Estes valores também são citados por Andrade (2014), que estudou a RP de Argissolo amarelo de Tabuleiro Costeiro em Itapirema.

4.5 Intervalo Hídrico Ótimo (HIO)

A Figura 8 ilustra os IHO do solo sob tratamento, onde umidades acima ou abaixo da área hachurada indicam condições limitantes ao crescimento de plantas e críticas ao seu

desenvolvimento quando a densidade do solo estiver acima da D_s onde o IHO é nulo, isto é, densidade do solo crítica ($D_{s,c}$), indicadas na Figura 8 pelas setas em vermelho.

De um modo geral, os limites para construção dos gráficos do IHO foi a umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}); e a umidade volumétrica na qual a resistência à penetração das raízes atinge 5 MPa ($\theta_{RP \text{ à } 5MPa}$). Vale salientar que, na Figura 8, há duas retas para a RP: uma usando o limite de 2 MPa; e outra, adotando 5 MPa. Por ser coeso, o solo já apresenta altos valores de RP, mesmo quando este está praticamente saturado, onde os valores de umidades quando a RP atinge 2 MPa ficaram acima da umidade volumétrica na capacidade de campo, não havendo, portanto, condições de se construir o IHO.

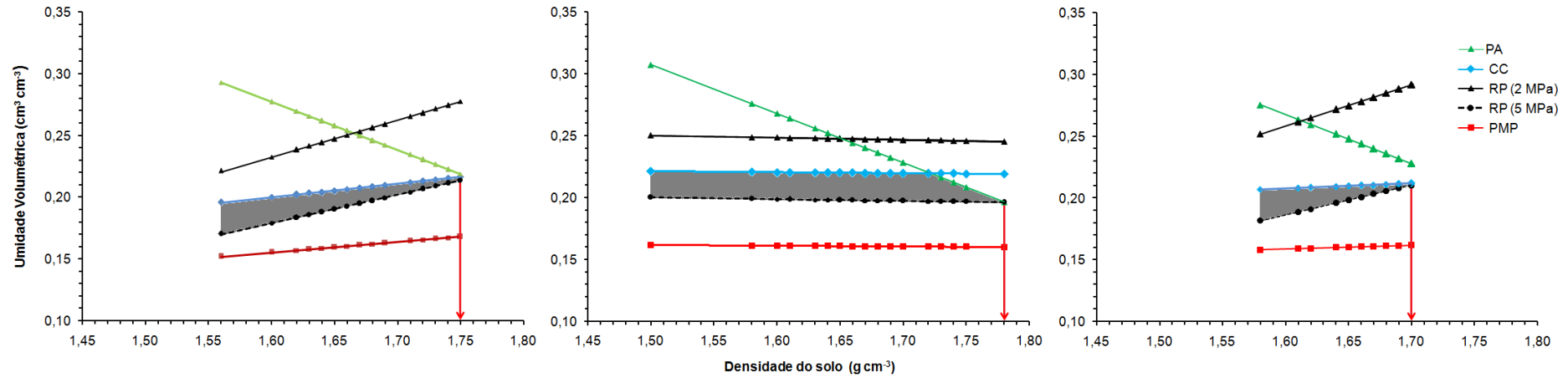
Diante disto, e com base na literatura em que os valores críticos de RP são considerados até 7,0 MPa (EHLERS et al. 1983; SENE et al., 1985), adotou-se outro limite que não 2 MPa. Dessa forma, a RP que melhor se ajustou para a condição do solo estudado, permitindo traçar as retas no diagrama do IHO, foi 5 MPa.

Avaliando um Latossolo amarelo coeso de Tabuleiro costeiro do Recôncavo da Bahia sob pastagem, Dias (2012) encontrou elevada densidade e faixa bastante estreita de IHO com densidade crítica (D_{sc}) próxima a $1,55 \text{ g cm}^{-3}$. Naquela situação, o autor observou o início da transição da faixa da RP sobrepondo a umidade na capacidade de campo, tendo como valor limitante a RP à 2 MPa.

Um solo em condição de degradação apresenta redução da água disponível, taxa de difusão de oxigênio e a RP como fatores limitantes ao desenvolvimento das plantas na faixa de potenciais em que há água disponível no solo (ARAUJO et al., 2004). Nesse contexto, o uso do intervalo hídrico ótimo (IHO) para avaliação da qualidade física e estrutural do solo é um indicador que integra o efeito do potencial matricial, aeração e resistência do solo à penetração das raízes num único atributo, possibilitando estabelecer as condições de umidade do solo limitantes ao crescimento das plantas (SILVA et al., 1994).

Conforme Tormena et al. (1998), estabelecer limitantes de propriedades físicas do solo é complexo, por que envolve a necessidade de integrar variáveis relacionadas com o solo, clima e a planta. Do ponto de vista da qualidade do solo, o IHO mostrou-se mais elucidativo que a D_s , pois discutir apenas o seu alto valor ($1,70 \text{ g cm}^{-3}$) levaria a diagnosticar limitações do solo pela sua alta compactação.

Figura 8 - Diagramas para o IHO nos tratamentos T0, T1 e T2



T0 – Tratamento controle; T1 – Tratamento Poliacrilamida (PAM); T2 – Tratamento Poliacrilamida associada a Gesso (PAM + Gesso). As setas em vermelho indicam o valor da densidade crítica, onde o IHO é zero

Desse modo, apesar do solo em estudo ser coeso, com alta D_s ($1,70 \text{ g cm}^{-3}$), esta não é a condição mais limitante ao crescimento da planta, já que a D_{sc} ficou acima deste valor. A partir da densidade em que o IHO for igual a zero, esta estabelecida as condições de elevada restrição de crescimento radicular (TORMENA et al.,1999). Observa-se que as D_{sc} onde o IHO é zero, são: $1,75 \text{ g cm}^{-3}$ (T0); $1,78 \text{ g cm}^{-3}$ (T1); e $1,70 \text{ g cm}^{-3}$ (T2), conforme Tabela 10, construída a partir dos dados para a elaboração do IHO.

Tabela 10 – Parâmetros do IHO do solo coeso sob ação dos tratamentos

Tratamento	Limites do IHO ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)				Amplitude dos Atributos			
	Superior		Inferior		Ds (g cm^{-3})		IHO ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	
	θ_{cc}		θ_{RP} (à 5 MPa)					
	Mínima	Máxima	mínima	máxima	mínima	máxima	Mínima	Máxima
T0	0,21	0,22	0,17	0,21	1,56	1,75	0,010	0,040
T1	0,22	0,22	0,196	0,200	1,50	1,78	0,020	0,024
T2	0,207	0,212	0,18	0,21	1,58	1,70	0,002	0,027

Os valores dos IHO evidenciam que o tratamento T1 (PAM) foi mais eficiente que o T2 (PAM + Gesso) quando comparados ao T0 (controle), com maior disponibilidade de água às plantas: $\text{IHO T1} > \text{IHO T0} > \text{IHO T2}$.

Assim, do ponto de vista dos valores de IHO, quando da aplicação do PAM ao solo coeso, suas condições físico-hídricas foram melhoradas, apresentando maior quantidade de água disponível (área hachurada) conforme apresentado na Figura 8 tratamento T1, indicando melhoria na qualidade deste solo, superiores quando comparadas com o uso atual (Figura 8, T0) e com a aplicação do tratamento T2 (Figura 8, T2).

Este resultado concorda com Dias (2012), que avaliando solos coesos pela ferramenta IHO, concluiu que o controle da qualidade física destes solos depende da conservação da água no perfil e redução da RP.

Embora os limites superior e inferior do IHO tenham sido, respectivamente, a θ_{cc} e θ_{RP} à 5MPa, sendo estes limites indicadores dos valores críticos de densidade e disponibilidade de água (SILVA e KAY, 1997), a aplicação do PAM modificou esta condição, alterando o limite superior (θ_{cc}) a partir da D_s de $1,72 \text{ g cm}^{-3}$, passando a ser limitado pela porosidade de aeração (PA). Este fato significa que, acima dessa D_s , haverá uma redução nos tamanhos dos poros, promovendo redução dos espaços de vazios, e, conseqüentemente, a diminuição de oxigênio aos processos metabólicos da planta (LAPEN et al., 2004). Esta redução será máxima quando a D_s atingir $1,78 \text{ g cm}^{-3}$, valor da D_{sc} para o solo coeso sob tratamento T1.

5. CONCLUSÃO

A realização da toaleta no solo contido nos anéis volumétricos antes ou após a aplicação dos condicionadores, não interfere nos resultados da densidade (Ds).

A distribuição de poros em macro e microporos, e não macro, meso, micro e criptoporos, evidenciou as modificações promovidas na porosidade dos solos coesos sob ação dos condicionadores.

A resistência à penetração foi um atributo eficiente para avaliar a redução da coesão dos solos estudados, comprovando o efeito positivo da aplicação de poliacrilamida (PAM) pelos menores valores encontrados na faixa da capacidade de campo.

O índice de estabilidade estrutural não foi conclusivo para a escolha do melhor tratamento para recuperação do solo estudado.

Os valores do IHO comprovam a eficiência deste atributo em avaliar a resiliência dos solos coesos sob tratamento com polímero, com relação à disponibilidade de água para às plantas.

O tratamento com PAM aumentou a disponibilidade de água às plantas.

6. PERSPECTIVAS

Considerando-se que o presente trabalho está entre os pioneiros no estudo da ação da poliacrilamida (PAM) e poliacrilamida associada ao gesso para redução da coesão e disponibilidade de água em solo coeso de Tabuleiros Costeiros e que o mesmo avaliou parâmetros físicos do solo em condições de laboratório, sugere-se a continuidade dos estudos com a realização de pesquisas que aprofundem os conhecimentos sobre as seguintes condições:

- Quando a poliacrilamida e o gesso forem aplicados nas proporções utilizadas nesse estudo e/ou com valores superiores em um solo coeso com cultivar (vegetal) em condições de casa de vegetação;
- Quando a poliacrilamida e o gesso forem aplicados nas proporções utilizadas nesse estudo e/ ou com valores superiores em um solo coeso com cultivar (vegetal) em condições de campo;
- Os estudos com cultivares com variedade de ciclo curto, como o milho (*Zea mays*) poderão mensurar com mais subsídios às variações das características físicas do solo e os possíveis ganhos na produtividade e qualidade do solo;
- As pesquisas nas condições de casa de vegetação e campo permitirão mensurar os custos do manejo do solo coeso de Tabuleiros Costeiros manejados com poliacrilamida e gesso, pois em condições de laboratório esta avaliação é limitada.

7. REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I de. **Qualidade Física do Solo em Sistemas Agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AHRENS, S; PAIVA, A. V. M de; WENDLING, J. L. G. Legislação Pertinente à Gestão Ambiental na Propriedade Imóvel Agrária. In: GLEBER, L.; PALHARES, J. C. P. (Ed). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007.310 p.

AJWA, H. A.; TROUT, T. J. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. **Soil Science Society Amercian Journal**, v. 70 p 643-650. 2006.

ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**, 105p, Tese Doutorado. ESALQ/USP. 2008.

ALMEIDA, B.G; RAIANE, S; ALMEIDA, C. D. C. Uso de Condicionadores Químicos na Redução da Coesão de um Solo Hardsetting da Austrália. In: WINNOTEC-Workshop Internacional de Inovação Tecnológicas na Irrigação e INOVAGRI – International Meeting. 4, 2012, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: INOVAGRI, 2012.

ANDRADE, K. R.; **Atributos Físico-hídricos de Solos Coesos da Zona da Mata de Pernambuco sob Ação de Condicionadores Químicos**. 2014. 115 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

ARAÚJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.123-142. 2001.

ARAÚJO FILHO, J. C. DE. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: CINTRA, F. L. D.; ANJOS, J. L. DOS; IVO, W. M. P. (org.) **Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros**, 2001, Aracaju. **Anais**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.123-139. 2001

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A. e SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.337-345, 2004.

ARAÚJO, Q.R de. **Solos de Tabuleiros Costeiros e Qualidade de Vida das Populações**. Ilhéus: Editus, 2000. 97p.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.88, p.153-160, 2002.

BALENA, S.P. **Efeito de polímeros hidroretentores nas propriedades físicas e hidráulicas de dois meios porosos.** 57 f. (Dissertação Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

BARVENIK, F.W. Polycrylamide characteristics related to soil applications. **Soil Science**, New Brunswick, v. 158, n. 4, p. 235-243, Oct. 1994.

BAMBERG, A. L. ; TIMM, L. C. ; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; NEBEL, A. L. C.; PANZIERA, W. Qualidade Físico-Hídrica do Solo e a Produção de Morango. In: TIMM, L. C.; TAVARES, V. E. Q. T.; REISSER JUNIOR, C.; ESTRELA, C. C. (Ed.). **Morangueiro Irrigado: aspectos técnicos e ambientais do cultivo.** 1ed. Pelotas, RS: Editora da UFPel, 2009, v. 1, p. 115-139

BEN-HUR, M.; MALIK, M.; LETEY, J.; MINGELGRIN, U. Adsorption of polymers on clays as affected by clay charge and structure polymer properties, and water quality. **Soil Science**, v. 153 p. 349–356. 1992.

BERNARDI, A.C.C.; MENDONÇA, F.C.; WERNECK, C.G.; HAIM, P.G. & MONTE, M.B.M. Disponibilidade de água e produção de arroz em função das doses de concentrado zeolítico. **Irriga**, v. 14, n.2, p. 123-134, 2009.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v. 33, p. 519-524, 1990.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análises química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 77 p. (Boletim Técnico, 106). 2009.

CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity in a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. **Soil e Tillage Research**. 12, 37–51. 1988.

CASTRO, O. M. de. **Preparo do solo para culturas anuais.** In: RAIJ, van B.; LOMBARDI NETO, F.; SARTINI, H.J.; KUHN NETO, J.; MOURA, J. C. de; DRUGOWICH, M.I.; CORSI, M.; CASTRO, O. M. de; BERTON, R. S. **Manual técnico de manejo e conservação do solo e água.** Campinas, SP: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1993. v. 3 p.61-88. (Manual técnico, 40)

CHAN, K. Y.; SIVAPRAGASAM, S. Amelioration of a degraded hardsetting soil using an anionic polymeric conditioner. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 9.n.1/2, p. 91-100, 1996.

CINTRA, F.L.D. e LIBARDI, P.L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3. P. 367-378, 1998.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.8, n.1, p. 45-50, 2004.

CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T.C.P. Caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de horizontes coesos e fragipãs de solos vermelhos e amarelos do ambiente tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 297-313, 2008.

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, p.671-720, 2002

DIAS, C. B. **Propriedades Físicas e Intervalo Hídrico Ótimo de um Latossolo Amarelo Coeso sob Diferentes usos no Ecossistema Tabuleiro Costeiro**. 2012. 42 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DREWRY, J.J.; CAMERON, K.C.; BUCHAN, G.D. Effect of simulated dairy cow treading on soil physical properties and ryegrass pasture yield. **New Zealand Journal of Agricultural Research**. Res. v. 44, p. 181–190. 2001.

DREWRY, J.J.; PATON, R.J. Soil physical quality under cattle grazing of a winter-fed brassica crop. **Australian Journal of Soil Research**.v.43, p 525–531, 2005.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F. e BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil e Tillage Research**. v3, p261-275, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

_____. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

_____. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Soja/SojaCentralBrasil2003/index.htm#topo>>. Acessado em: 20 de nov. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros. **Plano diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. 37p.

FERNANDES, R. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de reflectância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 245-257, 2004

FERNANDES, C. de A. Farias. **Avaliação da qualidade do solo em áreas de cacau cabruca, mata e policultivo no Sul da Bahia**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, Ilhéus, BA, 2008.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influencia da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23 p.515-524. 1999.

FILIZOLA, H. F. Solo: Conceitos origem, caracterização e capacidade de suporte. In. HAMMES, Valéria Sucena (Ed). **Educação Ambiental para o desenvolvimento sustentável: Ver Percepção do diagnóstico ambiental**. 3. Ed. Brasília, DF: EMBRAPA, v 3, p 69-74. 2012.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre Solos Coesos e Hardsetting. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p. 613-620, .2002.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. RIBEIRO, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting. Estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 25, p. 239-247. 2001.

GONÇALVES, I. D. T. F; COSTA, I. C. **Aplicação de Polímero Superabsorvente para Proteção de Encostas de Barreiras**. In. IV CONNEPI Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. Belém – Pará. 2009.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. **Bulk density and linear extensibility**. In: DANE, J.H. e TOPP, C., eds. *Methods of soil analysis: Physical methods*. Madison, Soil Science of Society of America, p. 201-228.2002.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRESOLOS COESOS DOS TABULEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais**, Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.13-24.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos do Brasil. In: CINTRA, F. L. D; ANJOS, J. L. dos; IVO, W. M. P. de M. Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, **Anais**, Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.161-168. 2001.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, L. G.; KUNZ, M. Intervalo Hídrico Ótimo no Perfil Explorado pelas Raízes de Feijoeiro em um Latossolo sob Diferentes Níveis de Compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, 2009.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part I*. 2nd ed. ASA Madison, WI, p. 425-442. 1986.

KENG, J. C. W.; UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Ultisols. **Proceedings of Soil and Crop Sciences Society**. v. 33, n. 1, p. 119-126, 1974.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 857-867, 2002.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado)

KOOREVAAR, P.; MENELIK, G.; KIRKSEN, C. **Elements of soil physics**. Amsterdam, Elsevier, 1983. 228p. (Developments in Soil Science, 13)

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P. A simplified Excel[®] algorithm for estimating the least limiting water range of soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.61, n.6, p.649-654, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:415-423, 2004.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G.; CURNOE, W.E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil & Tillage Research**, v. 78, p. 151-170, 2004.

LEPSCH, Igor Fernando. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 177p.

LEVY, G. J.; MILLER, W. Polyacrylamide adsorption and aggregate stability. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.51, n. 1-2, p. 121-128, 1999.

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

LU, J.H.; WU, L.; LETEY, J. Effects of soil and water properties on anionic polyacrylamide sorption. **Soil Science Society of America Journal**. v. 66, p. 578-584. 2002.

LUXMOORE, R.J. Micro, meso, and macroporosity of Soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 671-672, 1981.

MACHADO, K. S.; MALTONI, K. L.; MONTIBELLER, C. S.; CASSIOLATO, A. M. R. Resíduos orgânicos e fósforo como condicionantes de solo degradado e efeitos sobre o crescimento inicial de *Dipteryx alata* Vog. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 541-552, 2014.

MALIK, M.; NADLER, A.; LETEY, J. Mobility of polyacrylamide and polysaccharide polymer through soil materials. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 4, n. 6, p. 255-263, 1991.

MALIK, M.; LETEY, J. Polyacrylamide to improve water flow and salt removal in a high shrink-swell soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 6, p. 1664-1667, 1991.

MALIK, M.; LETEY, J. Pore size dependent apparent viscosity for organic solutes in saturated porous media. **Soil Science Society of America Journal**. v. 56, p. 1032-1035. 1992.

MARQUEZ, C.O.; GARCIA, V.J.; CAMBARDELLA, C.; SCHULTZ, R.C.; ISENHART, T.M. Aggregate-size stability distribution and soil stability. **Soil Science Society of America Journal**. v. 68, p. 725-735. 2004.

MELO, D., V., M. **Qualidade de Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros de Pernambuco em Função do Uso de Poliacrilamida**. 2013. 75 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MELO FILHO, J. F. de; SOUZA, A. L. V; SOUZA, L. da S. Determinação do índice de Qualidade Subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob Floresta Natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n.6, p. 1599-1608. 2007.

MEKARU, T.; UEHARA, G. Anion adsorption in ferruginous tropical soils. **Soil Science Society of American Journal Proc.** v. 36, p.296-300. 1972.

MILLER, W.P.; WILLIS, R.L.; LEVY, G.J. Aggregate stabilization in kaolinitic soils by low rates of anionic polyacrylamide. **Soil Use and Management**, v. 14, n. 2, p. 101-105. 1998.

MORAIS, O; BOTREL, T.A; DIAS, C.T.S. Efeito do uso de Polimeros Hidroretentores no Solo sobre o Intervalo de Irrigação na Cultura da Alface (*lactuca sativa* L.).**Engenharia Rural**. v 12, p 73-80, 2001.

MOREAU, A. M. S. S.; COSTA, L. M.; KER, J. C. e GOMES, F. H. Gênese de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v .30, n. 6, p. 1021-1030,2006

NADLER, A.; LETEY, J. Adsorption isotherms of polyanions on soils using tritium-labeled compounds. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 5, p. 1375-1378, 1989.

NASCIMENTO, G.B. **Atributos Diferenciais de Latossolos e Argissolos Amarelos: uma contribuição para o SiBCS**. 2005. 143f. Tese (Instituto de Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2005

NETO, J A. L; RIBEIRO, M. R; CORRÊA, M. M; SOUZA JÚNIOR; V. S; LIMA, J.W.F; FERREIRA, R.F.de A.L. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 1001-1011, 2009.

NICHOLS, K.A.; TORO, M. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation. **Soil and Tillage Research**, v. 111, p. 99-104. 2011.

NIERO, L. A. C; DECHEN, S. C. F; COELHO, R. M and MARIA, I. C. Avaliações Visuais como Índice de Qualidade do Solo e sua Validação por Análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p. 1271-1282, 2010

NIEWCZAS, J.; WITKOWSKA-WALCZAK, B. Index of soil aggregate stability as linear function value of transition matrix elements. **Soil and Tillage Research**. 70 (2), 121–130. 2003.

NUNES, F. C.; SILVA, E. F. da; CUNHA, T. J. F.; VILAS BOAS, G. da S.; CARVALHO, J. J. S.; ANGELI, A.. Solos com Horizontes Coesos Desenvolvidos sobre Diferentes Litofácies do Grupo Barreiras no Litoral Norte da Bahia. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO: Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas , 2011, Uberlândia. **Anais...** Minas Gerais:

OLIVEIRA, L. B.; MELO, V. de. Caracterização físico-hídrica do solo. I. Unidade de Itapirema. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.5, n.1, p.35-48, 1970.

_____. Determinação da macro e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, p. 197-200. 1968.

OTHMER, H., DIEKKRUGER, B., KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science**, v. 52, p.139-150, 1991

PIERI, C.J.M.G. **Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah**. Springer-Verlag, Berlin, Germany,1992.

PIRES, R. O; REIS, J.L; SANTOS, F.L; CASTANNHEIRA, N.L. Aplicação da poliacrilamida no controlo da erosão e do escoamento superficial na rega por rampa rotativa. **Revista de Ciências Agrarias**. v 30, p 172-178. 2007

PONTE, C. M.; RIBEIRO, L. P. **Estudo da gênese de horizontes coesos em uma topossequencia na área do Candéal.** Escola de Agronomia da UFBA. Salvador: IGEO/UFBA, 1990.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos.** Curitiba, Saeafs, 1996. 446p.

RESENDE, J. M.A. **Caracterização Pedométrica de Atributos de Argissolos Coesos do Leste Maranhense.** 83 f. Tese (Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista – UNESP, Jaboticabal, 2013.

REYNOLDS, W.D.; BOWMAN, B.T.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma.** v. 110, p. 131–146. 2002.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; YANG, X.M.; FOX, C.A.; TAN, C.S.; ZHANG, T.Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil & Tillage Research.** v. 96, p. 316–330. 2007.

REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; TAN C.S.; FOX, C.A.; YANG, X.M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma.** 152:252-63. 2009.

REZENDE, J. O. Reflexões Sobre as Limitações Agrícolas e o Manejo dos Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros. In ARAUJO, Quintino Reis de. (Org.). **500 Anos de Uso do Solo no Brasil.** Ilheus, BA: Editus, 2002. 605 p.

REZENDE, J. O.; MAGALHÃES, A. F. J.; SHIBATA, R. T.; ROCHA, E. S.; FERNANDES, J. C.; BRANDÃO, F. J. C.; REZENDE, V. J. R. P. **Citricultura nos solos coesos dos tabuleiros costeiros: análise e sugestões.** Salvador: SEAGRI, SPA, 2002, 94p. (Série Estudos Agrícolas 3).

RICHARDS, L.A. **Physical conditions of water in soil.** In: **BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis.** Part 1. Madison, American Society for Testing and Materials, 1965. 770p. (Agronomy, 9)

RIBEIRO, L.P. **Primeiras avaliações sobre a gênese dos solos coesos da região de Cruz das Almas-BA.** Salvador: UFBA, 1991. 22p.

RIBEIRO, L. P. Sílica em horizontes coesos de solos da Bahia. **Universitas,** n.38, p.59-80, 1986.

ROSA JUNIOR, E.J.; MARTINS, R.M.G.; ROSA, Y.B.C.J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** Goiânia, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water retention curves to dryness. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 55:923-927, 1991.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L.S; SOUZA, L.D.; FONTES, L.E.F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.30, n.1, p. 1-12. 2006

SANTOS, F. L.; CASTANHEIRA, N. L.; MARTINS, O. C. e REIS, J. L. Control with anionic polyacrylamide of runoff and erosion induced by irrigation on Alentejo soils: surfasse and sprinkler irrigation (centerpivot). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 344-359, 2009.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. Revista e ampliada. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SAS. Statistical Analysis System Institute. **SAS/STAT**. User's guide, version 6.11. 4th ed. Cary, 1996. v.2, 842 p.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C. DENTON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madinson, v.49, p. 422-427, 1985.

SILVA, A. J. N.; CARVALHO, F. G. Coesão e Resistência ao Cisalhamento Relacionadas a Atributos Físicos e Químicos de um Latossolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 31, n.5, p 853-862. 2007.

SILVA, J. da. **Adubação orgânica**. EMBRAPA/AGEITEC, 2015. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0k9bxa02wx5ok0liq1mq28xtscp.html>>. Acessado em: 15 de fev. 2015.

SILVA JÚNIOR, J. F; NETO, I.A.A.M.B; ESPÍNDOLA, M.C; CARVALHO, N.S.G. Recursos genéticos nos tabuleiros costeiros e baixada litorânea do Nordeste. In: SILVA JUNIOR, J. F.; LÉDO, A. S. (Eds.). **A cultura da mangaba**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 57-74, 2006.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61:877-883, 1997.

SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S., DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**. v.79, p 7–31. 2004.

SOBRAL, L.F.; IVO, W.M.P.M.; RANGEL, J.H.A.; CINTRA, F.L.D. Avaliação Crítica da História de Uso dos Solos nos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: ARAUJO, Quintino Reis (Org.). **500 Anos de Uso do Solo no Brasil**. Ilheus, BA: Editus, 2002. 605 p.

SOJKA, R. E; SURAPANENI, A. Polyacrylamides in irrigated agriculture, NPIRD project UNE39 final report, LWRRDC, Canberra. 2000.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, n.12, p., 2013

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUES, J. M. L.; FLEXOR, J.; AZEVEDO, A.E.G. Flutuações relativas do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 15, n. 4, p-273-286, 1985.

SURIANI, M.W. **Cana-de-açúcar submetida a doses de polímeros sintéticos condicionadores de solo**. 36 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista-UNIOESTE, Presidente Prudente, 2010.

TANG, Z.; LEI, T.; YU, J.; SHAINBERG, I.; MAMEDOV, A.I.; BEN-HUR, M.; LEVY, G.J. Runoff and interrill erosion in sodic soils treated with dry PAM and phosphogypsum. **SSSAJ**, v. 70, n. 2, p. 679–690, 2006.

TORMENA, C.A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p.573- 581, 1998.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v3, n3,p 286-292, 1999

USDA. Department of Agriculture. Soil Conservation service. Soil Survey Laboratory Methods and procedures for collecting soil samples: soil survey investigations. Washington, 1972. (Report1)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e das regiões Norte do Estado do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa: UFV, 1984. 153 p.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

VIERA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R.N. Contribuição de Material Amorfo na Genese de horizontes Coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 623-632, 2012.

VITTI, C. G.; LUIZ, P. H. C.; MALAVOLTA, E.; DIAS, A. S.; SERRANO, C. G. E. **Uso do gesso em sistemas de produção agrícola**. Piracicaba, SP. GAPE, p. 104, 2008.

WU, L.; FENG, G.; LETEY, J.; FERGUSON, L.; MITCHELL, J.; Mc CULLOUGH-SANDEN, B. e MARKEGARD, G. Soil management effects on the non limiting water range. **Geoderma**, 114:401-414, 2003.

ANEXO A – DESCRIÇÃO MOFORLÓGICA DO SOLO

PERFIL: Cana – Itapirema – Goiana – PE

DATA: 22/03/2013

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico epiáquico (epirredoximórfico) a moderada. Textura arenosa/argilosa fase floresta solo perenifólia relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO E ESTADO: Estação de Itapirema – IPA – Goiana – PE. Parte Sul da Estação, numa área de mata.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo plano de Tabuleiro, com declive de 0-2%, sob cobertura de cana-de-açúcar (à \cong 1 ano)

ALTITUDE: 70 m (altímetro)

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Sedimentos de formação Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimento areno-argiloso.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHSIDADE: Não Rochoso

RELEVO LOCAL: Plano

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado

EROSÃO: Não aparente

DRENAGEM: Bem à moderadamente drenado

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta tropical, subperenifólia

USO ATUAL: Cana-de-açúcar, cultivada a \cong 1 ano, tendo antes cultivo de coco.

CLIMA:

DESCRITO POR: José Coelho, Brivaldo Almeida e Kairon

Tabela 11 - Descrição morfológica do perfil do solo estudado

Horizonte e Espessura	Transição	Cor e Mosqueado	Textura	Estrutura	Porosidade	Coesidad e e/ou Slickensides	Consistência		
							Seco	Úmido	Molhado
Ap1 0 - 14	Plano e Claro	10 YR 3/3	Areia Franca	Grãos sem plas.e fraca á moderado, peq. e médios, blsur. Org. e granulado	Comuns, peq e média.	_____	Solo desestruturado no estado úmido	solta	Não plástica e não pegajoso.
Ap2 *14 - 28	Plano e Abrupta	10 YR 4/3	Areia Franca	Fraca pequena à média, bloco subangulares e grãos simples	Comuns, peq e média.	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Muito Friável	Não plástica e não pegajoso.
E *28 - 48	Plano e Claro	10 YR 5/3	Areia Franca (+)	Fraca pequena à média. Bloco subangulares	Poros com pequenos e poucos médios	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Muito Friável	Liga plástico e
Bt1 (+ coeso) *48-70	Plano e Gradual	10 YR 6/4 e mosq. comum peq. À médio, distinto 5 YR 5/8	Argilo-arenosa (-)	Maciça com porte fraca, pequena e média, bloco subangulares e angulares	Poros comuns muito pequenos e poucos pequenos	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Friável à Firme	Plástico e pegajoso
Bt2 70 – 100	Plano e Difuso	10 YR 7/6	Argilo-arenosa (-)	Fraca pequena e média, bloco subangulares e angulares	Poros comuns muito pequenos e poucos pequenos e médios.	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Muito Friável	Plástico e pegajoso
Bt/Bw 100 – 100	Plano e Difuso	10YR 7/6 e mosq. comum peq. à médio, proeminente 2,5 YR 4/6	Argilo-arenosa (-)	Fraca pequena e média. Blocos subangulares	Poros comuns muito pequenos e poucos pequenos e médios.	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Muito Friável	Plástico e pegajoso
Bw 170 – 200+	_____	7,5 YR 6/6 e mosq. comum peq. à médio proeminente 2,5 YR 4/6	Argilo-arenosa	Fraca pequena e média. Blocos subangulares. Com aspecto maciço poroso.	Poros comuns muito pequenos e poucos pequenos e médios.	_____	Solo desestruturado no estado úmido	Muito Friável	Plástico e pegajoso

APÊNDICE A – TABELA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DE RAÍZES E DENSIDADE SOB AÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Tabela 12 - Resistência do solo à penetração de raízes e densidade sob ação dos tratamentos

Tratamento	Tensões (cca)																																			
	10				60				100				333				500				1000				5000				10000				15000			
Resistência a Penetração em laboratório (MPa)																																				
	DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²					
T0	1,80	Ad	0,73	40,35	1,88	Ad	0,53	28,44	2,73	Ad	0,52	19,02	2,94	Ad	0,57	19,61	2,51	Ad	0,32	12,98	3,29	Ad	0,67	20,47	7,34	Ac	3,79	51,38	11,76	Ab	2,39	20,32	15,71	Aa	0,11	0,72
T1	1,97	Ac	0,37	18,77	2,07	Ac	0,66	32,08	2,23	Ac	0,82	37,12	2,95	Ac	0,25	8,55	2,56	Ac	0,08	3,14	3,49	Abc	0,75	21,59	6,46	Ab	1,50	23,28	12,88	Aa	1,64	12,75	14,13	Aa	0,64	4,54
T2	2,00	Ac	0,76	38,06	2,40	Ac	0,38	16,09	2,71	Ac	1,19	43,96	2,78	Ac	0,20	7,41	2,92	Ac	0,54	18,47	4,02	Ac	0,40	10,00	7,73	Ab	1,83	23,74	13,71	Aa	1,34	9,78	14,27	Aa	2,12	14,90
Densidade do solo (g cm⁻³)																																				
	DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²		DP ¹		CV ²					
T0	1,71	Aa	0,04	2,73	1,69	Aa	0,05	2,72	1,71	Aa	0,04	2,27	1,68	Aa	0,04	2,14	1,65	Aa	0,03	1,44	1,66	Aa	0,03	1,84	1,66	Aa	0,08	4,78	1,62	Aa	0,02	0,96	1,71	Aa	0,02	1,29
T1	1,74	Aa	0,09	5,12	1,68	Aa	0,06	3,54	1,71	Aa	0,04	2,19	1,74	Aa	0,04	2,58	1,66	Aa	0,02	1,09	1,65	Aa	0,04	2,78	1,68	Aa	0,02	0,93	1,59	Aa	0,06	4,22	1,78	Aa	0,10	5,88
T2	1,70	Aa	0,04	2,22	1,67	Aa	0,03	1,72	1,66	Aa	0,07	4,09	1,67	Aa	0,04	2,58	1,66	Aa	0,02	1,13	1,67	Aa	0,02	1,47	1,65	Aa	0,03	1,66	1,69	Aa	0,01	0,83	1,68	Aa	0,02	1,53

As médias acompanhadas pelas letras idênticas na mesma coluna e linha não apresentam diferenças entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade. ¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de Variação

APÊNDICE B - TABELA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DE RAÍZES SOB AÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Tabela 13 - Resistência do solo à penetração de raízes e umidade volumétrica sob ação dos tratamentos.

Tratamento	Tensões (cca)																																			
	10				60				100				333				500				1000				5000				10000				15000			
Resistência a Penetração em laboratório (MPa)																																				
	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²								
T0	1,80	Ad	0,73	40,35	1,88	Ad	0,53	28,44	2,73	Ad	0,52	19,02	2,94	Ad	0,57	19,61	2,51	Ad	0,32	12,98	3,29	Ad	0,67	20,47	7,34	Ac	3,79	51,38	11,76	Ab	2,39	20,32	15,71	Aa	0,11	0,72
T1	1,97	Ac	0,37	18,77	2,07	Ac	0,66	32,08	2,23	Ac	0,82	37,12	2,95	Ac	0,25	8,55	2,56	Ac	0,08	3,14	3,49	Abc	0,75	21,59	6,46	Ab	1,50	23,28	12,88	Aa	1,64	12,75	14,13	Aa	0,64	4,54
T2	2,00	Ac	0,76	38,06	2,40	Ac	0,38	16,09	2,71	Ac	1,19	43,96	2,78	Ac	0,20	7,41	2,92	Ac	0,54	18,47	4,02	Ac	0,40	10,00	7,73	Ab	1,83	23,74	13,71	Aa	1,34	9,78	14,27	Aa	2,12	14,90
θ_v (cm ³ cm ⁻³)																																				
	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²	DP ¹	CV ²				
T0	0,295	Aa	0,004	1,44	0,246	Ab	0,012	5,19	0,234	Abc	0,009	3,95	0,211	Ac	0,003	1,77	0,217	Ac	0,007	3,57	0,214	Ac	0,011	5,40	0,168	Ad	0,015	9,18	0,167	Ad	0,007	4,38	0,156	Ad	0,005	3,73
T1	0,295	Aa	0,003	1,08	0,247	Ab	0,011	4,67	0,231	Abc	0,004	1,90	0,223	Abc	0,013	6,02	0,224	Abc	0,005	2,56	0,207	Ac	0,009	4,53	0,168	Ad	0,009	5,85	0,169	Ad	0,008	4,73	0,159	Ad	0,007	4,37
T2	0,274	Aa	0,009	3,54	0,236	Ab	0,004	1,85	0,215	Abc	0,009	4,18	0,196	Ac	0,007	3,63	0,228	Ad	0,003	1,42	0,213	Ad	0,003	1,48	0,162	Ae	0,023	14,31	0,176	Ae	0,003	1,83	0,150	Ae	0,007	5,21

As médias acompanhadas pelas letras idênticas na mesma coluna e linha não apresentam diferenças entre si pelo teste Tukey a 10% de probabilidade. ¹ Desvio Padrão; ² Coeficiente de Variação