

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSISTEMAS**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DA  
LIMITAÇÃO FÍSICA EM SOLO COESO E COMPACTADO  
VISANDO À PRODUÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS DO  
RECÔNCAVO DA BAHIA**

**Lucas Mota Amorim**

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA  
JUNHO 2020**

**CARACTERIZAÇÃO E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO DA LIMITAÇÃO  
FÍSICA EM SOLO COESO VISANDO À PRODUÇÃO DE ESPÉCIES  
FLORESTAIS DO RECÔNCAVO DA BAHIA**

**Lucas Mota Amorim**

Engenheiro Florestal

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2018

Dissertação apresentada ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

**Orientador:** Prof. Dr. José Maria de Lima

**Coorientador:** Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA**

**2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

A524c

Amorim, Lucas Mota.

Caracterização e proposta de mitigação da limitação física em solo coeso e compactado visando à produção de espécies florestais do Recôncavo da Bahia / Lucas Mota Amorim. – Cruz das Almas, Bahia, 2021.

96f.; il.

Orientador: José Maria de Lima.

Coorientador: Júlio César Azevedo Nóbrega.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas.

1.Solo – Física do solo. 2.Solo – Espécies florestais. 3.Recôncavo (BA) – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.43

Ficha elaborada pela Biblioteca Central de Cruz das Almas - UFRB.

Responsável pela Elaboração - Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).  
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE  
ECOSSISTEMAS**

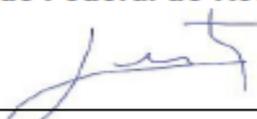
**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE LUCAS  
MOTA AMORIM**

Realizada em 16 de Junho de 2020



---

**Prof. Dr. José Maria de Lima (Orientador)  
Universidade Federal do Recôncavo Da Bahia**



---

**Prof. Dr. Elton da Silva Leite  
Universidade Federal do Recôncavo Da Bahia**



---

**Prof. Dr. João Carlos Medeiros  
Universidade Federal do Sul da Bahia**

Dissertação homologada pelo Colegiado de Mestrado em solos e Qualidade de Ecossistemas em \_\_\_\_\_, conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas em \_\_\_\_\_.

Aos meus pais Carlos Francisco e Selma, minha esposa Luciana pelo apoio, confiança e amor que sempre me dedicaram. Aos meus irmãos e minha família pelo companheirismo e amizade compartilhada.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus, por tudo que tem me concedido.

Aos meus pais Carlos Francisco e Selma Amorim, por terem me apoiado durante toda minha trajetória de vida, me ajudando em tudo e não me deixado desistir em momento algum dos meus sonhos.

A minha esposa Luciana Lima que apoiou, incondicionalmente, nos bons e maus momentos.

A minha filha Maria Luisa Amorim, que é uma benção que Deus colocou na minha vida e me transformou em um homem mais responsável, íntegro e batalhador.

A minha família: Irmãs, avós, avô, tios, tias, primas e primos, que sempre estiveram presentes na minha vida, fazendo parte da minha história.

Aos meus irmãos de orientação Raissa Gonçalves e Davi Nery pelo apoio e contribuição nos trabalhos executados e durante minha trajetória no curso.

Aos meus irmãos de curso Jonas Esticado, Celicleide, Iza e Avete pelo apoio e demonstração de carinho e amizade construída durante todos esses dois anos.

Aos meus amigos Fábio, Cheila, Michele e Júlio Neto, pelo apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pela minha formação.

Aos meus orientadores, que considero como meus pais, Prof. José Maria de Lima e Prof. Júlio César Azevedo Nóbrega pela orientação e apoio dado durante todo o curso.

Aos Professores Elton Leite, Luciano Souza e Anacleto Ranulfo, pelas orientações e conselhos.

Ao torcedor do Bahia Sr. Ailton, bem como Carlinha e Vânia e minhas tias da manutenção do prédio de solos pelo apoio.

Aos professores que compõem o Programa de Pós-graduação em Solos e Qualidade de Ecossistemas, no qual tive a oportunidade de adquirir conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão de bolsa de estudo para realização do Mestrado.

Aos demais aqui não citados, mas que me ajudaram direta ou indiretamente.

## RESUMO GERAL

O estado da Bahia possui 657 mil hectares de plantações florestais nativas (Angico vermelho, Gonçalo Alves, Sabiá, Jenipapo, Seringueira) que fazem parte do bioma Mata Atlântica e região de transição para o bioma Caatinga. Além de espécies nativas, há também as exóticas, constituídas principalmente pelas variadas espécies e clones de eucaliptos. Apesar dos elevados números de plantios, há diferentes regiões da Bahia, principalmente nos Tabuleiros Costeiros, com grandes extensões territoriais de áreas disponíveis para expansão da atividade de silvicultura. No entanto, essas regiões possuem solos com limitações químicas e, principalmente, físicas, pela presença de horizontes coesos. O uso intensivo de máquinas nessas áreas extras para eucaliptos tem causado compactação, adicionalmente à já problemática camada coesa. Logo, mesmo com muitos estudos nessas áreas, ainda é necessário buscar alternativas para mitigar as limitações dos solos coesos e daqueles compactados dos Tabuleiros Costeiros, por meio de práticas que evitem ou retardem a volta das propriedades do solo às condições originais de compactação ou coesão, mantendo a melhoria dos atributos físicos durante o ciclo das espécies. Assim, o presente trabalho tem como objetivos: **Capítulo 1** - caracterizar e propor formas de mitigação da limitação física em solo coeso visando à produção de espécies florestais no recôncavo da Bahia. Inicialmente foram caracterizadas as propriedades físicas do solo em diferentes níveis de trafegabilidade de trator; **Capítulo 2** - desenvolver e testar um dispositivo a ser acoplado no subsolador com a finalidade de aplicar material de grânulos maiores que um mm de diâmetro, em sub superfície, que têm a finalidade de romper a camada coesa/compactada (no caso do uso de areia), e romper a camada coesa/compactada e atuar como condicionador da fertilidade do solo (no caso do pó de rocha); **Capítulo 3** - testar o modelo de redes neurais artificiais para avaliar o desenvolvimento de espécies nativas na Região do Recôncavo da Bahia; **Capítulo 4** – propor um método alternativo para determinação de volume de contração em amostras solos empregando paquímetro; e **Apêndice** - propor e iniciar um experimento de longa duração para testar a efetividade das práticas citadas anteriormente em Latossolo Amarelo distrocoeso, em diferentes condições de compactação adicional. Nos três primeiros capítulos e, parcialmente no apêndice, os resultados dos estudos indicaram que: i) A qualidade física do solo foi comprometida com o aumento da trafegabilidade na área, gerando significativas alterações nas propriedades físicas do solo; ii) o dispositivo acoplado ao subsolador foi eficiente na aplicação de material de textura mais grosseira em sub superfície; iii) espera-se como resultados do experimento de longa duração, que o material de textura mais grosseira em sub superfície proporcione ao solo melhorias na sua fertilidade e propriedades físicas, mitigando a limitação física e química em solos coesos do Recôncavo da Bahia, visando ao desenvolvimento econômico na produção de florestas plantadas na região; iv) os melhores ajustes de RNA foram para um quadro com dois neurônios na camada intermediária para os dois métodos propostos. Além disso, a RNA pode ser recomendada para estimar o volume das árvores individualmente, mostrando melhor precisão e exatidão em relação aos métodos de regressão; v) os resultados do método alternativo para determinar a contração em solos mostraram que o método, além de mais rápido e menos perigoso à saúde humana (por não empregar mercúrio metálico), produz

resultados com precisão superior a 95%, comparado ao método antes tido como padrão – método do mercúrio metálico.

**Palavras chave:** manejo do solo, atributos do solo, compactação, física do solo, método.

## ABSTRACT

The state of Bahia has about 657 thousand hectares of native forest, mainly with the species Angico vermelho, Gonçalo Alves, Sabiá, Jenipapo, Seringueira; these species are part of the Atlantic-Forest biome and the transition region to the Caatinga biome. Besides the native ones, the exotic plantations, mainly eucalyptus species and clones, are also important in this region. Despite this large area with forest, different regions of Bahia, mainly in Coastal Tablelands, have large areas that are still available for expansion of forestry activity. However, most of these areas have soils with chemical and physical limitations, mainly due to their natural cohesive horizons and the intensive use of machinery that causes additional compaction to the soil. Therefore, even with several studies in these soils showing the effects of the inherent soil-cohesive layers, it is still necessary to seek for alternatives to mitigate the limitations of them and, in some cases, to mitigate the additional compaction. This is done with practices that disrupt these dense/compacted layers, but they also have to avoid them to returning to their original conditions, allowing maintaining a longer the mitigation, so that the plants can overcome them during the initial stages of growth. Thus, the present work aims to characterize and propose practices to mitigating physical and chemical limitation in cohesive, as well as the extra compaction of soil, in order to improve production of forest species in the Recôncavo region of Bahia. In Chapter 1, the physical properties of the soil were characterized at different levels of compaction; in Chapter 2, it is being proposed a device, which was projected and constructed to be coupled to a subsoiler to add coarser material (larger than the soil sand particles), adding two types of material: rock dust (that have some nutrient-rich minerals) and coarse sand; the first would improve physical and chemical properties, while the second would change only pore size and bulk density. Both materials will are to maintain disruption of dense and compacted layers for longer in a cohesive Yellow Latosol, under natural cohesive condition and at different levels of additional compaction; in Chapter 3, it is tested an artificial-neural-network model to evaluate growth of native species of the Recôncavo region, Bahia-Brazil; in Chapter 4, it is proposed an alternative method to measure soil contraction, using a digital caliper, in order to replace the standard method, which is a mercury based method; in the Appendix, it is proposed and started a long-term experiment to test the effectiveness of the above mentioned practices. The results, in the three first chapters, and partially in the appendix, indicated that: i) the physical quality of the soil was decreased with the increasing compaction in the area. ii) the proposed device, coupled to the subsoiler, was effective for applying the coarser material in the soil subsurface. iii) It is expected, as a result of the long-term experiment, that the coarser texture material in the subsurface will provide longer improvements in fertility and physical properties in the subsoil; iv) the artificial-neural-network model showed to be satisfactory for such studies; v) the alternative method for measuring soil contraction had an accuracy greater than 95%, in comparison to the method previously considered as standard - metallic mercury method.

**Key Words:** soil management, soil attributes, compaction, soil physics, method.

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

**Figura 1.** Localização da área de estudo e distribuição das parcelas com diferentes números de passagens do rodado do trator para simulação de diferentes intensidades de compactação, em área com Latossolo Amarelo distrocoeso em Cruz das Almas-BA.

**Figura 2.** Trator utilizado no ensaio para realização dos cinco níveis de compactação adicional.

**Figura 3.** Coleta de amostras indeformadas nas linhas do rodado do trator para avaliação dos atributos físico-hídrico de um Latossolo Amarelo discrocoeso.

**Figura 5.** Densidade do solo e condutividade hidráulica em função de diferentes intensidades de tráfego de máquinas em dois sistemas de preparo do solo na profundidade de 0 – 0,20 m. Em que: T0 - sem compactação adicional; T1 - uma passada; T3 - três passadas; T5 - cinco passadas; T7 - sete passadas nos sistemas de preparo convencional (Figuras A, C e E) e reduzido (Figuras B, D e F).

**Figura 4.** Valores médios de densidade do solo (A) e condutividade hidráulica (B) do solo nas profundidades de 0,20 – 0,40 m; 0,40 – 0,60 m sob os sistemas de preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR) e números de passadas de trator.

**Figura 6.** Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função da intensidade de tráfego de máquinas em dois sistemas de preparo do solo nas profundidades de 0 – 0,20 m (Figuras A, B e C); 0,20 – 0,40 m (Figuras D e E) e 0,40 – 0,60 m (Figuras F, G e H). Em que: T0 - sem compactação adicional; T1 - uma passada; T3 - três passadas; T5 - cinco passadas; T7 - sete passadas.

**Figura 7.** Resistência à penetração em Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes níveis de tráfego (passadas de trator) nas condições de preparo pré-existent: convencional (Aração e Gradagem) e reduzido (Subsolagem), na região dos Tabuleiros Costeiros, Recôncavo da Bahia.

### Capítulo 2

**Figura 1.** Localização da área de estudo e distribuição das parcelas com diferentes números de rodado do trator para simulação de diferentes intensidades de compactação, em área com Latossolo Amarelo distrocoeso do Recôncavo da Bahia.

**Figura 3.** Implemento alternativo acoplado no subsolador para distribuição de condicionador de poros ao longo do sulco de subsolagem.

**Figura 4.** Esquema da metodologia utilizada para obter as imagens das trincheiras com a visualização dos aditivos ao longo do perfil de solo.

**Figura 5.** Distribuição da areia grossa e pó de rocha ao longo do sulco do subsolador em Latossolo Amarelo distrocoeso.

### Capítulo 3

**Figure 1** - Scheme of trained RNA's.

**Figure 2** – Residual distribution as a function of estimated volume of three native species in different spacing of trees in the Reconcavo Region. Bahia. Brazil.

**Figure 3** - Dispersion of absolute errors of individual volume estimates by artificial neural networks of native species in homogeneous stands of seven-years old.

**Figure 4** - Dispersion of absolute errors of individual volume estimates by artificial neural networks of native species in homogeneous stands of seven years old. ANN 1 (A). ANN 2 (B). ANN 3 (C) and ANN 4 (D).

#### **Capítulo 4**

**Figura 1.** Ilustração dos limites de consistência (Adaptado de Cerato & Lutenegger, 2006).

**Figura 2.** Etapas da determinação do volume de contração da amostra empregando o mercúrio metálico.

**Figura 3.** Etapas da determinação do volume de contração da amostra empregando o alternativo proposto neste capítulo.

**Figura 4.** Comparação dos volumes secos de amostras de solo obtidos pelo método convencional de deslocamento de mercúrio e pelo método alternativo empregando paquímetro digital.

**Figura 5.** Esquema do passo a passo para a determinação do volume de contração pelos métodos padrão e alternativo.

#### **Apêndice I**

**Figura 1.** Esquema de condução do ensaio em campo.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

**Tabela 1.** Valores médios da umidade gravimétrica no solo para as profundidades de 0 - 0,20 m, 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m em Latossolo Amarelo distrocoeso típico dos Tabuleiros Costeiros, em área sob cobertura com gramínea antes da aplicação dos diferentes níveis de compactação adicional ocasionados pelo tráfego de máquina.

**Tabela 2.** Significância dos dados de diferentes propriedades físicas em profundidades de uma Latossolo Amarelo distrocoeso sob o efeito do preparo do solo e intensidade de compactação no solo.

### Capítulo 2

**Tabela 1.** Valores médios da umidade gravimétrica no solo para as profundidades de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m coletadas nos sulcos de subsolagem em Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes níveis de compactações adicionais ocasionadas pelo tráfego de máquina, na região do Recôncavo da Bahia.

**Tabela 2.** Caracterização dos materiais aditivos adicionados ao solo.

**Tabela 3.** Valores médios de densidade do solo obtidos em diferentes condições de tráfego e profundidades antes da subsolagem na linha de aplicação dos tratamentos.

**Tabela 4.** Eficiência da aplicação dos aditivos no sulco no momento da subsolagem.

### Capítulo 3

**Table 1** - Descriptive statistics of the species *Anadenanthera macrocarpa*, *Genipa Americana*, and *Mimosa caesalpinifolia* Benth. used in volume modeling.

**Table 2** - Models to estimate volume of trees using linear regression analysis.

**Table 3** - Fitted regression models for plant volume of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia* at 7 year-age under different spacing in northeastern Brazil.

**Table 4** – ANNs selected to estimate the trees' volume of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia*.

**Table 5** – Artificial Neural Network – ANN selected to estimate individual volume of native species in 7-year- old homogenous stand.

**Table 6** – Best volumetric regression and RNN to estimate individual volume of *Mimosa caesalpinifolia*, *Genipa americana* and *Anadantera macrocarpa*.

#### **Capítulo 4**

**Tabela 1.** Análise de variância e teste comparativo de médias dos limites de contração, empregando o método considerado padrão e o método alternativo empregando paquímetro digital.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	5
LITERATURA CITADA .....	6
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>9</b>
INTRODUÇÃO .....	12
MATERIAL E MÉTODOS .....	13
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	19
CONCLUSÕES .....	30
LITERATURA CITADA .....	30
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>35</b>
INTRODUÇÃO .....	38
MATERIAL E MÉTODOS .....	39
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
CONCLUSÕES .....	49
LITERATURA CITADA .....	49
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>54</b>
INTRODUCTION .....	56
MATERIAL AND METHODS.....	57
RESULTS AND DISCUSSION .....	62
CONCLUSION.....	71
LITERATURE CITED .....	72
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>76</b>
INTRODUÇÃO .....	79
MATERIAL E MÉTODOS .....	82
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	85
CONCLUSÕES .....	87

<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>88</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>91</b>
<b>PLANO EXPERIMENTAL DE LONGO PRAZO: .....</b>	<b>91</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>METODOLOGIA PROPOSTA .....</b>	<b>92</b>
<b>RESULTADOS ESPERADOS .....</b>	<b>95</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>95</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui 9,85 milhões de hectares (ha) de florestas plantadas, sendo 75,2% ocupados com o gênero *Eucalyptus*. O estado da Bahia possui 657 mil ha de plantações florestais, o que o coloca em 4º lugar no ranking nacional (ABAF, 2018). Apesar dos números expressivos, a Bahia ainda possui grande potencial para o aumento da produção florestal, principalmente com Eucalipto, em razão da grande extensão territorial com áreas aptas para a cultura, principalmente na região dos Tabuleiros Costeiros (ABAF, 2018).

Nos Tabuleiros Costeiros do estado da Bahia predominam Argissolos e Latossolos Amarelos. Muitos desses solos apresentam horizontes subsuperficiais de caráter coeso, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018). Essa coesão causa, via de regra, impedimento mecânico à penetração de raízes e altera a dinâmica da água no solo, com o aparecimento de zonas saturadas na superfície; todos esses efeitos depreciam a produtividade das culturas agrícolas e florestais (SOUZA et al., 2008; VIEIRA et al., 2012).

Além da coesão, esses solos possuem um histórico de manejo inadequado, principalmente pelo uso intensivo de máquinas (Santos, 2010; Santos et al., 2011), que ocasiona modificações nos atributos físico-hídricos do solo, intensificados pelo aumento da compactação (DEBIASI et al., 2012), para além das já problemáticas camadas coesas.

Técnicas alternativas de manejo de solo podem contribuir para a redução da camada coesa desses solos, e de camadas compactadas, pelo emprego das práticas mecânicas (CARNEIRO et al., 2009). No setor florestal, as empresas tendem a utilizar a subsolagem como prática para o rompimento destas camadas e melhorar as propriedades físicas do solo (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

Os benefícios da subsolagem são comprovados por Liang et al. (2010), no crescimento de raízes de milho; He et al. (2019), na melhoria das propriedades físico-químicas e microbianas do solo; Mello et al. (2002), na redução da densidade do solo e, conseqüentemente, da resistência à penetração e aumento na macroporosidade do solo. No entanto, os efeitos benéficos da subsolagem são temporários, com os atributos físicos, principalmente a coesão, retornando a seus estágios originais (HE et al., 2007). No caso de culturas anuais, o efeito

temporário de mitigação das camadas coesas não é tão sentido, quanto no caso das culturas de longo prazo, como as espécies florestais. Por outro lado, estudos indicam que a presença de óxidos de ferro (goethita e hematita) e de alumínio (gibbsita), matéria orgânica e de grãos lisos de areia em proporções mais elevadas no solo, desfazem o ajuste face a face de partículas laminares, principalmente da caulinita, impossibilitando a manifestação pronunciada da coesão (Corrêa et al, 2008; Lima, 2020), indicando então a possibilidade da utilização desses materiais mais grosseiros como agentes condicionadores de melhorias das propriedades físicas do solo.

O objetivo desta dissertação foi buscar alternativas de mitigar as limitações físicas dos solos coesos e de camadas compactadas adicionais nos solos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, de forma a evitar a recomposição da estrutura adensada e ampliar o tempo de efetividade das práticas, no sentido de aumentar a produtividade das culturas, por prolongar a melhoria de seus atributos físicos. Dada à diversidade de tema e determinações realizadas, a dissertação foi dividida em quatro capítulos e um apêndice.

### LITERATURA CITADA

- ABAF. Associação Baiana das Empresas de Base Florestal. Bahia florestal relatório **ABAF2018**.
- CAMARGO, O.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: **ESALQ**, 1997. 132 p.
- CARNEIRO, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, nov. 2009.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CURI, N.; PEREIRA TORRES, T. C. Caracterização física, química, 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.

- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. Atributos físicos do solo e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária com braquiária e soja. **Ciência Rural**, 42:1180- 1186, 2012.
- HE, J.; SHI, Y.; YU, Z. Subsoiling improves soil physical and microbial properties, and increases yield of winter wheat in the Huang-Huai-Hai Plain of China. **Soil and Tillage Research**, 187, 182–193. 2019.
- HE, J.; LI, H. W.; WANG, X. Y.; MCHUGH, A. D.; LI, W. Y.; GAO, H. W.; KUHN, N. J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. **Soil & Tillage Research**. 94, 493–502. 2007.
- LIANG, J. F.; QI, Q. Z.; JIA, X. H.; GONG, S. J.; HUANG, Y. F. Effects of different tillage managements on soil properties and corn growth. **Ecology and Environmental Sciences**, 19, 945–950. 2010.
- LIMA, A. V. Morfologia e mineralogia de solos coesos e não coesos oriundos de sedimentos cenozóicos no estado da Bahia. 2003. 88 p. **Dissertação** (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2020.
- MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2002.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á. V.; LUMBRERAS, J.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. Brasília: **Embrapa**. Produção de Informações; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2018. 531p.
- SANTOS, G. G. Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo. Goiânia: UFG, 2010. 122p. **Tese Doutorado**.

- SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.
- SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 1996. p.36-75.
- SOUZA, L. S., SOUZA, L. D., PAIVA, A. Q., RODRIGUES, A. C. V., RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 503–513, 2008.
- VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 623-632, 2012.

## **CAPÍTULO 1**

### **COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE TRÁFEGO DE TRATOR**

## COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO AMARELO DISTROCOESO SUBMETIDO A DIFERENTES NÍVEIS DE TRÁFEGO DE TRATOR

### RESUMO

O uso de máquinas agrícolas, estando o solo em condições inadequadas de umidade, é considerado como a principal causa da compactação do solo, sendo tão mais impactante quanto maior for a intensidade do tráfego e peso das máquinas e implementos. A compactação modifica a estrutura do solo, tanto em superfície, como em subsuperfície, prejudicando o manejo do solo e a produtividade das culturas, por aumentar a resistência, reduzir a infiltração e distribuição de água no perfil do solo, afetando com isso, as condições de aeração do solo e a sustentabilidade da atividade agrícola. Neste sentido, objetivou-se com este capítulo avaliar o comportamento dos atributos físicos de um Latossolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes níveis de tráfego de trator agrícola em área de pastagens implantadas nos sistemas de preparo convencional e reduzido. O estudo foi desenvolvido no município de Cruz das Almas, BA. A pastagem implantada no sistema de preparo convencional envolveu aração e gradagem; enquanto no sistema de preparo reduzido somente a subsolagem. Cada área foi submetida a cinco níveis de tráfego de trator (número de passadas), que também constituem tratamentos. Em cada um dos tratamentos foram realizadas as avaliações dos seguintes atributos: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência à penetração e condutividade hidráulica do solo. Os resultados indicaram que a qualidade física do solo foi comprometida, por meio de variações nos parâmetros estudados, devido ao aumento do número de passadas de trator. Dentre os atributos físicos do solo avaliado, maior influência foi verificada no aumento da resistência à penetração e na redução da condutividade hidráulica saturada.

**Palavras chaves:** coesão, Tabuleiros Costeiros, propriedades físicas.

## COMPACTION OF A DISTROCKY YELLOW LATOSOL SUBMITTED TO DIFFERENT LEVELS OF TRACTOR TRAFFIC

### ABSTRACT

The use of agricultural machinery, with the soil under inadequate humidity conditions, is considered as the main cause of soil compaction. This impact is greater as the weight of the machines and implements, as well as the intensity of use increases. Compaction modifies the soil structure in both surface and subsurface, impacting soil management and crop productivity, since it increases soil resistance, reduces the water infiltration and distribution in the soil profile, reduces aeration, increases erosion and reduces sustainability of the agricultural activity. In this way, the objective of this chapter was to evaluate the physical attributes of a Yellow Latosol distrocoeso under different levels of compaction which was simulated by tractor traffic in different tillage systems: conventional tillage and minimum tillage (plowing and harrowing, and only subsoiling, respectively), in a pasture area in the region of Recôncavo da Bahia. The study was developed at the Experimental Farm of the Federal University of Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, in an area where two systems of soil preparation have been used, under the conventional tillage and minimum tillage. The following attributes were evaluated: soil density, total porosity, macroporosity, microporosity, resistance to penetration and hydraulic conductivity of the soil for all treatments. The results indicated that the physical quality, evaluated through the measured physical parameters of the soil, increase as the compaction increased, directly influencing the physical properties of the soil, mainly in the resistance to penetration and saturated hydraulic conductivity.

**Key words:** cohesion, Coastal Tablelands, physical properties.

## INTRODUÇÃO

A produção de culturas agrícolas e florestas estão associadas ao intenso tráfego de máquinas no campo. Isso ocasiona, principalmente, a compactação do solo, em razão do tráfego de máquinas (Hamza e Anderson, 2005; Holtkemeyer, 2005; Okunev e Kuznetsov, 2016; Aipov et al., 2018). No caso de solos coesos, o problema é ainda mais grave, visto que a camada coesa cria resistência abaixo da superfície do solo e aumenta a compactação logo acima desta, dificultando ainda mais o manejo desses solos que já são naturalmente mais complexos (JACOMINE, 1996; CARVALHO et al., 2002).

O uso de máquinas com o solo em condições de elevada umidade é considerado como a principal causa da compactação do solo, sendo tão mais impactante quanto maiores forem a intensidade do uso e peso das máquinas e implementos (BERISSO et al., 2013; FOUNTAS et al., 2013). Em consequência da compactação, os atributos físico-hídricos do solo sofrem modificações com alterações na estrutura, gerando condições adversas ao crescimento vegetal. Essas alterações são mais nítidas quando se compara os sistemas de uso do solo com o estado do solo ainda sob vegetação natural (SANTOS, 2010; SANTOS et al., 2011).

A modificação da estrutura do solo ocorre tanto em superfície como em subsuperfície (HORN et al., 2000), visto que compactar implica no aumento de massa por unidade de volume, elevando, com isso, a densidade do solo (Silva et al., 2006; Bergamin et al., 2010), a resistência do solo à penetração de raízes (Bergamin et al., 2010) e a microporosidade relativa. Essa modificação promove também redução linear na porosidade total (Bonini et al., 2011) e na macroporosidade (Beutler et al., 2005), afetando a morfologia e atributos fisiológicos das plantas (MARIOTTI et al., 2020), com efeito negativo sobre o desenvolvimento das plantas (Mika e Keeton, 2012).

As propriedades físicas do solo têm sido usadas como indicadores para caracterizar o processo de compactação (Keller et al., 2015). Entre elas, destacam a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade, a microporosidade, a resistência do solo à penetração das raízes (Singer e Ewing, 2000) e a condutividade hidráulica saturada (Santos et al., 2011), devido a interação com

outros atributos físico-hídricos do solo e o desenvolvimento das culturas (OLIVEIRA et al., 2012; MORAES et al., 2013).

Neste sentido, o objetivo deste capítulo foi avaliar a qualidade física de um Latossolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes níveis de compactação causados pelo tráfego de trator em áreas com históricos de sistemas de preparo de solo diferenciados (preparo convencional – aração e gradagem e preparo reduzido – apenas subsolagem) numa área de pastagem da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

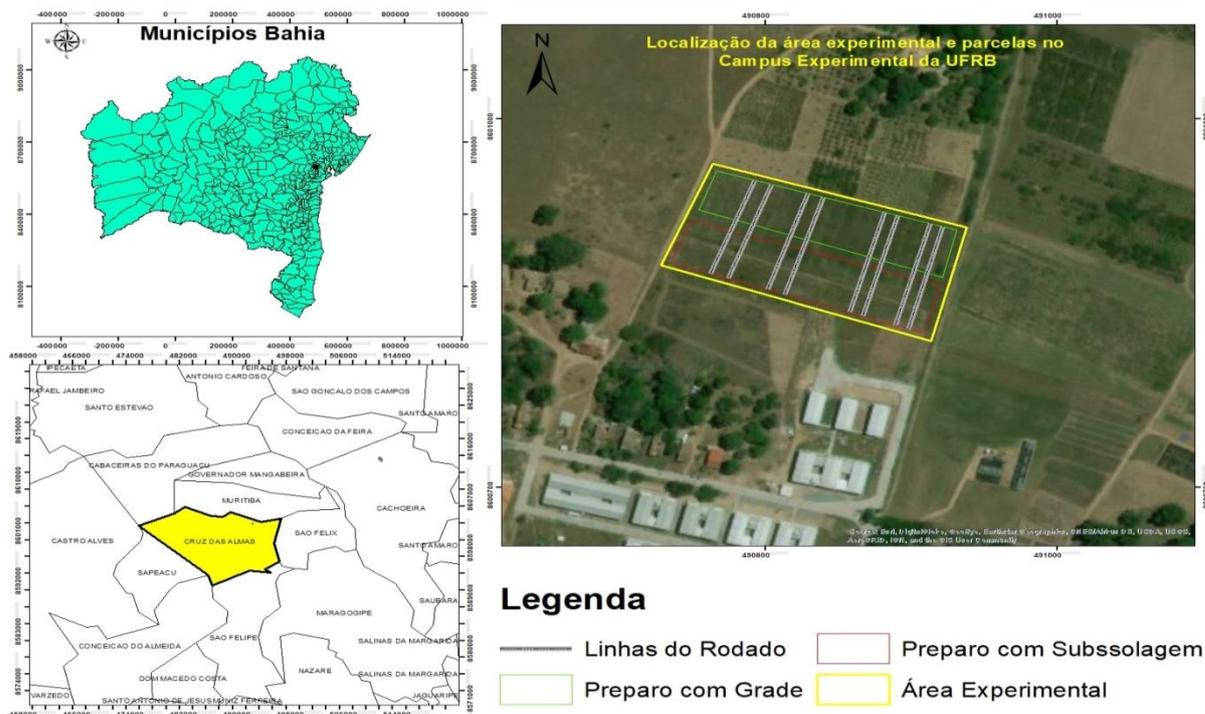
## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA. As coordenadas geográficas da área são: 12° 39' 20" S; 39° 05' 06" a 226 metros de altitude (Figura 1).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Af, subtropical úmido, com precipitação anual média de 1200 mm, temperatura média anual de 24,2°C e umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (IMET, 2018). O solo é classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013).

A área utilizada para a aplicação dos ensaios possui histórico de dois sistemas de preparo de solo, realizados há um ano, sendo o preparo convencional (aração e gradagem) e o preparo reduzido (apenas subsolagem). Antes da aplicação dos tratamentos, foi realizada uma roçagem de toda área, visando uma melhor trafegabilidade do trator, visto que a área estava ocupada com pastagem de braquiária (*Brachiaria decumbis* Stapf).



**Figura 2.** Localização da área de estudo e distribuição das parcelas com diferentes números de passagens do rodado do trator para simulação de diferentes intensidades de compactação, em área com Latossolo Amarelo distrocoeso em Cruz das Almas-BA.

Momento antes da instalação das parcelas experimentais para aplicação dos tratamentos foi realizada uma amostragem do solo, aleatoriamente, até a profundidade de 0,60 metros, em intervalos de 0,20 metros em 10 pontos de coletas, com auxílio de um trado holandês, para determinação da umidade do solo. Posteriormente, as amostras previamente armazenadas em cápsulas de alumínio foram levadas ao laboratório para determinação do teor de umidade (Tabela 1) no momento da aplicação dos tratamentos.

**Tabela 1.** Valores médios da umidade gravimétrica no solo para as profundidades de 0 - 0,20 m, 0,20 - 0,40 m e 0,40 - 0,60 m em Latossolo Amarelo distrocoeso típico dos Tabuleiros Costeiros, em área sob cobertura com gramínea antes da aplicação dos diferentes níveis de compactação adicional ocasionados pelo tráfego de máquina.

Profundidade (m)	Preparo convencional (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Preparo reduzido (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
0 - 0,20	0,0758	0,0767
0,20 - 0,40	0,0686	0,0740
0,40 - 0,60	0,0716	0,0678

### Desenho experimental e montagem do experimento

Como desenho experimental foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5, constituído por 10 tratamentos (Sistema de preparo do solo x Níveis de compactação) com quatro repetições, com a amostragem feita separadamente em três diferentes profundidades (0-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 metro).

Os sistemas de preparo de solo avaliados foram: convencional – com aração e gradagem e o reduzido – com subsolagem. Em cada área foram demarcadas cinco parcelas com dimensões de 4 m de largura por 50 m de comprimento. Em cada parcela foi adotado um dos cinco níveis de tráfego (número de passadas) do trator na mesma linha do rodado, ocasionando diferentes estados de compactação do solo. O trator utilizado para a realização do ensaio foi da marca NEW HOLLAND modelo 8030 MAR-1 (Figura 2), com potência nominal de 122 cv, torque máximo de 550 Nm, peso máximo admissível de 6,6 toneladas, pneus diagonais e pressão interna de 0,35 Mpa, e velocidade de operação de 1,5 m s<sup>-1</sup>.



**Figura 2.** Trator utilizado no ensaio para realização dos cinco níveis de compactação adicional.

Os níveis de tráfego avaliados foram: T0 - sem compactação adicional; T1 - compactação adicional por uma passada do trator; T3 - compactação adicional por três passadas do trator; T5 - compactação adicional por cinco passadas do trator e T7 - compactação adicional por sete passadas do trator. As passadas do trator ocorreram sempre na mesma linha de rodado. O tratamento T0, sem compactação adicional, reflete o histórico das tensões sofridas anteriores à montagem do experimento, principalmente pelas operações de preparo de solo, que ocorreram em toda a área do experimento antes de sua implantação. A aplicação dos tratamentos foi realizada quando o solo estava com umidade que representa o estado friável, determinado através quantificação da umidade disposto na tabela 1.

### **Atributos físico-hídricos avaliados**

Para cada parcela contendo um dos níveis de compactação avaliados, foram abertas quatro mini trincheiras no sentido transversal a linha de rodado do trator, distanciadas em 12 m uma da outra, constituindo as repetições dos tratamentos. Em cada mini trincheira foram coletadas amostras deformadas e amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0 a 0,20; 0,20 a 0,40 e 0,40 a 0,60 metro para avaliação dos seguintes atributos: densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), resistência a penetração e condutividade hidráulica do solo. As amostras indeformadas foram coletadas em

anéis metálicos (90 mm de altura e 45 mm de diâmetro) com uso do amostrador de Uhland. Todas as determinações seguiram a metodologia descrita em (TEIXEIRA et al., 2017).



**Figura 3.** Coleta de amostras indeformadas nas linhas do rodado do trator para avaliação dos atributos físico-hídrico de um Latossolo Amarelo discrocoeso.

Para calcular a densidade do solo, dividiu-se a massa das amostras secas a 105 °C pelo volume do anel volumétrico, conforme equação 1:

$$D_s = M_{ss} / V_t \quad (1)$$

onde:  $D_s$  = Densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ );  $M_{ss}$  = massa de solo seco à 105°C (Mg) e  $V_t$  = volume total do anel ( $m^3$ ).

A porosidade total do solo (PT) foi obtida através da diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco (empregada em todo o trabalho como  $m^3$ , visto que a densidade da água foi considerada como sendo  $1\ Mg\ m^{-3}$ ), conforme equação 2:

$$P_t = (M_{Ssat} - M_{Ss}) / V_t \quad (2)$$

onde:  $P_t$  = porosidade total ( $m^3\ m^{-3}$ );  $M_{Ssat}$  = Massa do solo saturado (Mg);  $M_{Ss}$  = Massa de solo seco (Mg) e  $V_t$  = Volume total da amostra ( $m^3$ ).

A microporosidade foi determinada utilizando o teor de água retida nas amostras em equilíbrio com a tensão de 0,006 MPa, considerando que essa tensão é suficiente para retirar toda a água contida nos macroporos, sendo que a água restante representa o volume de microporos (Teixeira et al., 2017), obtida através equação 3:

$$Mic = (P_{0,006MPa} - MS_s) / V_t \quad (3)$$

onde: Mic = Microporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $P_{0,006MPa}$  = massa de solo após submissão à tensão de 0,006 MPa (Mg);  $MS_s$  = massa de solo seco (Mg) e  $V_t$  = volume total da amostra ( $m^3$ ).

A macroporosidade do solo foi determinada utilizando-se o teor de água da amostra saturada que foi liberada até à tensão de 0,006 MPa (Teixeira et al., 2017), obtida através equação 4:

$$Mac = (MS_{sat} - P_{0,006MPa}) / V_t \quad (4)$$

onde: Mac = macroporosidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $MS_{sat}$  = massa de solo saturado (Mg);  $P_{0,006MPa}$  = massa de solo após à tensão de 0,006 MPa (Mg);  $V_t$  = volume total da amostra ( $m^3$ ).

A condutividade hidráulica saturada foi determinada segundo YOUNGS (1991), utilizando amostras indeformadas, calculada através da equação 5:

$$K_{sat} = [(Q \cdot A_c) / (A \cdot (A + A_l) \cdot 7)] \quad (5)$$

Onde:  $K_{sat}$  = condutividade hidráulica saturada do solo; Q = média das três últimas quantidades de água;  $A_c$  = altura do cilindro da amostra; A = área do cilindro da amostra;  $A_l$  = altura da lâmina de água remanescente; 7 = números de leituras realizadas no ensaio.

A resistência do solo a penetração (MPa) foi determinada através da equação proposta por Stolf (1991), utilizando um penetrômetro de impacto.

$$RP = (Mgh / Ax) \cdot M / (M + m) + ((M + m) / A) \cdot g \quad (6)$$

em que:  $M / (M + m)$  é a fração da diferença entre energia restante e as perdas de impacto; M (kg) é a massa de 4 kg; m (kg) é a massa do penetrômetro; A ( $m^2$ ) é a área de base do cone; e g a aceleração gravitacional ( $m s^{-2}$ ).

Os resultados obtidos foram trabalhados no programa estatístico R Development Core Team (2011), versão 3.5.1 (pt). Os testes estatísticos utilizados foram: normalidade de teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), análise de variância pelo teste Fischer e teste comparativo de médias de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O preparo do solo e os níveis de compactação influenciaram, de forma isolada e, ou em interação, a qualidade física do solo (Tabela 2). O efeito individual do preparo do solo foi verificado para densidade do solo ( $D_s$ ) em 0,20 – 0,40 m e condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ ) em 0,40 – 0,60 m, enquanto os níveis de compactação influenciaram individualmente a  $D_s$  em 0 – 0,20 m e a  $K_0$  nesta profundidade e em 0,40 – 0,60 m. Para a macroporosidade ( $M_a$ ), microporosidade ( $M_i$ ) e porosidade total ( $P_t$ ) na profundidade 0 – 0,20 m,  $M_a$  e  $P_t$  em 0,20 – 0,40 m e;  $D_s$ ,  $M_a$  e  $P_t$  em 0,40 – 0,60 m ocorreu efeito de interação entre os fatores estudados.

**Tabela 2.** Significância dos dados de diferentes propriedades físicas em profundidades de uma Latossolo Amarelo distrocoeso sob o efeito do preparo do solo e intensidade de compactação no solo.

Fator	P valor (* = 5% e ** = 1%); ns: não significativo		
	Preparo	Passadas	Preparo x Passadas
Profundidade 0 - 0,20 metros			
Densidade	0,3454 <sup>ns</sup>	0,0009**	0,1533 <sup>ns</sup>
Macroporosidade	0,0007**	0,0003**	0,0002**
Microporosidade	0,0067**	0,2802 <sup>ns</sup>	0,0512 <sup>ns</sup>
Porosidade Total	0,2381 <sup>ns</sup>	0,0009**	0,0016**
Condutividade Hidráulica Saturada	0,2966 <sup>ns</sup>	0,0053**	0,7071 <sup>ns</sup>
Profundidade 0,20 - 0,40 metros			
Densidade	0,0302*	0,0903 <sup>ns</sup>	0,0522 <sup>ns</sup>
Macroporosidade	0,0012**	0,0180*	0,0013**
Microporosidade	0,7380 <sup>ns</sup>	0,2719 <sup>ns</sup>	0,1577 <sup>ns</sup>
Porosidade Total	0,0003**	0,0004**	0,0057**
Condutividade Hidráulica Saturada	0,2158 <sup>ns</sup>	0,356 <sup>ns</sup>	0,4328 <sup>ns</sup>
Profundidade 0,40 - 0,60 metros			
Densidade	0,0392*	0,3331 <sup>ns</sup>	0,0307*
Macroporosidade	0,0001**	0,0191*	0,0000**
Microporosidade	0,8146 <sup>ns</sup>	0,6346 <sup>ns</sup>	0,7257 <sup>ns</sup>
Porosidade Total	0,0010**	0,0408*	0,0001**
Condutividade Hidráulica Saturada	0,0431*	0,0006**	0,0994 <sup>ns</sup>

Quando se avalia o efeito do preparo do solo sobre a DS e  $K_0$ , respectivamente nas profundidades de 0,20 – 0,40 m e 0,40 – 0,60 m (Figura 4) observa-se maior valor de DS no solo sob preparo convencional, comportamento inverso a  $K_0$  que se mostrou maior no solo sob preparo reduzido.

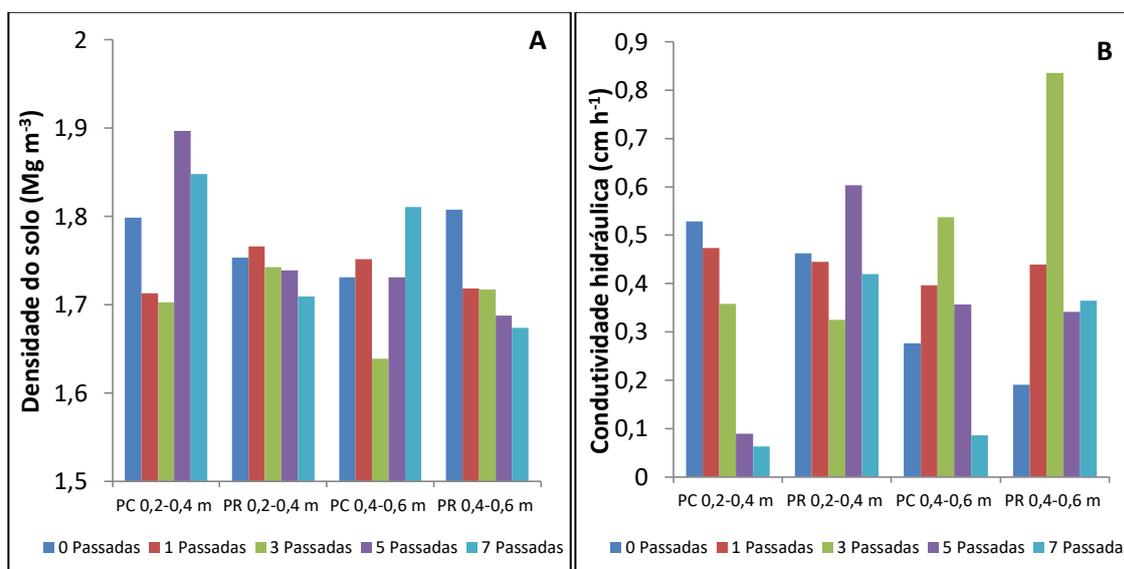
Para a DS, esses valores estão atribuídos ao sistema pré-existente de preparo adotado na área, em que o preparo convencional tende a promover maiores valores de  $M_a$  e  $P_t$  nos tratamentos sem o tráfego do trator, pois o processo de aração e gradagem desagregam a camada de 0,20 m, aumentando a porosidade do solo. No entanto, à medida que há uma força na superfície do solo, os agregados destruídos pelo preparo se rearranjam no solo com maior facilidade causando a compactação com aumento da DS e redução da  $K_0$ .

O aumento da DS em camadas subsuperficiais está relacionado com a dispersão e separação das partículas de argila, provocado, principalmente, pelo sistema de preparo convencional, onde migram mais facilmente, sob condições de chuva ou irrigação, para os horizontes subsuperficiais, formando os horizontes com caráter coeso, no qual elevam a DS desses horizontes (HELALIA et al., 1988; SOUZA et al., 2008; VIEIRA et al., 2012). Esse processo acontece com menor intensidade no preparo reduzido, pois o solo é revolvido minimamente nesse sistema, preservando mais agregados, além de promover o rompimento do horizonte coeso através da utilização de implementos utilizados no preparo do solo.

Para a profundidade de entre 0,20 e 0,40 m não foram observados aumentos na DS na área com o sistema pré-existente reduzido. Já no preparo convencional, os resultados foram similares aos encontrados para a camada de 0 a 0,20 m, com aumento da DS (Figura 4A). Este resultado é mais expressivo em solos cuja argila está mais dispersa e separada das demais partículas, que é provocado pelo sistema de preparo convencional, permitindo que ela migre mais facilmente, sob condições de chuva ou irrigação, para os horizontes subsuperficiais (HELALIA et al., 1988).

Valores de DS superiores aos encontrados na profundidade de 0-0,20 m foram encontrados na camada de 0,20-0,40 m. Isso porque as classes dos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros, em geral, possuem horizontes com caráter coeso, elevando a DS desses horizontes (SOUZA et al., 2008; VIEIRA et al., 2012).

Houve o efeito do preparo convencional pré-existente sobre a  $K_0$  para a profundidade de 0-0,20 m, tendo sido limitante a partir do tratamento T5 (5 passadas). O fato desse comportamento ter sido observado somente para o preparo convencional é devido à ação da haste do subsolador (preparo reduzido) que promove o rompimento da camada coesa do solo até profundidade de trabalho, facilitando a infiltração de água, diferente do preparo convencional no qual a profundidade de preparo do arado não ultrapassa a profundidade de 0,30 m. Resultados similares foram observados por Camara e Klein (2005), que empregaram um escarificador no preparo do solo. Os autores obtiveram respostas positivas com o aumento da condutividade hidráulica e a infiltração de água no solo, depois da escarificação.



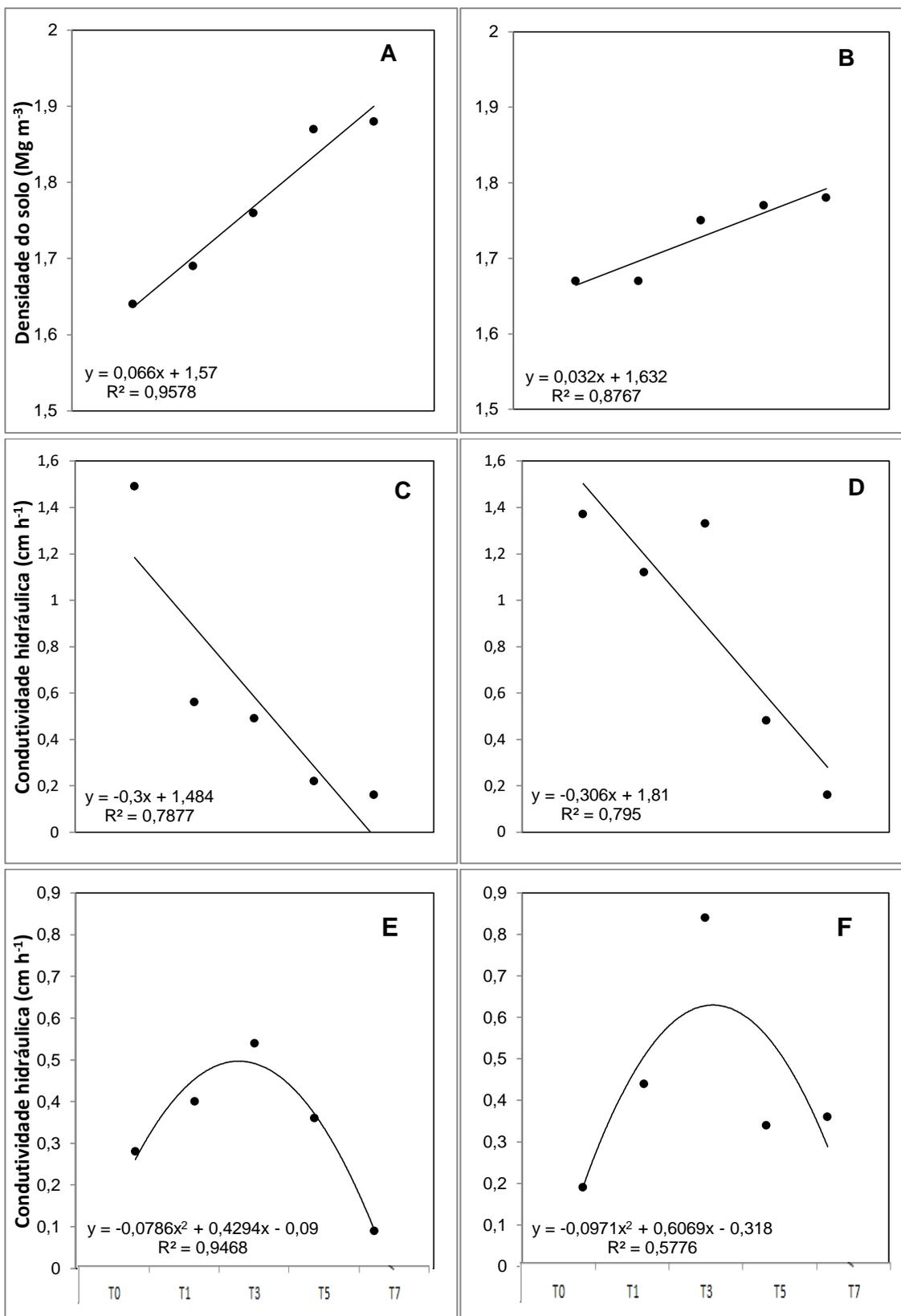
**Figura 4.** Valores médios de densidade do solo (A) e condutividade hidráulica (B) do solo nas profundidades de 0,20 – 0,40 m; 0,40 – 0,60 m sob os sistemas de preparo convencional (PC) e preparo reduzido (PR) e números de passadas de trator.

Para o efeito da intensidade do tráfego do trator (Figura 5) na DS em 0 – 0,20 m, foi verificado aumento linear crescente, enquanto para a  $K_0$ , tanto nesta

profundidade, quanto em 0,40 – 0,60 m, o comportamento foi linear decrescente. Esse aumento está relacionado a redução do volume de solo, causado pela pressão aplicada através da passagem do trator, sem variações na massa do solo que foi mobilizada, principalmente através do preparo convencional, causando a compactação. Resultados similares foram observados por Niero et al. (2010) em um Latossolo Vermelho distroférico típico e Oliveira et al. (2012) em Latossolo Vermelho, onde os autores também constataram o aumento da DS em função da compactação adicional.

Elevados valores de DS foram observados para todos os níveis de tráfego, em ambos os sistemas, mesmo nos tratamentos sem compactação adicional (T0) e compactação adicional com uma passada (T1), variando entre 1,64 a 1,67 Mg m<sup>-3</sup>. Esses valores estão associados à textura do solo, com predomínio da fração areia, e próximos da DS crítica relatada por Reichert et al. (2003), para solos franco-arenosos (mesma classe textural do solo em estudo), como sendo de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup>.

Ainda para a profundidade de 0 a 0,20 m, observa-se que somente a partir de três passadas (T3) a pressão aplicada ao solo pelo tráfego aumentou a DS em relação ao tratamento sem compactação adicional (T0), para o preparo reduzido. Já no sistema convencional, a partir de uma passada (T1), a pressão aplicada já foi considerada um fator de causa de aumento da compactação. Isso em razão do histórico do preparo da área, que revolve minimamente o solo (preparo reduzido com uso somente do subsolador), que preserva os agregados do solo, fora da linha de subsolagem. Porém, no sistema convencional houve diferença significativa já com o tráfego do trator em uma passada (T1), comparado com o tratamento (T0), indicando alto estado de compactação da área, refletindo acréscimo de compactação àquele que faz parte do histórico das tensões sofridas pelo uso intenso de máquinas e implementos no passado.



**Figura 5.** Densidade do solo e condutividade hidráulica em função de diferentes intensidades de tráfego de máquinas em dois sistemas de preparo do solo na profundidade de 0 – 0,20 m. Em que: T0 - sem compactação adicional; T1 - uma passada; T3 - três passadas; T5 - cinco passadas; T7 - sete passadas nos sistemas de preparo convencional (Figuras A, C e E) e reduzido (Figuras B, D e F).

Os efeitos da intensidade do tráfego do trator dentro de cada sistema de preparo do solo foram observados para as variáveis Ma, Mi e Pt (0 – 0,20 m), Ma e Pt (0,20 – 0,40 m) e DS, Ma e Pt (0,40 – 0,60 m), conforme verificado na figura 6. O efeito da interação entre o preparo do solo e o número de passadas foi observado para Ma, Mi e Pt, nos primeiros 0,20 m de profundidade, onde houve redução desses parâmetros com o aumento do tráfego do trator em ambos os sistemas pré-existentes na área, porém de forma mais sensível no preparo reduzido (Figuras 6A, B e C).

Esses valores estão atribuídos ao sistema pré-existente de preparo adotado na área, em que o preparo convencional tende a promover maiores valores de Ma e Pt nos tratamentos sem o tráfego do trator, pois o processo de aração e gradagem desagregam a camada de 0,20 m, aumentando a porosidade do solo. No entanto, à medida que há uma força na superfície do solo, os agregados destruídos pelo preparo se rearranjam no solo com maior facilidade causando a compactação. Esse processo acontece com menor intensidade no preparo reduzido, pois o solo é revolvido minimamente em relação ao preparo convencional. Essa tendência concorda com a afirmação de Figueiredo et al. (2009), ao concluíram que, com o passar do tempo, a compactação diminui a Ma e a Pt, além de diminuir o tamanho e a continuidade de poros em camadas superficiais.

Valores de macroporosidade abaixo de 10% foram observados apenas para os tratamentos a partir de três passadas (T3), no sistema convencional na profundidade de 0,40–0,60 m (Figura 6G) e para o tratamento com sete passadas (T7) na profundidade de 0,20–0,40 m no sistema convencional (Figura 6D). Segundo Sojka (1992) e Leão (2002), quando a porosidade de aeração ou Ma é menor que 10% do volume de solo, a taxa de fluxo de oxigênio para o sistema

radicular dos vegetais é afetada, prejudicando, assim, os processos fisiológicos e metabólicos e, conseqüentemente, o desenvolvimento do sistema radicular.

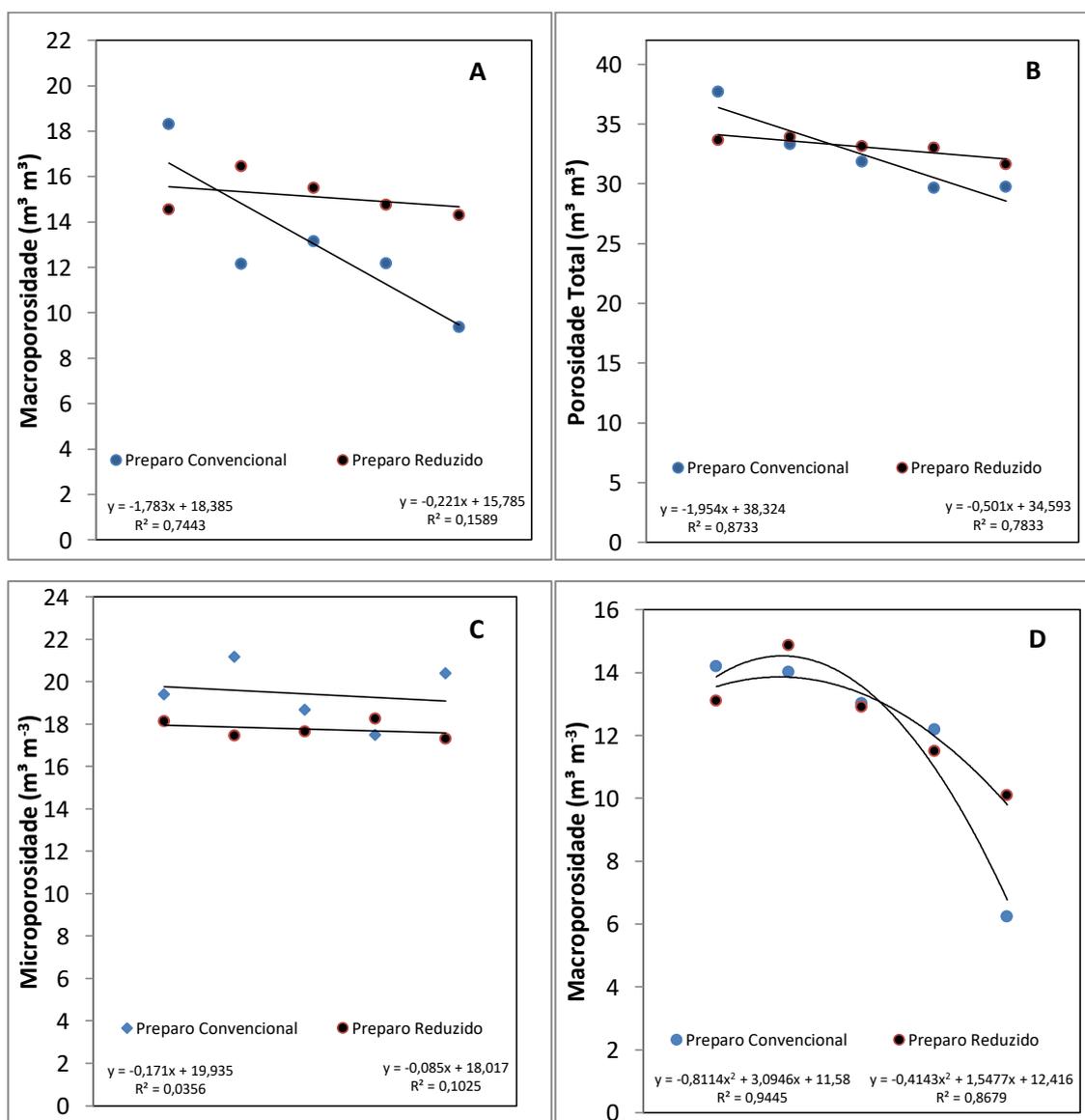
O efeito da interação entre o preparo e aumento do tráfego do trator para a variável  $M_i$  foi observado somente para a profundidade 0-0,20 m (Figura 6C). Isso ocorre devido a aplicação crescente de carga sobre o solo, na qual reduz a quantidade de microporos no solo. Os resultados encontrados para a  $M_i$  são similares aos encontrados na literatura. Boeni (2000), trabalhando com Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho trafegado por trator com diferentes pressões nos pneus, verificou aumento da  $M_i$  com aumento da pressão dos pneus, para o primeiro solo, bem como aumento da mesma para o segundo solo sem diferença para pressão de pneus.

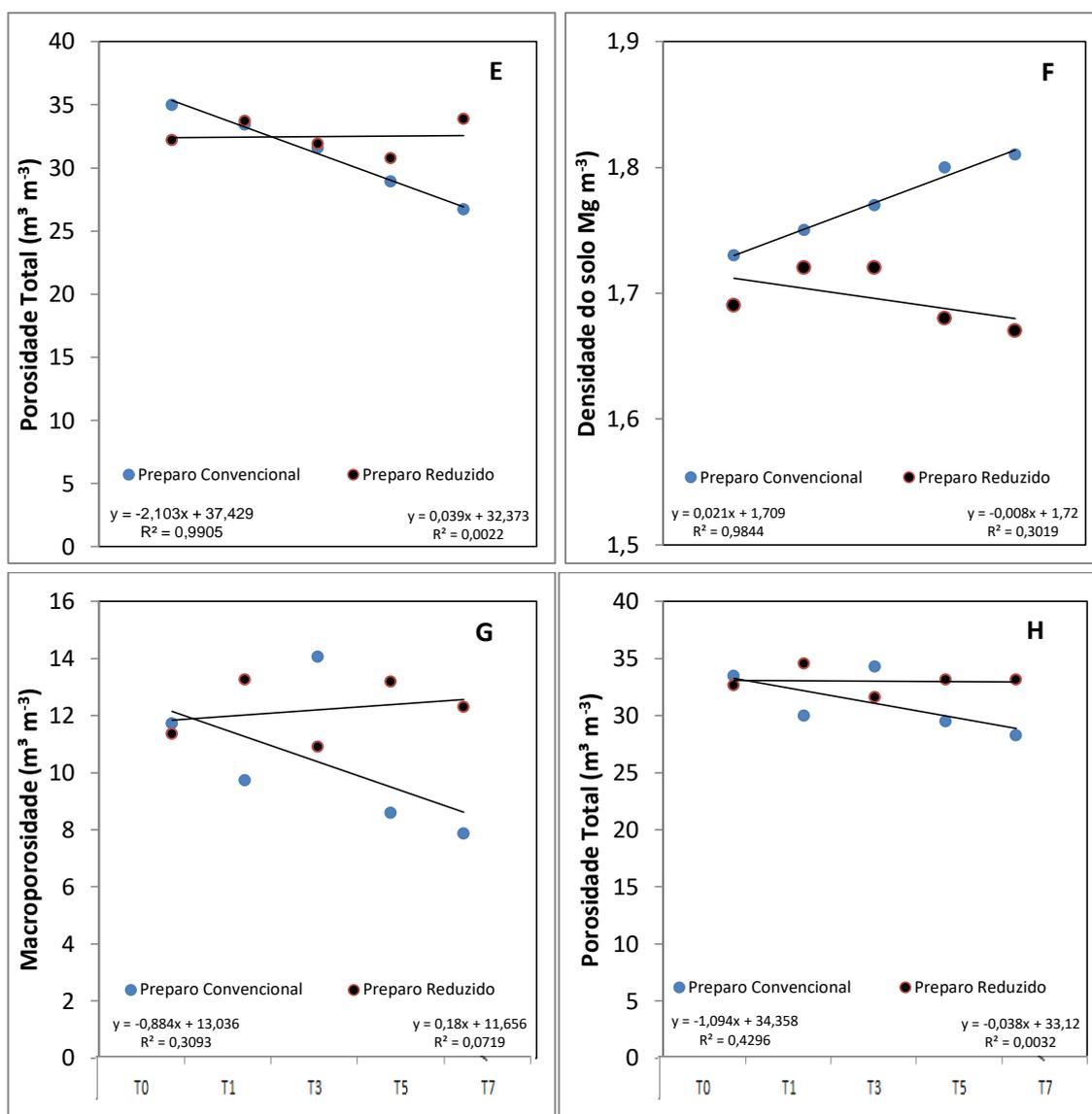
Os diferentes níveis de tráfego adicionais na profundidade 0,20-0,40 m têm o mesmo comportamento verificado na profundidade de 0-0,20 m para as variáveis  $M_a$  e  $P_t$ . Há redução desse parâmetro no sistema convencional, porém mais sensível no sistema reduzido na camada de 0,20 a 0,40 m (Figura 5D, 5E). Esse resultado é atribuído a compactação causada pelo tráfego de máquinas e a deposição de argila nas paredes dos poros e superfície dos grãos de quartzo, ocasionando um arranjo mais compacto de partículas, fato que eleva o adensamento das camadas subsuperficiais e, conseqüentemente, reduz a  $M_a$  e a  $P_t$ , conforme também observado por (SILVA et al., 2005).

Para a profundidade de 0,40-0,60 m, observou-se comportamento semelhante ao verificado nas profundidades anteriores para o preparo convencional pré-existente, em que o aumento da intensidade do tráfego de máquinas sobre o solo, influencia diretamente no aumento da  $DS$ , diferente do observado no preparo reduzido, onde ocorreu uma constância nos valores desse atributo nos diferentes tratamentos. Isso é explicado pelo fato do sistema revolver minimamente o solo, rompendo e desagregando a camada coesa do solo, criando agregados do solo, que contribuem para a manutenção das propriedades físicas do solo na profundidade de 0,40-0,60 m.

Ainda nessa profundidade, observou-se o efeito do preparo e número de passadas do trator na redução da  $M_a$  e  $P_t$ , para os tratamentos com compactação adicional, em relação àquele sem compactação adicional ( $T_0$ ),

somente para na área com a condição pré-existente de preparo convencional. Esses resultados corroboram Figueiredo et al., (2009), ao constatarem que a compactação adicional reduziu a  $M_a$  e a  $P_t$ , além de diminuir o tamanho e a continuidade de poros em camadas subsuperficiais. Não foi observado efeito do número de passadas do trator, na área sob a condição pré-existente de preparo reduzido, para as variáveis  $DS$ ,  $M_a$  e  $M_i$ . Isso evidencia a eficácia do preparo do solo na manutenção das propriedades físicas do solo na profundidade de 0,40-0,60 m (Figuras 6F, G e H).



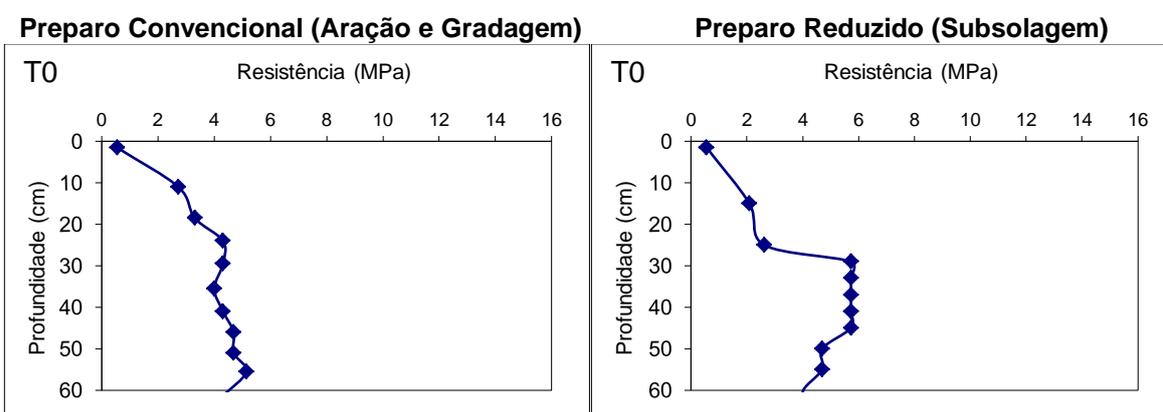


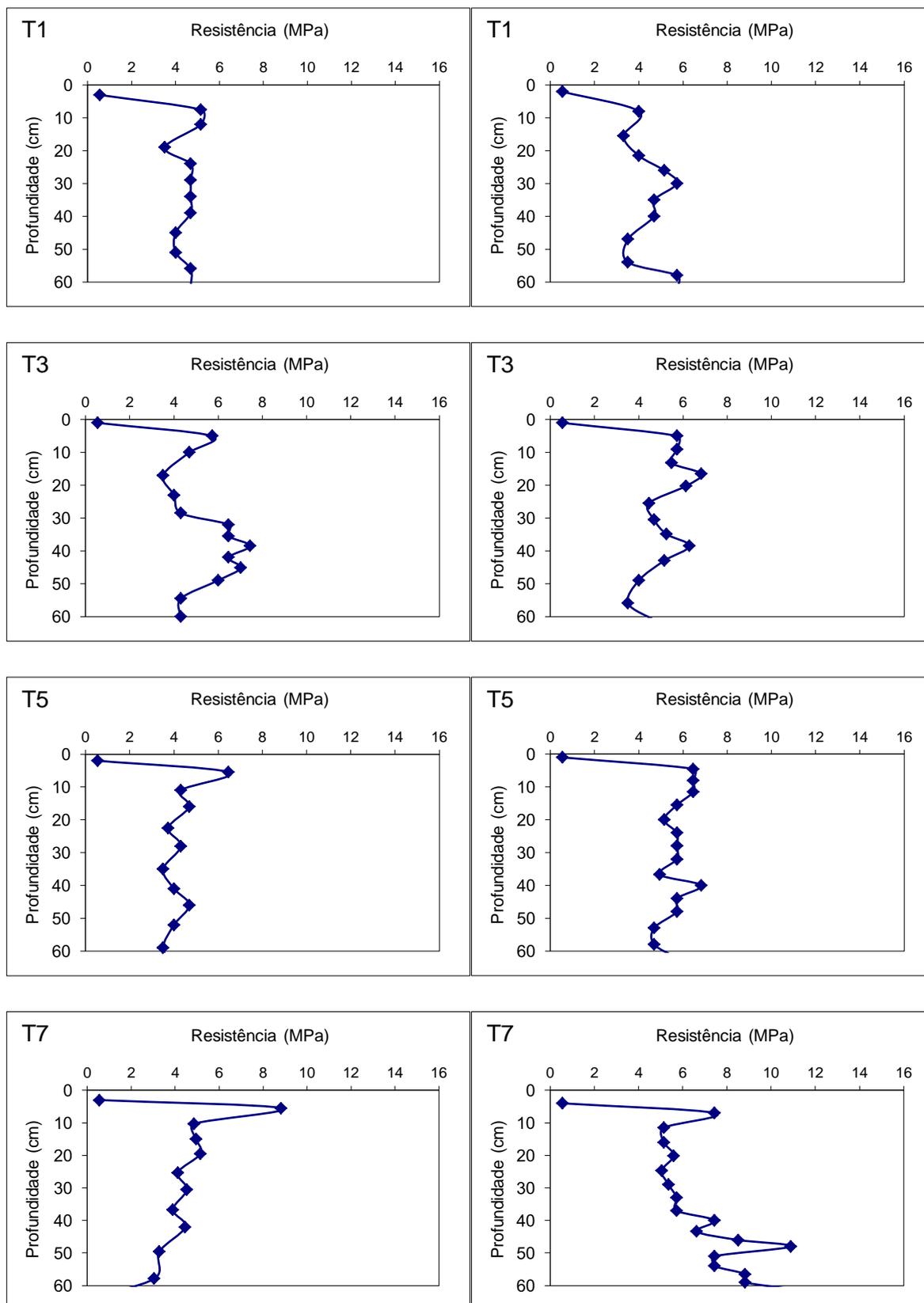
**Figura 6.** Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo em função da intensidade de tráfego de máquinas em dois sistemas de preparo do solo nas profundidades de 0 – 0,20 m (Figuras A, B e C); 0,20 – 0,40 m (Figuras D e E) e 0,40 – 0,60 m (Figuras F, G e H). Em que: T0 - sem compactação adicional; T1 - uma passada; T3 - três passadas; T5 - cinco passadas; T7 - sete passadas.

A resistência do solo à penetração (Figura 7) foi sensível ao tráfego de máquinas aplicado, sendo essa a propriedade física que melhor evidenciou o efeito do número passadas da máquina sobre o solo em ambos os sistemas pré-existent de preparo do solo. Os resultados evidenciam uma diferença significativa entre o tratamento sem compactação adicional (T0) e os demais tratamentos que receberam a compactação adicional com tráfego de máquinas

para a profundidade de até 0,10 m, no sistema de preparo convencional. Para o sistema de preparo reduzido foi observado o mesmo comportamento que o convencional até a profundidade de 0,20 m, com aumento da resistência à penetração em função dos diferentes níveis de tráfego. Porém, houve menores resistências do solo à penetração em todos os tratamentos em relação ao sistema com subsolagem. Resultados similares foram constatados por outros autores (Abreu et al., 2004; Secco et al., 2004; Tormena et al., 2004 e Collares et al., 2008), os quais verificaram menor resistência à penetração em solos submetidos à escarificação.

De acordo com Rosolem et al., (1999), os valores críticos de resistência à penetração podem variar de 1,5 MPa a 4,0 Mpa. No presente trabalho, valores de resistência do solo à penetração acima de 2 a 3 MPa foram observados em todos os tratamentos em que foi realizada a compactação adicional, sendo 2,0 MPa considerado potencialmente crítico ao desenvolvimento radicular de espécies agrícolas (Greacen e Sands., 1980), e de 3,0 MPa restritivo para o desenvolvimento radicular de espécies florestais (ZOU et al., 2000).





**Figura 7.** Resistência à penetração em Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes níveis de tráfego (passadas de trator) nas condições de preparo pré-existent:

convencional (Aração e Gradagem) e reduzido (Subsolagem), na região dos Tabuleiros Costeiros, Recôncavo da Bahia.

## CONCLUSÕES

As propriedades físicas do solo foram comprometidas com a variação do preparo do solo e aumento do número de passadas do trator;

O preparo reduzido propiciou a melhor condição para manutenção do estado inicial das condições físicas do solo;

A resistência do solo à penetração foi mais eficiente como indicador de alteração da qualidade física do solo submetido a diferentes preparos e níveis de compactação do solo;

O aumento da intensidade do tráfego resultou em significativas alterações na densidade, macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo em ambos os preparos, sendo mais visível no sistema convencional.

A microporosidade não foi alterada nos diferentes preparos e níveis de compactação do solo.

## LITERATURA CITADA

- ABREU, S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:519-531, 2004.
- AIPOV, R. S.; YARULLIN, R. B.; GABITOV, I. I.; MUDARISOV, S. G.; LINENKO, A. V.; FARHSHATOV, M. N.; KHASANOV, E. R.; GABDRAFIKOV, F. Z.; YUKHIN, G. P.; GALIULLIN, R. R. Mechatronic system linear swing vibrating screen of a grain cleaner. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, n. 13, 6473–6477, 2018.
- BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, R. R.. Compactação em um latossolo vermelho distroférico e suas relações com o Crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 34, p.681-691, 2010.

- BONINI, A. K.; SECCO, D.; SANTOS, R. F.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um Latossolo sob estados de compactação. **Ciência Rural**, vol.41, n. 9, p. 1543-1548, 2011.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:789-796, 2005.
- CARVALHO, J. E. B.; SOUZA, L. S.; CALDAS, R. C.; ANTAS, P. E. U. T.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L. C.; SANTOS, R. C.; LOPES, N. C. M.; SOUZA, A. L. V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja- 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, n.1, p.82–85, 2002.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.933-942, 2008.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, 2017. 573 p.
- FIGUEIREDO, C. C.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.146- 151, 2009.
- GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 18, p. 163-189, 1980.
- HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems A review. of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Res.** 82, 121–145, 2005.
- HOLTKEMEYER, V. Messung der Reifenverformung bei verschiedenen Radlasten und Luftdrucken. **Landtechnik** 60 (2), 76–79, 2005.

- HELALIA, A. M.; LETEY, J.; GRAHAM, R. C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. **Soil Science Society of American Journal**, v.52, p.251-255, 1988.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1996. p.13-26.
- MARIOTTI, B.; HOSHIKA, Y.; CAMBI, M.; MARRA, E.; FENG, Z.; PAOLETTI, E.; MARCHI, E. Vehicle-induced compaction of forest soil affects plant morphological and physiological attributes: A meta-analysis. **Forest Ecology and Management**, 462, 118004. 2020.
- MORAES, M. T.; DEBIASE, H.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4. p. 748-757, 2013.
- NIERO, L. A. C.; DECHE N, S. C. F.; COELHO, R. M.; DE 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**, 34:1271 1282, 2010.
- OLIVEIRA, P. R.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. S.; BÁRBARO JÚNIOR, L. S.; ROSSETI, K. V. Qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja submetido a níveis de compactação e de irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.36, n.2, p. 587-597, 2012.
- OKUNEV, G. A.; KUZNETSOV, N. A. The influence of average class tractors on soil and its consequences. Assessment of tractor use efficiency. **Agro-Ind. Complex Russia** 75 (1), 53–59. in Russian, 2016.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, 27:29-48, 2003.

- 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 dos Tabuleiros Costeiros: análise e sugestões. Salvador, **Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária**, 2002. 97p.
- SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:797-804, 2004.
- SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.833-842, 2005.
- SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, n. 10 p. 842-847, 2006.
- SOJKA, R.E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 154:269-280, 1992.
- SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. Anais... Aracaju: **Embrapa-CPATC/Embrapa CNPMF/EAUFBA/IGUFBA**, 1996. p.36-75.
- STOLF, R., 1991. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência de solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 15, 229–235.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 28:1023-1031, 2004.

- YOUNGS, E. G. Hydraulic conductivity of saturated soils. SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed). Soil analysis: physical methods. **New York** : Marcel Dekker, 1991. p.161-207.
- ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G.; HUDSON, I. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Australian Journal of Soil Research**, v. 28, p. 947-958, 2010.

## **CAPÍTULO 2**

**EFICIÊNCIA DE DISPOSITIVO ACOPLADO EM SUBSOLADOR PARA  
DISTRIBUIR CONDICIONANTES SÓLIDOS NO SUBSOLO DE SOLOS  
COESOS E COMPACTADOS**

## EFICIÊNCIA DE DISPOSITIVO ACOPLADO EM SUBSOLADOR PARA DISTRIBUIR CONDICIONANTES SÓLIDOS NO SUBSOLO DE SOLOS COESOS E COMPACTADOS

### RESUMO

Os subsoladores são empregados com o intuito de desagregar camadas compactadas ou coesas de solos em camadas mais profundas visando facilitar a infiltração de água e a penetração de raízes. No entanto, os efeitos benéficos da subsolagem são geralmente temporários, com retorno das propriedades do solo às condições originais em cerca de 2 a 4 anos. A incorporação de material de textura mais grosseira juntamente com a subsolagem é, portanto, uma forma de evitar, ou retardar, a volta do sulco de subsolagem ao estado em que se encontravam antes da subsolagem, mantendo-se um local, ou “caminho”, por meio do qual água e sistema radicular possam atingir camadas mais profundas do solo. Assim, os objetivos do estudo foram: a) desenvolver um dispositivo para acoplar ao subsolador para aplicação de materiais de textura mais grosseira no sulco da subsolagem; e b) avaliar a eficiência da aplicação desses materiais e sua presença no sulco de subsolagem no perfil do solo. Foram utilizados dois materiais de textura grosseira com diferentes propósitos: i) material de rocha triturada, que além de aumentar o tamanho dos poros atuará como condicionador de fertilidade, da macroporosidade e porosidade total do solo; e ii) areia grossa, cuja finalidade é aumentar a macroporosidade e porosidade total no sulco de subsolagem do perfil do solo. Ambos podem mitigar o efeito da camada coesa e, ou compactada, e retardar o retorno em tamanho de poros e distribuição dos mesmos à condição original no sulco de subsolagem. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA, em uma área de 2600 m<sup>2</sup>. Previamente, as áreas foram induzidas a diferentes níveis de compactação por meio de passadas de trator e, posteriormente, foi feita a subsolagem aplicando-se “pó de rocha” ou areia grossa. Foram abertas trincheiras para se verificar a distribuição/presença de cada um dos materiais adicionados nas diferentes condições de compactação. Verificou-se que os sulcos de subsolagem ultrapassaram a camada coesa. Houve maior homogeneidade e, portanto, espera-se maior mitigação das limitações de macroporosidade da camada coesa onde foi adicionada areia grossa. Entretanto, onde foi aplicado o material de rocha triturada, em virtude da composição química, espera-se maior aprofundamento do sistema radicular das plantas, em razão da melhor composição química (presença de nutrientes) para as espécies a serem cultivadas. O dispositivo desenvolvido e acoplado ao subsolador foi considerado eficiente para a aplicação de diferentes materiais até uma profundidade de 0,60 m.

**Palavras-chave:** pó de rocha, condicionador de porosidade, adensamento.

## **EFFICIENCY OF A DEVICE TO BE COUPLED IN SUBSOLER FOR APPLING SOLID CONDITIONERS IN THE SUBSOIL OF COHESIVE AND COMPACTED SOILS**

### **ABSTRACT**

Subsoilers are used in order to disrupt compacted or cohesive deep layers of soil and increase infiltration of water and root growth. However, the beneficial effects are usually temporary and the physical properties of soils return to their original condition in about 2 to 4 years. The use of conditioners to be incorporated into the subsoiler furrow is, therefore, a way to prevent or to delay the return of physical properties to the state that they were before subsoiling the soil. Thus, the objectives of the study were: a) to develop a device to attach to the subsoiler for application of coarser texture materials in the subsoiler furrow; and b) to evaluate the efficiency of distribution of conditioners in the subsoiler furrows. Two coarse-texture materials were used for different purposes: crushed rock material, as a conditioner for fertility, macroporosity and the total soil porosity; and coarse sand, to increase the macroporosity and total porosity along the subsoiler furrow. Both can avoid or delay the return of the cohesive or compacted layers to their original condition in the subsoiling furrows. The experiment was set up at the Experimental Farm of the Center for Agricultural, Environmental and Biological Sciences of the Federal University of Recôncavo da Bahia (CCAAB / UFRB), Cruz das Almas, BA, in an area of 2600 m<sup>2</sup>. Previously to subsoiling the areas, different levels of compaction were induced. Then, subsoiling was done by applying crushed rock and coarse sand as mentioned above. Trenches were open in order to verify the distribution of both conditioners. Later, the subsoiling furrows will be used as the for planting native species and eucalyptus; annually, the development will be evaluated and modeled using artificial neural networks - ANN, a topic discussed in chapter 3. There was greater homogeneity of distribution where sand was applied. Therefore, it points to a greater mitigation of the low macroporosity of the cohesive or additionally-compacted layers. On the other hand, the crushed rock material, due to its chemical composition, is promising in terms of the nutritional aspects and root growth of the species to be cultivated. The developed device coupled to the subsoiler was efficient for the application of both materials to a depth of 0.60 m.

**Key words: rock powder, porosity conditioner, densification.**

## INTRODUÇÃO

As classes dos Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros possuem limitações químicas e físicas (JACOMINE, 1996; CARVALHO et al., 2002). Entre elas estão, a baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de argila e matéria orgânica e, a ocorrência de horizontes com caráter coeso, localizado abaixo da superfície do solo, normalmente, entre as profundidades de 0,20 e 0,80 m (JACOMINE, 1996). Essas camadas dificultam o desenvolvimento radicular e alteram a dinâmica da água e do ar, causando o aparecimento de zonas saturadas, as quais interferem no rendimento das culturas (SOUZA et al., 2008; VIEIRA et al., 2012).

Além da ocorrência de camadas coesas, esses solos apresentam um histórico do uso intensivo com máquinas agrícolas e atividade de pecuária extensiva que, em condições inadequadas de umidade, resultam na compactação do solo (BERISSO et al., 2013; FOUNTAS et al., 2013). Essas alterações são nítidas, quando se compara os sistemas de uso do solo sob vegetação natural (SANTOS, 2010; SANTOS et al., 2011).

Na agricultura, especialmente no setor florestal, são empregados subsoladores para romper a camada compactada e, ou coesa, mobilizando o mínimo possível o solo (CARVALHO FILHO et al., 2007). Nesse sistema normalmente são utilizados escarificadores ou subsoladores, sendo que a escolha do implemento depende da profundidade onde está localizada a camada compactada ou coesa. No caso dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, a utilização da subsolagem é uma prática recomendada para o rompimento destas camadas (CAMARGO e ALLEONI, 1997).

Diversos autores destacam os benefícios da subsolagem no crescimento de raízes de milho (Liang et al., 2010) e na melhoria das propriedades físico-químicas e microbianas do solo (HE et al., 2019), a exemplo da redução na densidade do solo e resistência à penetração de raízes e no aumento da macroporosidade do solo (MELLO et al., 2002). No entanto, os efeitos benéficos da subsolagem são normalmente temporários, os atributos físicos retornam às condições originais em cerca de 2 a 4 anos (HE et al., 2007). De acordo com Busscher et al., (1995), esse retorno depende do tipo de solo e das práticas

culturais predominantes, bem como, segundo Busscher et al., (2002), das condições de infiltração de água do solo.

Estudos demonstram que a presença de óxidos de ferro (goethita e hematita), óxidos de alumínio (gibbsita) e matéria orgânica em proporções mais elevadas, bem como a presença de areia mais grossa com grãos lisos no solo dificultam o ajuste face a face com a caulinita, impossibilitando a manifestação pronunciada da coesão (CORRÊA, 2008; LIMA et al., 2016). No caso deste estudo, os efeitos são mínimos, visto que as proporções de goethita, hematita e caulinita são baixas, sendo as diferentes proporções dos tamanhos da fração areia mais expressiva para a formação de camadas coesas e ou facilidade de compactação.

A hipótese de que a presença de materiais com textura mais grosseira (areia grossa e pó de rocha) em comparação àqueles presentes no solo, poderá contribuir para evitar ou retardar a volta das propriedades físicas a seu estado original (coesão). Além disso, dependendo do material empregado (material de rocha, por exemplo), poderá haver melhoria nas condições de fertilidade, propiciando melhores condições para o desenvolvimento de culturas (SILVEROL e MACHADO FILHO, 2007; SILVA et al., 2008).

Estudos utilizando materiais de textura grossa (pó de rocha e ou areia grossa) como condicionantes de atributos físicos do solo, a exemplo da porosidade, ainda são escassos. Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo desenvolver um dispositivo a ser acoplado no subsolador para aplicação de material de textura mais grosseira e testar a efetividade dessa prática em Latossolo distrocoeso sob diferentes condições de compactação induzidas, em adição à sua própria coesão natural.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA, em uma área de 2600 m<sup>2</sup> (Figura 1).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Af, com pluviosidade média de 1200 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média anual de 24,2°C e umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (IMET, 2019). O solo é classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013).



## Legenda

- |                                                                                     |                   |                                                                                     |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
|  | Linhas do Rodado  |  | Preparo com Subsolagem |
|  | Preparo com Grade |  | Área Experimental      |

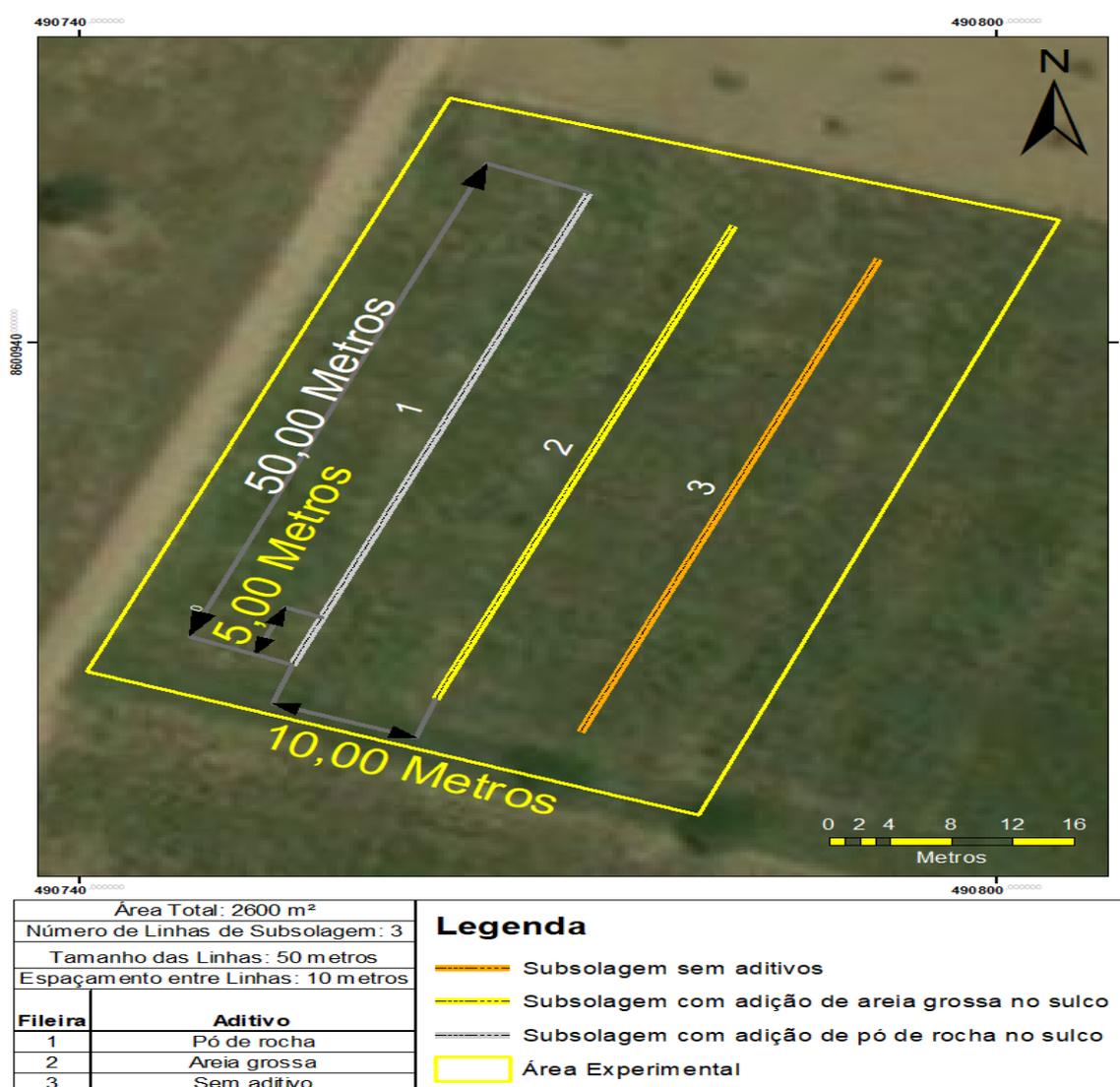
**Figura 1.** Localização da área de estudo e distribuição das parcelas com diferentes números de rodado do trator para simulação de diferentes intensidades de compactação, em área com Latossolo Amarelo distrocoeso do Recôncavo da Bahia.

## Organização experimental

Para aplicação dos tratamentos, foi utilizada uma parte da área anteriormente trabalhada no ensaio do capítulo 1. De um total de cinco tratamentos adotados naquele ensaio, foram escolhidas três parcelas de 4 metros de largura e 50 metros de comprimento para a subsolagem e aplicação dos

condicionadores: T3 - compactação adicional causada por três passadas do trator; T5 - compactação adicional causada por cinco passadas do trator e T7 - compactação adicional causada por sete passadas do trator.

Como tratamentos utilizaram-se: a) adição de rocha triturada no sulco de subsolagem, no momento da subsolagem; b) adição de areia grossa (colorida em azul para facilitar a visualização no sulco) de subsolagem; e c) testemunha - sem adição de materiais (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de organização experimental.

### Teor de água do solo no momento do ensaio

As médias do teor de água do solo, no momento da coleta dos dados, estão apresentadas na Tabela 1. Foram amostrados seis pontos nas linhas da subsolagem para caracterização da área e obtenção do teor médio de água no solo no momento da passagem do subsolador. Amostras de solo foram coletadas com auxílio de um trado holandês até a profundidade de 0,60 m, em intervalos de 0,20 m, posteriormente foram colocadas em cápsulas de alumínio e postas em estufa à 105°C durante 24 horas para determinação da umidade gravimétrica.

**Tabela 1.** Valores médios da umidade gravimétrica no solo para as profundidades de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m coletadas nos sulcos de subsolagem em Latossolo Amarelo distrocoeso sob diferentes níveis de compactações adicionais ocasionadas pelo tráfego de máquina, na região do Recôncavo da Bahia.

Profundidade (metros)	Umidade Gravimétrica ( $m^3 m^{-3}$ )
0 – 0,20	0,0572
0,20 – 0,40	0,0664
0,40 – 0,60	0,0664

### Trator, haste e ponteira do subsolador

O trator utilizado para a realização do ensaio foi da marca NEW HOLLAND modelo 8030 MAR-1, com potência nominal de 122 cv, ao torque máximo de 550 Nm. Peso máximo admissível de 6,6 toneladas, pneus diagonais e pressão interna de 0,35 MPa.

O subsolador utilizado no estudo foi de haste única, acoplado no sistema hidráulico de três pontos do trator, com controle de profundidade por braçadeira de fixação (Figura 3). A configuração da haste subsoladora possui forma parabólica sem a presença de asas. A ponteira do subsolador possui largura de 6,5 cm, o que habilita para o trabalho em profundidade de até 0,60 metro.



**Figura 3.** Implemento alternativo acoplado no subsolador para distribuição de condicionador de poros ao longo do sulco de subsolagem.

### **Caracterização do dispositivo alternativo acoplado no subsolador**

O dispositivo foi criado com a finalidade de adicionar diferentes materiais em subsuperfície. Ele foi construído com material de aço galvanizado e acoplado na parte de trás da haste do subsolador, tendo 3 mm de espessura, 50 mm de diâmetro e altura total de 700 mm. A haste do subsolador foi utilizada como base para desenho e, posteriormente, confecção do dispositivo. Cortes verticais de 150 mm e abertura de 20 mm foram feitos ao longo do dispositivo, gerando abertura para a distribuição dos materiais em subsuperfície.

### **Caracterização dos condicionadores de porosidade do solo**

Dois tipos de materiais grosseiros foram adicionados como tratamentos, no momento da subsolagem: a) rocha triturada e b) areia grossa (Tabela 2). Em razão da constituição química, a rocha triturada tem a finalidade de atuar na melhoria da fertilidade, além de condicionador da macroporosidade e porosidade total do solo. Por outro lado, a areia grossa terá efeito somente sobre a macroporosidade e porosidade total do solo no sulco de subsolagem.

A melhoria das condições de porosidade do solo visa retardar ou evitar a volta do material sulcado ao estado coeso, dependendo do grau de compactação adicional do solo, de forma a propiciar maior desenvolvimento do sistema radicular

e infiltração de água no solo. Dados de granulometria, pH e fracionamento dos materiais podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Composição física dos materiais aditivos adicionados ao solo.

Aditivo	pH KCl	pH água	%					Areia Total %	Silte %	Argila %	Total %
			AMG	AG	AM	AFa	AMF				
<b>Pó de rocha</b>	7,6	7,4	13,8	24,5	17,7	17,8	10,2	84,1	11,8	4,1	100,0
<b>Areia grossa</b>	--	--		100	--	--	--	100	--	--	100

AMG = Areia muito grossa, AG = Areia grossa, AM = Areia média, AF = Areia fina, AMF = Areia muito fina.

### **Avaliação da capacidade do dispositivo em adicionar materiais no sulco de subsolagem**

Para avaliar a capacidade do dispositivo acoplado no implemento em adicionar os diferentes materiais no sulco de subsolagem em diferentes condições de compactação adicional foram analisados os seguintes parâmetros: quantidade de materiais aditivos adicionados ao sulco (Kg por metro linear) e a distribuição dos condicionadores ao longo do sulco de subsolagem no perfil do solo. A quantidade de materiais aditivos adicionados ao sulco foi determinada por meio de recipientes graduados acoplados no dispositivo, quantificando a massa final após a passagem do trator por toda linha de 50 metros, enquanto a avaliação da distribuição dos materiais ao longo do sulco foram a partir de fotografias tiradas nas trincheiras (0,60 x 0,60 x 0,60 m) abertas ao longo da linha da subsolagem.

Como sugestão para uma segunda parte do trabalho (Apêndice I), será realizado um ano após a aplicação dos tratamentos, a avaliação dos seguintes atributos físicos do solo: Densidade do solo, porosidade do solo, resistência a penetração e condutividade hidráulica saturada, bem como o plantio de espécies nativas (Angico Vermelho, Gonçalo Alves, Jenipapo) e exótica (Eucalipto). O desenvolvimento das espécies será avaliado anualmente e modelado empregando-se redes neurais artificiais, conforme especificado no capítulo 3.

Para a avaliação dos atributos físicos no presente estudo, foram utilizadas as seguintes metodologias:

Densidade do solo, determinada conforme equação 1:

$$D_s = M_{ss} / V_t \quad (1)$$

onde:  $D_s$  = Densidade do solo ( $Mg\ m^{-3}$ );  $M_{ss}$  = massa de solo seco à  $105^{\circ}C$  (Mg) e  $V_t$  = volume total do anel ( $m^3$ ).

A porosidade total do solo (PT), conforme equação 2:

$$PT = (M_{Ssat} - M_{Ss}) / V_t \quad (2)$$

onde: PT = porosidade total ( $m^3\ m^{-3}$ );  $M_{Ssat}$  = Massa do solo saturado (Mg);  $M_{Ss}$  = Massa de solo seco (Mg) e  $V_t$  = Volume total da amostra ( $m^3$ ).

A microporosidade foi obtida através equação 3:

$$Mic = (P_{0,006\ MPa} - M_{Ss}) / V_t \quad (3)$$

onde: Mic = Microporosidade do solo ( $m^3\ m^{-3}$ );  $P_{0,006\ MPa}$  = massa de solo após ser submetido à tensão de 0,006 MPa (Mg);  $M_{Ss}$  = massa de solo seco (Mg) e  $V_t$  = volume total da amostra ( $m^3$ ).

A macroporosidade do solo obtida através equação 4:

$$Mac = (M_{Ssat} - P_{0,006\ MPa}) / V_t \quad (4)$$

onde: Mac = macroporosidade do solo ( $m^3\ m^{-3}$ );  $M_{Ssat}$  = massa de solo saturado (Mg);  $P_{0,006\ MPa}$  = massa de solo após a tensão de 0,006 MPa (Mg);  $V_t$  = volume total da amostra ( $m^3$ ). Para a determinação da densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram utilizados procedimentos descritos em Teixeira et al. (2017)

A condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método de Youngs (1991), utilizando amostras indeformadas, obtida através da equação 5:

$$K_{sat} = [(Q\ A_c) / (A\ (A+Al)\ 7)] \quad (5)$$

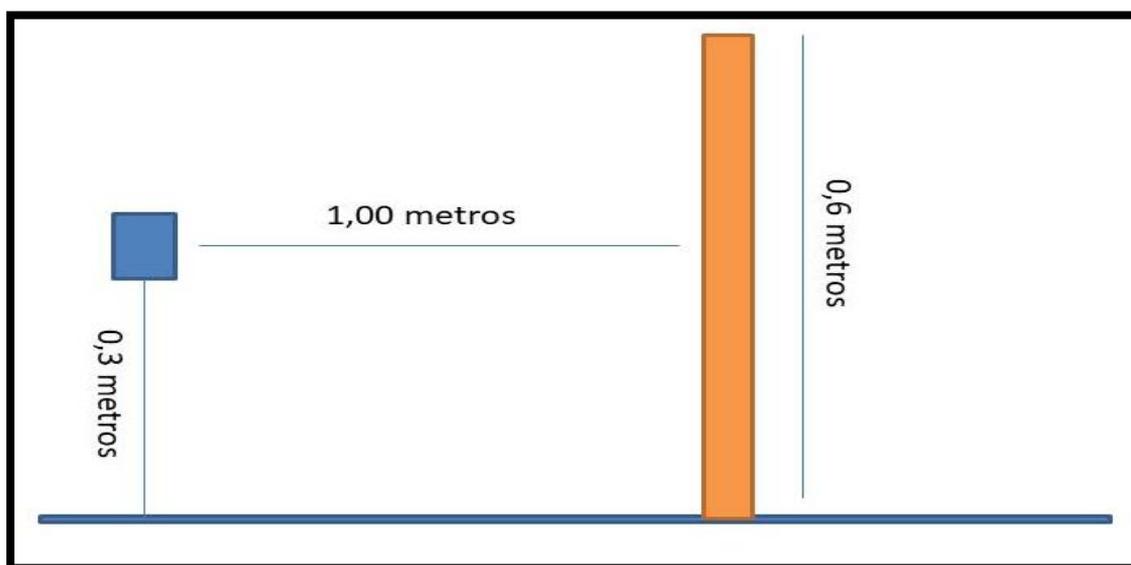
Onde:  $K_{sat}$  = condutividade hidráulica saturada do solo; Q = média das três últimas quantidades;  $A_c$  = altura do cilindro da amostra; A = área do cilindro da amostra; Al = altura da lâmina de água remanescente; 7 = Números de leituras de água realizado no ensaio.

A resistência à penetração (MPa) foi determinada através da equação proposta por Stolf (1991), utilizando um penetrômetro de impacto.

$$RP = (Mgh / Ax) M / (M + m) + (M + m) / A g \quad (6)$$

Em que:  $M / (M + m)$  é a fração de energia restante menos perdas de impacto;  $M$  (kg) é a massa de 4 kg;  $m$  (kg) é a massa do penetrômetro;  $A$  ( $m^2$ ) é a área de base do cone; e  $g$  ( $m s^{-2}$ ) a aceleração gravitacional.

As fotografias tiradas nas trincheiras (0,60 x 0,60 x 0,60 m) abertas ao longo da linha da subsolagem foram feitas com máquina fotográfica com resolução de 48 MP + 8 MP + 2 MP, com funções de PDAF, HDR, panorama, câmera macro dedicada e sensor de profundidade. Visando uma melhor qualidade na foto, buscou-se uma distância na qual fosse possível obter com nitidez os aditivos adicionados ao solo. Essa distância foi de 1,00 metro, com a câmera instalada a 0,30 metros acima do solo, ou seja, no centro da trincheira (Figura 4).



**Figura 4.** Esquema da metodologia utilizada para obter as imagens das trincheiras com a visualização dos aditivos ao longo do perfil de solo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da densidade do solo obtidos nos ensaios do capítulo 1, demonstram que o solo sob estudo possui nitidamente a camada coesa nas profundidades de 0,20-0,40 m (Tabela 3), mesmo em condições naturais, porém houve aumento da densidade do solo com aumento do número de passadas do

trator. A formação de horizontes coesos está associada, principalmente, à presença de frações mais finas de areia (Souza, 1996) e de argila (CORRÊA, 2008), responsáveis pelo empacotamento de camadas do solo e, conseqüentemente, a coesão.

Segundo Camargo e Alleoni, (1997) a prática da subsolagem é ideal para o rompimento de camadas mais adensadas e, ou compactadas, entretanto, sem causar a modificação total da estrutura do solo. Esse efeito já foi constatado por diferentes pesquisadores (Ralisch et al., 2001; Camara E Klein, 2005; Nicoloso et al., 2008; Reichert et al., 2009) há alguns anos (ROSA et al., 2008). No entanto, o efeito da subsolagem tem se mostrado efêmero em solos coesos (Busscher et al., 1995), devido ao retorno das propriedades do solo à condição de antes da subsolagem, com o passar do tempo.

**Tabela 3.** Valores médios de densidade do solo obtidos em diferentes condições de tráfego e profundidades antes da subsolagem na linha de aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Densidade Mg m <sup>-3</sup>	
	Preparo Convencional	Preparo Reduzido
Profundidade 0 - 0,20 m		
T3	1,76	1,75
T5	1,87	1,77
T7	1,88	1,78
Profundidade 0,20 - 0,40 m		
T 3	1,70	1,74
T 5	1,89	1,73
T 7	1,85	1,74
Profundidade 0,20 - 0,40 m		
T 3	1,63	1,72
T 5	1,80	1,68
T 7	1,81	1,67

T3 - compactação adicional por tráfego de máquina em três passadas; T5 - compactação adicional por tráfego de máquina em cinco passadas; T7- compactação adicional por tráfego de máquina em sete passadas.

Como hipótese do estudo, foi adotada como proposta para impedir a reorganização dos minerais do solo e posterior retorno da camada coesa, a adição de materiais de granulometria superior a fração areia grossa. Quando esse material grosseiro e desuniforme é misturado ao solo, ocorre uma

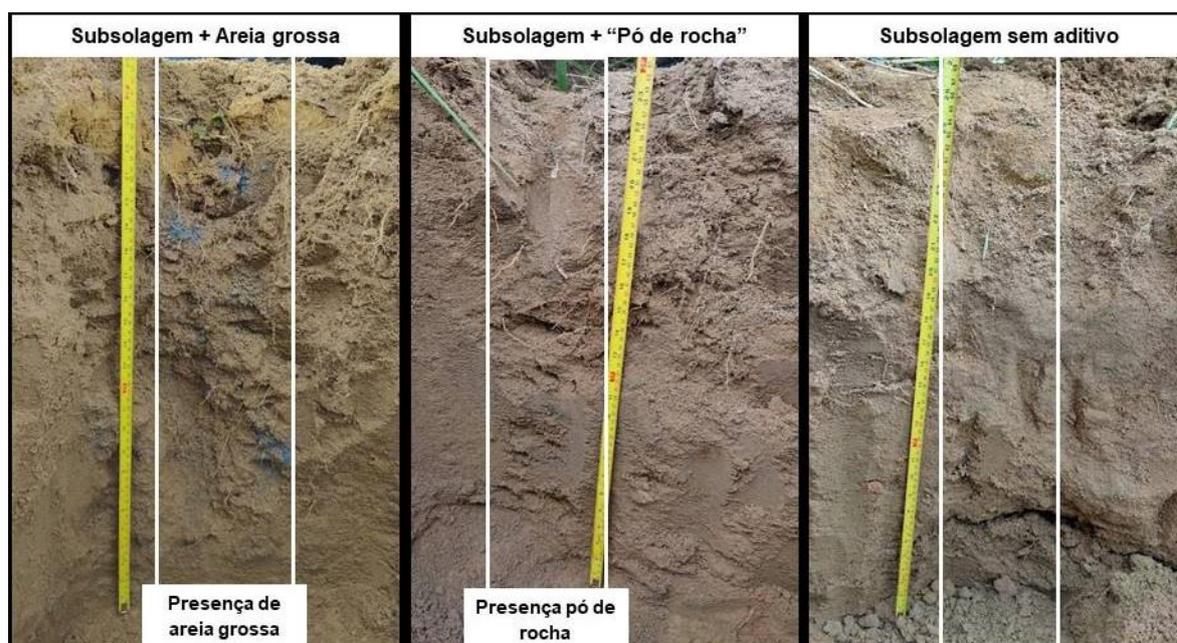
“desorganização” das partículas de areia mais finas (Figuras 4b e 4c), formando espaços vazios entre essas partículas, com aumento de macroporos, que facilitam a infiltração de água, aeração, redução da densidade do solo e da resistência ao desenvolvimento radicular. No entanto, cuidados quanto o formato dos grãos de areia ou outros materiais a serem adicionados no sulco da subsolagem devem ser levados em consideração. Grãos rugosos estabelecem maior contato com as partículas de silte e argila, colaborando com empacotamento mais denso das mesmas, com efeito na coesão, comumente observada em solos originados dos sedimentos do grupo Barreiras (LIMA et al., 2016).

Como proposto no ensaio, os resultados obtidos utilizando o dispositivo alternativo acoplado ao subsolador para adicionar materiais em subsuperfície de forma a evitar a recompactação do solo, mostrou-se eficiente na incorporação dos aditivos até a profundidade de 0,60 metro. As quantidades de materiais adicionados foram obtidas para os dois aditivos incorporados, sendo a areia grossa adicionada em maior quantidade ( $1,41 \text{ kg m}^{-1}$ ), em relação ao pó de rocha ( $0,41 \text{ kg m}^{-1}$ ), conforme destacado na tabela 4.

**Tabela 4.** Eficiência da aplicação dos aditivos no sulco no momento da subsolagem.

Aditivo	Comprimento da Linha (metros)	Quantidade total adicionada (Kg)	Quantidade adicionada ( $\text{Kg m}^{-1}$ )
Areia	50	70,5	1,41
Pó de rocha	50	20,5	0,41

Quando se avalia a eficiência do dispositivo na distribuição dos materiais através de fotografias do perfil (Figura 5), realizada em trincheira aberta perpendicularmente ao eixo de passagem do subsolador, constata-se efeito diferenciado do dispositivo na distribuição dos materiais. Melhor distribuição do aditivo areia grossa sulco de subsolagem foi verificado, em relação ao aditivo pó de rocha. Esses resultados estão relacionados com as quantidades adicionadas para cada material, sendo maior para o aditivo areia grossa.



**Figura 5.** Distribuição da areia grossa e pó de rocha ao longo do sulco do subsolador em Latossolo Amarelo distrocoeso.

## CONCLUSÕES

O dispositivo alternativo desenvolvido foi eficiente para aplicação dos diferentes materiais até a profundidade de 0,60 metro;

Os materiais aditivos adicionados ao solo ficaram relativamente distribuídos no perfil, sendo os melhores resultados observados com a adição de areia grossa.

## LITERATURA CITADA

- BELTRAME, T. C. C.; MIALHE, L. G. Subsolação e subsoladores. **Piracicaba:** Decalq, 1985. 32p.
- Busscher, W. J.; Edwards, J. H.; Vepraskas, M. J. Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. **Soil and Tillage Research**, v. 35, n. 3, p. 115-123, 1995.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, 2002.

- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CAMARGO, O.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. **Piracicaba**: ESALQ, 1997. 132 p.
- CARVALHO FILHO, A.; CenturionII, J. F.; Silvalll, Rouverson P. da; Furlanil. C. E. A.; Carvalho, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.
- 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**, 32, 297–313, 2008.
- CARVALHO, J. E. B. de.; SOUZA, L. S.; CALDAS, R. C.; ANTAS, P. E. U. T.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L. C.; SANTOS, R. C.; LOPES, N. C. M.; SOUZA, A. L. V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja- 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, n.1, p.82–85, 2002.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A. R. Contribution of natural soil compaction on hardsetting behavior. **Geoderma** 113, 95–108, 2003.
- HE, J.; SHI, Y.; YU, Z. Subsoiling improves soil physical and microbial properties, and increases yield of winter wheat in the Huang-Huai-Hai Plain of China. **Soil and Tillage Research**, 187, 182–193. 2019.
- HE, J.; LI, H. W.; WANG, X. Y.; MCHUGH, A. D.; LI, W. Y.; GAO, H. W.; KUHN, N. J. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil Tillage Research*. 94, 493–502. 2007.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Cruz das Almas,

1996. Anais. Aracaju, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996. p.13-26.

LIANG, J. F.; QI, Q. Z.; JIA, X. H.; GONG, S. J.; HUANG, Y. F. Effects of different tillage managements on soil properties and corn growth. **Ecology and Environmental Sciences**, 19, 945–950. 2010.

LIMA, A. V.; VINHAS, O. C.; CARNEIRO, J. V. A.; GLOAGUEN, T. V.; SOUZA, L. S. Caracterização mineralógica da fração areia de um Argissolo Amarelo Distrocoeso típico dos Tabuleiros Costeiros. In: **REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO**, 3., 2016. Anais... Aracaju: SBCS, Núcleo Regional Nordeste, 2016.

LIMA, A. V. Morfologia e mineralogia de solos coesos e não coesos oriundos de sedimentos cenozóicos no estado da Bahia. 2003. 88 p. **Dissertação** (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2020.

MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 31., 2002, Salvador. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C. & BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1723-1734, 2008.

RALISCH, R. Avaliação em um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 30, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: **Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola**, 2001. 1 CD-ROM.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & KANSSON, I.H. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till

crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil Tillage Res.**, 102:242-254, 2009.

ROSA, D. P.; Reichert, J. M.; Sattler, A.; Reinert, D. J.; Mentges; M. I.; Vieira, D. A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 395-400, 2008.

SANTOS, G. G. Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo. Goiânia: UFG, 2010. 122p. **Tese Doutorado**.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1339-1348, 2011.

SANTOS, R. D., LEMOS, R. C., SANTOS, H. G., KER, J. C., ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solos no campo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG 100p, 2013.

SILVEROL, A. C; MACHADO FILHO, L. Utilização de pó de granito e manto de alteração de piroxenito para fertilização de solos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 2: 703-707, 2007.

SILVA, E. A da S; CASSIOLATO A. M. R; MALTONI, K. L; SCABORA, M. H. Efeitos da rochagem e de resíduos orgânicos sobre aspectos químicos e microbiológicos de um subsolo exposto e sobre o crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott. **Revista Árvore**, 32: 323-333, 2008.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiro Costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32, 503–513, 2008.

SOUZA, L. S. Uso e manejo dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: **REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1996. p.36-75.

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**, MG., 1984. 153 p.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 623-632, 2012.

## **CAPÍTULO 3**

### **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS AND REGRESSION ANALYSIS IN THE VOLUME ESTIMATION OF NATIVE SPECIES**

Este capítulo é dividido em duas partes. A primeira parte está no idioma Inglês e no formato em que foi submetido para a Revista AGRIAMB. A segunda parte é apresentada no APENDICE na forma de um plano de estudo de longa duração, já implantado e que empregará, durante 10 anos, o modelo dendrométrico de redes neurais artificiais, testado na parte 1, para avaliações periódicas no desenvolvimento das espécies, em resposta a diferentes níveis de compactação e material empregado na linha de subsolagem. Sendo de longa duração, o experimento apresentado no APENDICE I, permitirá avaliar o efeito dos parâmetros físicos do solo e a viabilidade de uso dos condicionadores sobre as diferentes fases de desenvolvimento das espécies florestais implantadas.

## **Redes neurais artificiais e análise de regressão na estimativa de volume de espécies nativas**

**RESUMO:** A aplicabilidade e a veracidade de estimadores no inventário florestal são cada vez mais necessárias no manejo florestal, em razão das dimensões de áreas de espécies nativas e da necessidade do manejo sustentável dessas espécies. Formas precisas para estimar parâmetros de desenvolvimento ainda escassas, no caso de volumetria em povoamentos de espécies nativas. Desta forma, objetivou-se com este estudo avaliar o potencial de predição de redes neurais artificiais e regressão para a estimativa de volume de madeira em povoamentos homogêneos de *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* e *Mimosa caesalpinifolia*. Os métodos de regressão e de redes neurais artificiais mostraram-se aplicáveis para a estimativa do volume individual dos povoamentos em diferentes espaçamentos, aos sete anos de idade. O modelo de regressão de Spurr apresentou melhores resultados estatísticos e dispersão dos erros não tendenciosos para as espécies *Anadantera macrocarpa* e *Genipa americana*. Já o modelo proposto por Shumacher & Hall (1933) foi mais preciso para os volumes da espécie *Mimosa caesalpinifolia*. As RNAs, com dois neurônios na camada intermediária, proporcionaram melhores ajustes para as três espécies, portanto, são recomendadas para estimar os volumes individuais das espécies avaliadas, por mostrar maior precisão, em relação à regressão, na estimativa de volume das espécies nativas avaliadas.

**Palavras-chaves:** florestas nativas, volume de produção, modelos de predição, RNAs

## **Artificial neural networks and regression analysis in the volume estimation of native species**

**ABSTRACT:** The use and application of modeling to estimate forest production are important tools for planted areas. Even though this issue has been studied worldwide, there still lack knowledge regarding volume measurement of distribution for specific sites, such as those in the northeast of Brazil. In this study, it was evaluated the effectiveness of artificial neural networks (ANN) and regression analysis for estimating wood volume in homogeneous stands of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa Americana*, and *Mimosa casalpinifolia*, in order to better estimate growth and production of these species. Both procedures showed to be applicable for estimating the individual volume of these stands at different spacing in seven-year old forest. The Spurr regression model showed better statistical results and dispersion of non-biased errors for *Anadantera macrocarpa* and *Genipa americana*, whereas the model proposed by Shumacher & Hall (1933) showed greater precision of volume estimates for *Mimosa Caesalpinifolia*. The ANNs calibrated with two neurons in the middle layer, had the best fitting for all three species. Therefore, artificial neural networks may be recommended to estimate the individual volumes of the evaluated species in the studied region.

**Key words:** native forest, production volume, prediction models, ANNs

## INTRODUCTION

Forest inventory to estimate timber volume usually uses a set of data for estimation of the height, volume and number of trees per ha (Machado et al., 2000). However, in the literature, data related to volumetric estimation and uniformity of native species in northeastern Brazil is still scarce. Further investigation is needed in order to provide new knowledge and improve management, planning and sustainability of native species in this region.

Many native species are potentially important as source of incomes when they are adequately managed. Among these species, there are *Anadantera macrocarpa* Bent. which is quite used for construction and coal energy (Carvalho, 2003). *Mimosa caselpinifolia* Bent., whose timber is useful for poles, stakes, charcoal, and also for living barrier against strong winds and in restoring degraded areas in urban regions. It is also an important source of profit in the semiarid region (Lêdo, 1980). *Genipa americana* L. is widely used in the production of curved parts, carpentry in general, civil and naval construction. Besides, its fruits are used to produce juices and beverages (Lorenzi, 2002). Therefore, they are very important native species to northeastern Brazil.

For all these uses, knowing volume and uniformity of these species in a commercial plantation is crucial for production sustainability, in order to be economically advantageous. Parameters of production can be estimated by regression and artificial neural networks (ANN). Regression analysis is an efficient procedure that is widely used to estimate volume of little branched trees (Silva; Santana, 2014). However, it is much more difficult to estimate the volumes for species that present many bifurcations and irregularities. Specific adjustments in equations are necessary for

each stand (Binoti et al., 2013). Therefore, other approaches can be necessary to optimize the forest inventory.

ANN represents a new approach that potentially can provide better estimation of wood volume of the trees (Leite et al., 2010; Santos Neto et al., 2019). This tool is still little explored to estimate volume of trees in Brazil. In the forestry inventory, ANN can provide expressive results for volume, hypsometric ratios, Taper equations and diameter prognosis (Leite et al., 2010; Binoti et al., 2013; Binoti et al., 2014; Martins et al., 2016; Reis et al., 2016; Vendruscolo et al., 2017; Sakici and Ozdemir, 2018; Santos Neto et al., 2019). In this paper, we present the results of a study with *Anadenanthera macrocarpa* Benth., *Genipa americana* L. and *Mimosa caesalpinifolia* Benth., aiming to evaluate the potential of ANN and regression for estimation of volume of these native species in northeastern Brazil.

## **MATERIAL AND METHODS**

### **Characterization of the studied area**

The present study was developed in the Recôncavo region, Bahia, Brazil, with three native species (*Anadenanthera macrocarpa* Benth. – Angico Vermelho, *Genipa Americana* L. - Jenipapo, and *Mimosa caesalpinifolia* Benth. – Sabiá). According to Köppen-Geiger's classification, the climate of the region is an As, with the rainy season during winter and fall season (Köppen & Geiger, 1948), a mean annual precipitation of 1224 mm, mostly between March and June, 80% relative humidity, average temperature of 24.5°C. The soil was classified, according to the Brazilian soil classification system, as Distrocohesive Yellow Latosol (Santos et al., 2014).

## Database of the study

The data were collected from three homogeneous stands of these native species following the conditions: i) *Anadenanthera macrocarpa* (Angico Vermelho), with 384 plants spaced of 6 x 1.5 m, 6 x 2 m, 6 x 2.5 m and 6 x 3 m; ii) *Genipa americana* (Jenipapo), with 500 plants spaced of 3 x 1.5 m, 3 x 2 m, 3 x 2.5 m, 3 x 3 m, 3 x 3.5 m; and iii) *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá), with 720 plants spaced of 3 x 1.5 m, 3 x 2 m, 3 x 2.5 m, 3 x 3 m, 3 x 3.5 m. Trees were planted in 0.3 x 0.3 x 0.3m pits, with three seeds per pit in may 2009, according to each space mentioned above. Each pit was fertilized with 120 g of single superphosphate, keeping the soil undisturbed in between the pits,. Cover fertilization was carried out 90 days after planting, with 120 g of NPK 20-0-20 per pit. Ants were controlled along with three manual weeding within the planting lines and three harrowing between the lines. Seven years after germination, height and circumference at 1.3 m h (diameter at breast height -DBH) of each plant was measured. Smalian's equation (Eq. 1) (Machado et al., 2002) was used to calculate individual volumes for each plot. A descriptive statistics was presented on Table 1.

$$V = \frac{G_1 + G_2}{2} \times L \quad (1)$$

where:

V - volume of each plot as estimated by Smalian equation (m<sup>3</sup>);

G<sub>1</sub> - sectional area of base (m<sup>2</sup>); and,

G<sub>2</sub> - sectional area at top (m<sup>2</sup>); L= length of section (m).

**Table 1** - Descriptive statistics of the species *Anadenanthera macrocarpa*, *Genipa Americana*, and *Mimosa caesalpinifolia* Benth. used in volume modeling.

Parameter	Specie		
	<i>Anadantera macrocarpa</i>	<i>Genipa americana</i>	<i>Mimosa caesalpinifolia</i>
Minimum volume (m <sup>3</sup> )	0.00060	0.00008	0.00652
Maximum volume (m <sup>3</sup> )	0.34223	0.02065	0.05986
Minimum dbh (cm)	2.5	1.9	3.2
Maximum dbh (cm)	33.4	13.5	14.6
Mean of dbh (cm)	18.2	7.0	8.0
Minimum total height (m)	2.0	0.7	5
Maximum total height (m)	7.8	5.3	6.9
Mean of total height (m)	5.1	2.7	5.9
Number of trees	44	24	24

### Volume modeling

Five linear models were used to analyze volume of these species as described in Soares et al. (2011); Rocha et al. (2015) and Silva et al. (2016); the volume of trees was estimated based on DBH and height of plants, as shown in Table 2.

**Table 2** - Models to estimate volume of trees using linear regression analysis.

Equation (Author)	Model
Spurr (1952)	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 * HT$
Shumacher e Hall (1933)	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(H) + \beta_2 \ln(DAP)$
Brenac (Machado, 2002)	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \left(\frac{1}{DAP}\right)$
Hush (1963)	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) +$
Hohenald-Krenm (Machado, 2002)	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP + \beta_2 DAP^2$

where:

V - Volume (m<sup>3</sup>);

$\beta_i$  - model's coefficients;

DBH - diameter at the breast height (1.30 m from the soil surface - cm);

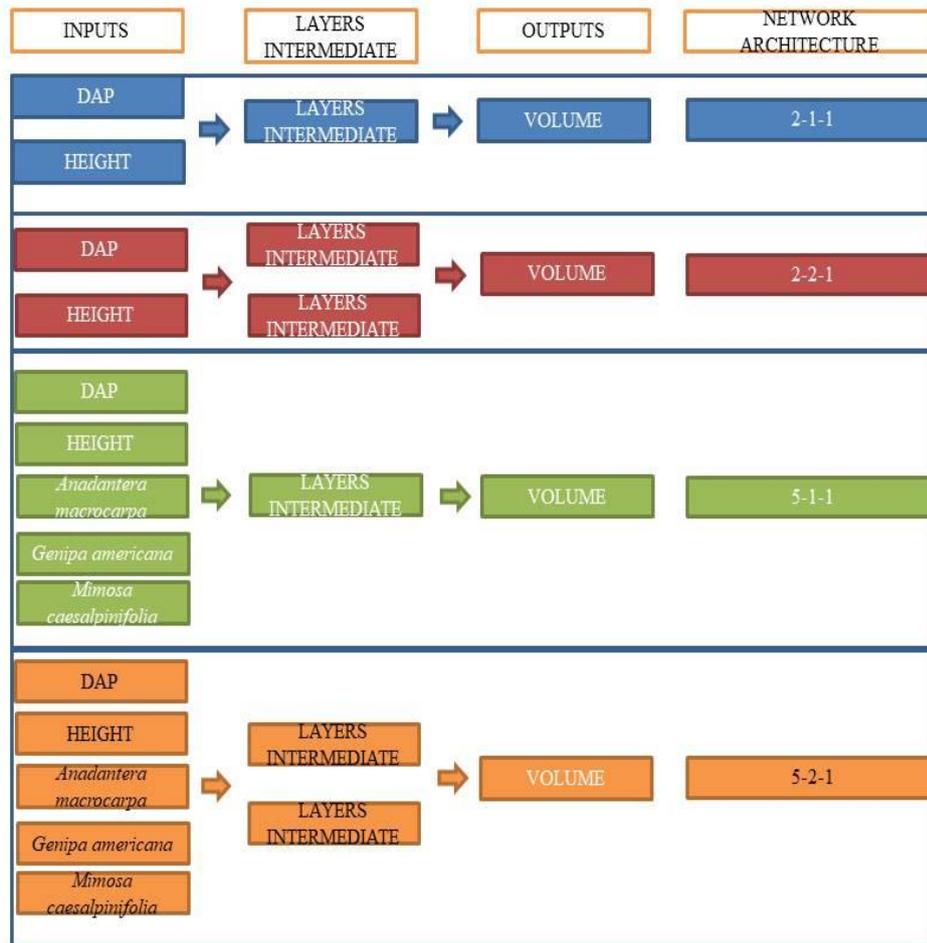
H - height of tree (m); and,

Ln - Napierian logarithm;  $\varepsilon$ = estimated error.

These equations were fitted using linear regressions. The results were compared using the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the root-mean-square error (RMSE) to measure the differences between the predicted and observed values. Further, graphic distribution of the residues allowed verifying the homogeneity of residual distribution for each model.

ANN were used for volume modeling in three steps: training, testing, and validating. The software Statistica 10.0 (Statsoft, 2010) was used in order to accomplish these tasks using distinct training methods.

In the first method, ANNs were trained separately for each tree species (Figure 1). The observed data were input through a specific target variable, which was found during the cubing process (volume measurement) estimated using the trunk's DBH and the height of plants. Data set was randomly divided into 70% for training, 15% for testing, and 15% for validating. The input layer was constituted of two neurons, being one for each predictor variable. The ANNs were  $\frac{1}{2}$  or one hidden layer for each numeric variable which had one or two neurons, with the network being 2-2-1 and 2-1-1 and the activation function logistic and exponential.



**Figure 1** - Scheme of trained RNA's.

Only one ANN was trained to estimate volume of the species. In this case, only one input variable was considered which was composed by all the tree species. Because of the addition of this categorical variable, the architecture of ANN consisted of five neurons in the input layer, one or two in the intermediate layer and one in the output layer (volume) in a 5-1-1 or 5-2-1 architecture type.

In order to separate shapes, traces and patterns, two hundred multi-layer perceptions (MLP) were trained. The results of the four better ANNs are presented in this paper and they were selected based on the correlation between estimated and measured volumes, and scattered residuals graphic as a function of the estimated

volume, analyzing the root square mean error (RSME %). Importantly, the lower the RMSE, the better are the estimated values.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Regression models

Spurr and Hohenald-Krenm models presented the best fitting for the *Anadantera macrocarpa*, as compared to Shumacher and Hall, Brenac, and Hush models that showed lower and no difference among  $R^2$  and RMSE % (Table 3). The Spurr's model showed better fitting for *Genipa Americana*. The other models showed higher RMSE values, close to 50%. Shumacher and Hall model had better fitting for *Mimosa caesalpinifolia* compared to the other models that showed lower  $R^2$  values and RMSE close to 32%.

**Table 3** - Fitted regression models for plant volume of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia* at 7 year-age under different spacing in northeastern Brazil

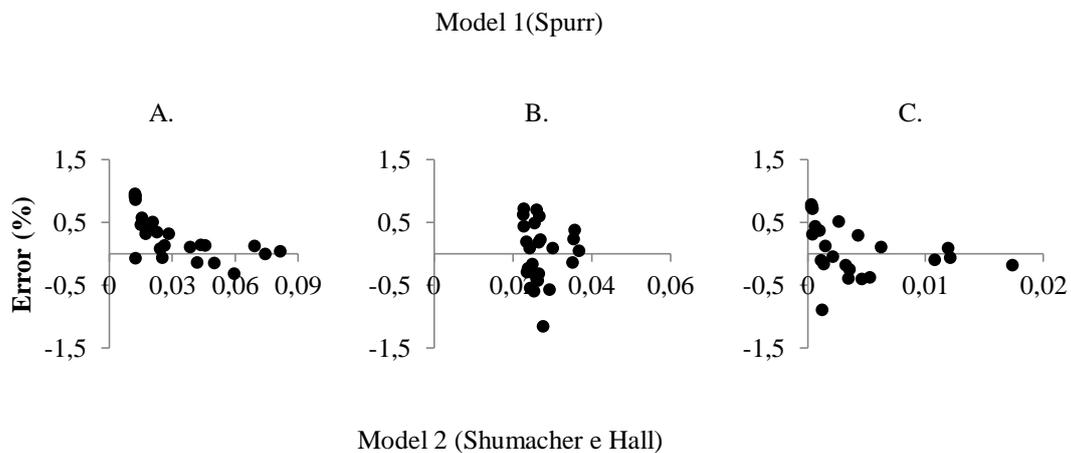
Model	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2$ %	RMSE (%)
<i>Anadantera macrocarpa</i> Bent.					
Spurr	0.01176 (0.01 > p)	0.00003 (0.01 > p)		87.9	31.56
Shumacher Hall (Log)	$e^{-8.60458}$ (0.01 > p)	0.45913 0.18	1.80458 (0.01 > p)	81.9	29.53
Brenac	-7.9164 (0.01 > p)	1.8678 (0.01 > p)	-1.8895 0.11	79.7	30.77

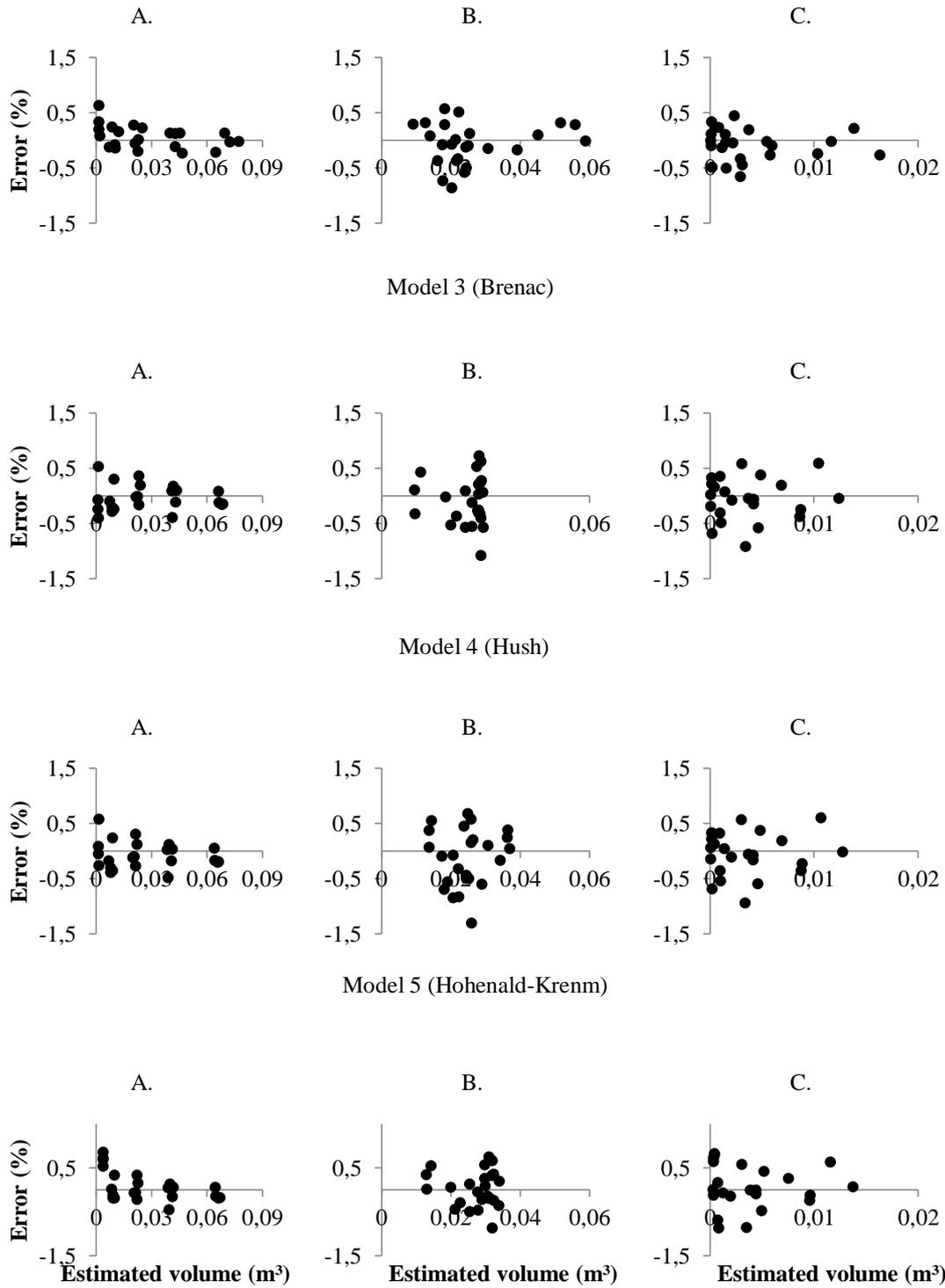
Hush	-8.7200 (0.01 > p)	2.1000 (0.01 > p)		90.9	30.08
Hohenald- Krenm	0.0042 0.80	-0.00081 0.71	0.00025 (0.01 > p)	88.8	29.75
<i>Genipa americana</i>					
Spurr	0.00029 -0.566	0.00002 (0.01 > p)		86.2	41.88
Shumacher Hall (Log)	e -9.7054 (0.01 > p)	1.70072 (0.01 > p)	1.0821 (0.01 > p)	79.9	44.2
Brenac	-10.743 (0.01 > p)	2.5332 (0.01 > p)	-0.7095 0.7840	67.54	48.83
Hush	-11.1734 (0.01 > p)	2.6930 (0.01 > p)		71.8	47.83
Hohenald- Krenm	0.001538 0.417	-0.00086 0.153	0.0001 (0.01 > p)	73.5	47.47
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>					
Spurr	0.022211223 (0.01 > p)	1.13298E-05 0.118		10.3	45.31
Shumacher Hall (Log)	e -13.74405013 (0.01 > p)	5.572883551 (0.01 > p)	0.069315422 0.756	60.2	32.01
Brenac	-0.116271523 0.967	-1.022793071 0.296	-10.56399741 0.085	25.3	42.62
Hush	-5.025729355 (0.01 > p)	0.645287078 (0.01 > p)		30.1	45.96
Hohenald- Krenm	-0.007929607 0.605	0.007771166 0.046	-0.00035932 0.089	22.9	42.00

$R^2$  - Coefficient of determination; (RMSE %) - *Root-mean-square error*;  $\beta_i$  - Estimator's coefficient; Numbers between parenthesis represent the significance level

Melo et al. (2013); Rocha et al. (2015) and Silva et al. (2016). working with models to estimate volumes of *Genipa americana*, *Khaya ivorensis* and *Pinus caribaea*, respectively. in homogeneous stands. concluded that Spurr model had the best fitting. showing little dispersion between estimated and observed values. The results found in this paper with *Genipa americana* and *Anadantera macrocarpa* are similar to those obtained in above-cited studies. This similarity is due to the shape of the stem of these species. However. different results were found for *Mimosa caesalpinifolia*. with low  $R^2$ . due to the highly branched pattern of this specie. For *Anadantera macrocarpa* and *Genipa americana*. no relationship was found between  $R^2$  and RMSE values. similar to the results found by Barros et al. (2002). due to the different shapes of these two species.

Despite the irregularities of stem forms. the residual distribution of all the tested models showed some dispersion. without distinction among species (Figure 2). Such results agree with the ones found by Silva et al. (2016) who studied *Khaya ivorensis* that has similar architecture to the ones in this study. The Hush model shows higher uniformity of distribution for *Mimosa caesalpinifolia*. when compared to the other models. showing to be the best one to estimate volume in this specie. Encinas et al. (2009) also found this model to be more appropriate for estimating volumes in Cerrado's species. which have shape and branching similar to the species evaluated in this study.





**Figure 2** – Residual distribution as a function of estimated volume of three native species in different spacing of trees in the Reconcavo Region. Bahia. Brazil.

## Artificial Neural Networks (ANN)

Based on accuracy statistical results (coefficient of correlation and RSME). ANN had a satisfactory performance in estimating the volumes of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia* (Table 4). Santos Neto et al. (2019) studied ANNs for *Khaya ivorensis* plantations and obtained similar results.

**Table 4** – ANNs selected to estimate the trees' volume of *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia*.

RNAs	Arquitetura	R <sup>2</sup> %			RMSE %		
		Training	Test	Validation	Training	Test	Validation
<i>Anadantera macrocarpa</i> . Bent							
1	MLP 2-2-1	93.8	96.7	99.6	29.33	17.39	12.52
2	MLP 2-2-1	93.8	96.9	99.6	29.36	17.25	12.50
3	MLP 2-2-1	93.8	96.4	99.7	29.34	17.46	12.90
4	MLP 2-1-1	93.8	97.0	99.6	29.44	17.46	12.86
<i>Genipa americana</i>							
1	MLP 2-2-1	91.5	99.0	99.9	40.68	19.54	28.36
2	MLP 2-2-1	90.9	96.6	99.9	42.64	23.37	27.36
3	MLP 2-2-1	91.6	99.5	99.9	40.70	19.10	23.56
4	MLP 2-1-1	91.9	98.5	99.9	37.43	18.68	20.34
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>							
1	MLP 2-2-1	80.8	93.1	99.9	30.75	12.44	34.27
2	MLP 2-2-1	80.2	92.4	99.9	32.12	10.62	49.81
3	MLP 2-2-1	81.9	98.8	99.9	27.93	14.10	39.82

4          MLP 2-1-1          78.0    88.7    99.9    32.14    12.44    43.64

---

(SRME %) - Square root of mean error; (R<sup>2</sup> %) - Coefficient of determination.

Statistical results of the ANN trained for the three species are in Table 5. The best results were obtained to ANN-3. which is due to the two neurons in the intermediate layer. This procedure was also successfully used by (Binoti et al., 2013; Gorgens et al., 2014). both working with eucalyptus plantation.

**Table 5** – Artificial Neural Network – ANN selected to estimate individual volume of native species in 7-year- old homogenous stand.

RNAs	Arquitetura	R <sup>2</sup> %			RSME %		
		Training	Test	Validation	Training	Test	Validation
1	MLP 5-1-1	84.2	87.1	92.9	78.94	75.24	86.34
2	MLP 5-1-1	83.7	87.0	92.8	69.13	77.60	91.23
3	MLP 5-2-1	95.6	97.9	98.6	22.70	39.51	33.97
4	MLP 5-1-1	84.2	86.5	92.8	93.66	73.62	79.07

---

(SRME %) - Square root of mean error; (R<sup>2</sup> %) - Coefficient of determination.

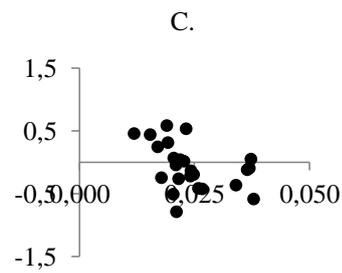
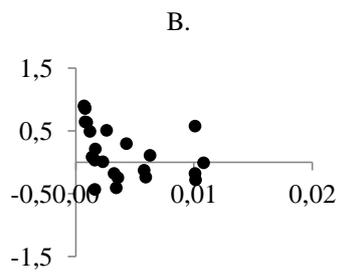
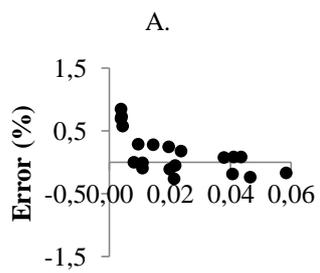
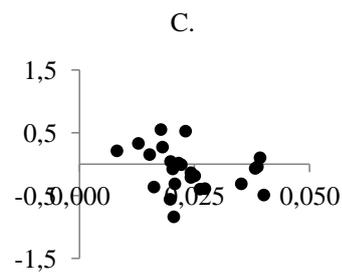
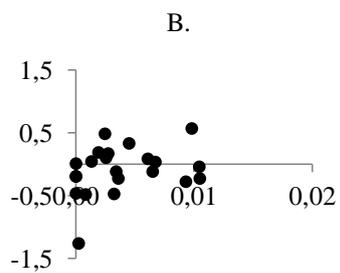
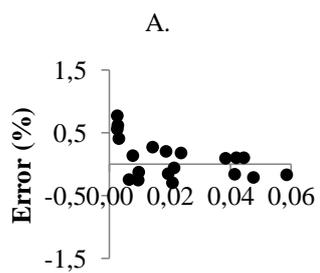
Residuals from the volumes estimated to *Anadantera macrocarpa*, *Genipa americana* and *Mimosa caesalpinifolia* are depicted in Figure 3. ANNs chosen showed great potential to estimate the volume of the studied species accurately. To *Anadantera macrocarpa*, it was not observed important differences among the ANNs. however, highlighting that to *Genipa Americana* and *Mimosa caesalpinifolia* the best estimators were, respectively, ANN-2 and ANN-3.

*Anadanthera macrocarpa* (A)

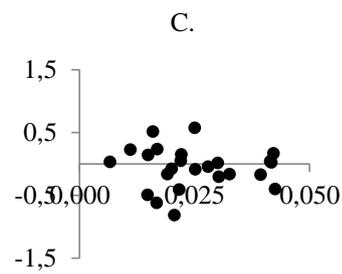
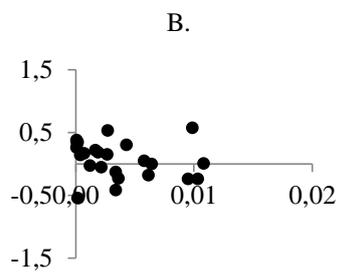
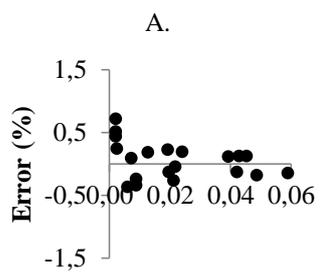
*Genipa americana* (B)

*Mimosa caesalpinifolia* (C)

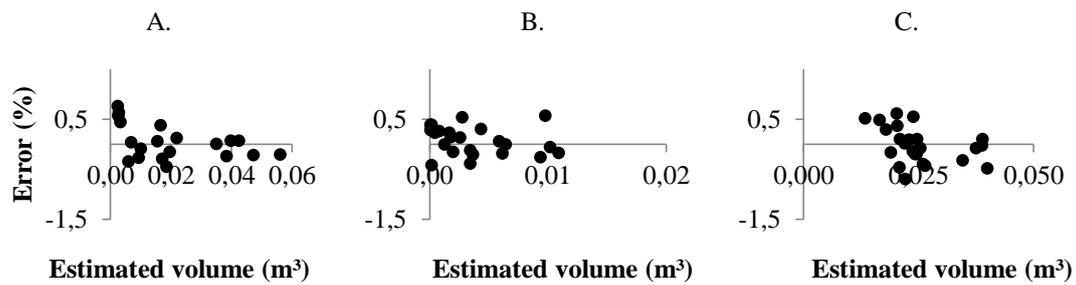
ANN



ANN

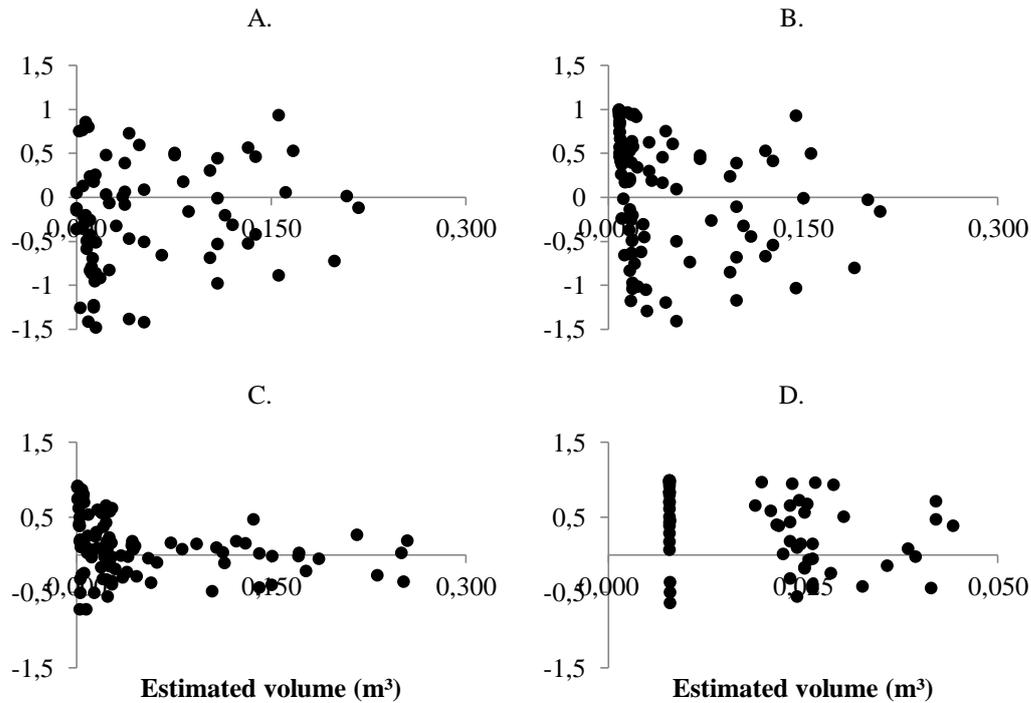


## ANN



**Figure 3** - Dispersion of absolute errors of individual volume estimates by artificial neural networks of native species in homogeneous stands of seven-years old.

Figure 4 presents the dispersion of the estimating errors obtained from ANN selected to the three species. Unbiased results could be observed. However, ANN-3 produced the best fitting, with better distribution of the errors for the three species evaluated conjointly. This result occurred due to the existence of more one neuron in the occult layer, which improved the estimates, with reduction and uniformity of the errors. Our results are close to those obtained by (Binoti et al., 2013) in experiments with exotic clonal species in different locations, demonstrating that the use of ANN has been efficient for the forest science.



**Figure 4** - Dispersion of absolute errors of individual volume estimates by artificial neural networks of native species in homogeneous stands of seven years old. ANN 1 (A). ANN 2 (B). ANN 3 (C) and ANN 4 (D)

### Comparison between regression and ANN

A comparison between regression and ANN is in Table 6. Based on the precision statistics on this table. ANN clearly showed an improvement in the volume estimates. It was possible to train the ANN for several species in just one model. This is one of the main advantages of ANN when compared to regression models, which are fitted individually for species, clone, or stand (Binoti et al., 2013). This way, the ANN models were able to estimate the volumes of the trees with greater accuracy than regression, which was also obtained by (Leal et al., 2015) to *Eucalyptus* and (Rodrigues et al., 2010) to *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*.

**Table 6** – Best volumetric regression and RNN to estimate individual volume of *Mimosa caesalpinifolia*, *Genipa americana* and *Anadantera macrocarpa*.

Ferramentas/Espécies		R <sup>2</sup> %			SRME %*		
		Training	Test	Validation	Tr.aining	Test	Validation
RNAs	<i>Anadantera macrocarpa</i>	93.8	96.9	99.6	29.36	17.25	12.5
	<i>Genipa americana</i>	91.9	98.5	99.9	37.43	18.68	20.34
	<i>Mimosa Caesalpinifolia</i>	80.8	93.1	99.9	30.75	12.44	34.27
	Todas as espécies	95.6	97.9	98.6	22.7	39.51	33.97
	<i>Anadantera macrocarpa</i>					30.30	
Regression	<i>Mimosa Caesalpinifolia</i>		63.4			41.80	
	<i>Genipa americana</i>		92.8			44.20	

(SRME %) - Square root of mean error; R<sup>2</sup> - Coefficient of determination

## CONCLUSION

Regression and ANN methods can estimate the volumes for homogenous stands of *Mimosa caesalpinifolia*, *Genipa americana* and *Anadantera macrocarpa* with different spaces and seven-year old.

Regarding regression models. the Spurr model obtained the best statistical results. with unbiased dispersion of the errors. to *Anadantera macrocarpa* and *Genipa americana*. On the other hand. the Schumacher and Hall model (1933) presented greater accuracy to *Mimosa caesalpinifolia*.

The best ANN fittings were to a frame with two neurons in the intermediate layer to the two proposed methods. Besides, the ANN can be recommended to estimate the volume of the trees individually, showing better precision and accuracy concerning regression methods. It's also possible estimates volume of different species using only one ANN. This would greatly facilitate the forest inventory, helping farmers to control their production.

## LITERATURE CITED

BARROS, D. A.; MACHADO, S. A.; ACERBI JUNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S.

Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de Pinus oocarpa em diferentes tratamentos. Boletim Pesquisa Florestal. Colombo. n. 45. p. 3-28. 2002.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI. M. L. M. da S.; LEITE. H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. Ciência da Madeira. Pelotas. v. 05. n. 01. p. 58-67. 2014.

BINOTI. M. L. M. S.; BINOTI. D. H. B.; LEITE. H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. Revista Árvore. Viçosa-MG. v.37. n.4. p.639-645. 2013.

CARVALHO. P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Colombo: Brasília: Embrapa-SPI. 2003. 1039p.

ENCINAS. J. I.; SANTANA. O. A.; PAULA. J. E. de.; IMAÑA. C. R. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. Revista Floresta. v.39. p.107-116. 2009.

GORGENS. E. B.; LEITE. H. G.; GLERIANI. J. M.; SOARES. C. P. B.; CEOLIN. A. Influência da arquitetura na estimativa de volume de árvores individuais por meio de redes neurais artificiais. Revista Árvore. v. 38. n. 2. p. 289-295. 2014.

HUSCH. B.; Forest mensuration and statistics. New York. The Ronald Press. 1963.474 p.

KÖPPEN. W.; GEIGER. R. Klimate der Erde. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1948.

LEAL. F. A.; MIGUEL. E. P.; MATRICARDI. E. A. T.; PEREIRA. R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de

- fotografias hemisféricas e número de árvores. *Revista Brasileira Bioma*. São Paulo. v.33. n.2. p.234-250. 2015.
- LÊDO. A. A. M. Observações ecológicas na Estação Experimental Florestal de Saltinho. Pernambuco. visando reflorestamento no Nordeste. *Cadernos Ômega*. Recife. v. 4. n. 2. p. 197-206. 1980.
- LEITE. H. G.; DA SILVA. M. L. M.; BINOTI. D. H. B.; FARDIN. L.; TAKIZAWA. F. H. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. *European Journal of Forest Research*. v.130. n.2. p.263-269. 2010.
- LORENZI. H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 4. Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum. 2002. 367 p.
- MACHADO. S. A.; CONCEIÇÃO. M. B.; FIGUEIREDO FILHO. A. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. Guarapuava. *Ciências Exatas e Naturais*. v. 4. n. 2. p. 41- 50. 2002.
- MACHADO. S. A.; MELLO. J. M.; BARROS. D. A. Comparação entre métodos para avaliação de volume total de madeira por unidade de área para o pinheiro do Paraná na região Sul do Brasil. *Cerne*. Lavras-MG. v. 6. n. 2. p. 55-66. 2000.
- MARTINS. E. R.; BINOTI. M. L. M. S.; LEITE. H. G.; BINOTI. D. H. B.; DUTRA. G. C. Configuração de redes neurais artificiais para estimação da altura total de árvores de eucalipto. *Agrária*. v. 11. n. 2. p. 117-123. 2016.
- MELO. L. C.; BARRETO. P. A. B.; OLIVEIRA. F. G. R. B.; NOVAES. A. B. Estimativas volumétricas em povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no Sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira*. Colombo. v. 33. n. 76. p. 379-386. 2013.
- REIS. L. P.; SOUZA. A. L.; MAZZEI. L.; REIS. P. C. M.; LEITE. H. G.; SOARES. C. P. B.; TORRES. C. M. M. E.; SILVA. L. F.; RUSCHEL. A. R. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural network. *Forest Ecology and Management*. v.382. p.161-167. 2016.
- ROCHA. M. B.; GARCIA. P. A. B. B.; PRADO. W. B.; PAULA. A.; JÚNIOR V. C. Volumetria de *Genipa americana* em plantio homogêneo no Sudoeste da Bahia. *Pesquisa Florestal Brasileira*. v. 35. n. 84. p. 419-425. 2015.

- RODRIGUES. E. F.; OLIVEIRA. T. F.; MADRUGA. M. R.; SILVEIRA. A. M. Um método para determinar o volume comercial do *Schizolobium amazonicum* (huber) ducke utilizando redes neurais artificiais. Revista Brasileira Bioma. São Paulo. v.28. n.1. p.16-23. 2010.
- SAKICI. O. E.; OZDEMIR. G. Stem taper estimations with artificial neural networks for mixed oriental beech and Kazdaği fir stands in Karabük region. Turkey. Cerne. v. 24. n. 4; p. 439-451. 2018.
- SANTOS. H. G. dos; JACOMINE. P. K. T.; ANJOS. L. H. C. dos; OLIVEIRA. V. A. de; LUMBRERAS. J. F.; COELHO. M. R.; ALMEIDA. J. A. de; CUNHA. T. J. F.; OLIVEIRA. J. B. de. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 4. ed. Brasília: Embrapa. 2014.
- SCHUMACHER. F. X.; HALL. F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. Journal of Agricultural Research. v.47. n.9. p.719-734. 1933.
- SANTOS NETO. J. C.; RODRIGUES. M. S.; SOUZA. D. R.; LEITE. E. S.; SILVA. M. L.; REIS. L. P.; SILVA. L. F. Redes Neurais Artificiais na estimação de volume com casca de Mogno Africano (*Khaya ivorensis*). Revista Brasileira de Biometria. v. 37. n. 2. p. 191-204. 2019.
- SCHUMACHER. F. X.; HALL. F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. Journal of Agricultural Research. v.47. n.9. p.719-734. 1933.
- SILVA. E. N.; SANTANA. A. C. Modelos de regressão para estimação do volume de árvores comerciais. em florestas de Paragominas. Revista Ceres. v. 61. n. 5. p. 631-636. 2014.
- SILVA. M. L. M. da.; BINOTI. D. H. B.; GLERIANI. J. M.; LEITE. H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. Revista Árvore. v.33. n.6. p.1133-1139. 2009.
- SILVA. L. F. da; FERREIRA. G. L.; SANTOS. A. C. A.; LEITE. H. G.; SILVA. M. L. Equações hipsométricas. volumétricas e de Crescimento para *Khaya ivorensis* Plantada em Pirapora. Floresta Ambiente. vol.23. n.3. p.362-368. 2016.

SOARES. C. P. B.; PAULA. N. F.; SOUZA. A. L. Dendrometria e inventário florestal. 2. Ed. Viçosa. MG: Editora da UFV. 2011. 270 p.

SPURR. S. H.; Forest Intentory. New York. The Ronald Press. 1952. 476p.

STATSOFT. INC. STATISTICA (data analysis software system). version 10. 2010.  
<<http://www.statsoft.com.br>>

VENDRUSCOLO. D. G. S.; CHAVES. A. G. S.; MEDEIROS. R. A.; SILVA. R. S.; SOUZA. H. S.; DRESCHER. R.; LEITE. H. G. Estimativa da altura de árvores de *Tectona grandis* L. utilizando regressão e redes neurais artificiais. Nativa. v. 5. p. 52-58. 2017.

## **CAPÍTULO 4**

### **MÉTODO ALTERNATIVO PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE CONTRAÇÃO EM SOLOS**

## MÉTODO ALTERNATIVO PARA DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE CONTRAÇÃO EM SOLOS

### RESUMO:

A consistência do solo refere-se às manifestações de forças físicas de coesão e adesão entre as partículas do solo, varia de acordo com o conteúdo de água. Dentre os limites de consistência, o limite de contração, definido como a quantidade de água presente entres os estados semissólido e sólido, é determinado por procedimento complexo, visto que, o método padrão até então utilizado, no entanto, cancelado pela ABNT em 2014, emprega mercúrio metálico que representa um inerente risco a saúde, em razão do manuseio desse material em laboratório. Também um método baseado em parafina, que tem sido usado como alternativa ao método tradicional é potencialmente tóxico, pois toxinas cancerígenas são liberadas da parafina quente empregada nesse método. Por essas razões, propõe-se um método simplificado e alternativo a ambos os métodos, mercúrio metálico e parafina, com emprego de um paquímetro para medição do diâmetro e altura do corpo de prova seco. Logo, objetivou-se, com este estudo propor um novo método, simples, em comparação ao aos demais métodos, para a determinação do limite de contração de três classes de solos distintas dos Tabuleiros Costeiros da Bahia. O estudo foi conduzido no laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em amostras de Argissolo Amarelo, Vertissolo e Latossolo Amarelo. Determinou-se a umidade e o volume de contração, posteriormente compararam-se os resultados entre aqueles produzidos pelo método padrão ou tradicional (mercúrio metálico) e aqueles produzidos com o método aqui proposto. Empregou-se análise de variância e de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa R. Constatou-se que não houve diferença significativa entre os métodos para a determinação do limite de contração, evidenciando que o método proposto é tão eficiente quanto o método padrão, além de permitir maior celeridade no procedimento analítico, sem os inerentes riscos do emprego do mercúrio metálico.

**Palavras-chave:** Limites de consistência, Técnicas de laboratório, Física do solo.

# ALTERNATIVE METHOD FOR DETERMINING THE CONTRACTION VOLUME IN SOILS

## SUMMARY

Soil consistency results from physical forces of cohesion and adhesion between soil particles, according to the water content in the sample. Among the consistency limits, the contraction limit, defined as the amount of water present between the semi-solid and solid states. The standard procedure for measuring this contraction limit is complex, , currently still used, but has been canceled by ABNT in 2014, uses metallic mercury which has an inherent health risk, due to the handling of this material in the laboratory. As an alternative, a method using hot paraffin has been used. However, it is also toxic as it exhales cancer-causing toxins by hot paraffin. For this reason, a simplified alternative method to the use of metallic mercury is being proposed here. This alternative method consists using a caliper to measure the diameter and height of the dry-contracted specimen. Therefore, the objective was to propose this new simple and fast method, and compare its results with the results obtained by the standard method (the metallic mercury one), for determining the contraction limit of three different classes of soils in the region of the Bahia region. The study was conducted in the Soil Physics laboratory of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), using samples of a Yellow Argisol, a Vertisol and a Yellow Latosol. Moisture and volume of contraction were determined, then the contraction results were compared by the analysis of variance, and the means were compared by the Tukey test at 5% probability, using the software R. It was not found significant difference among the methods, showing that the alternative proposed method is as efficient as the standard one; it is less time consuming during the analytical procedure, and avoid exposition the implicit risks of using metallic mercury.

**Key words:** Consistency limits, Laboratory procedures, Soil physics.

## INTRODUÇÃO

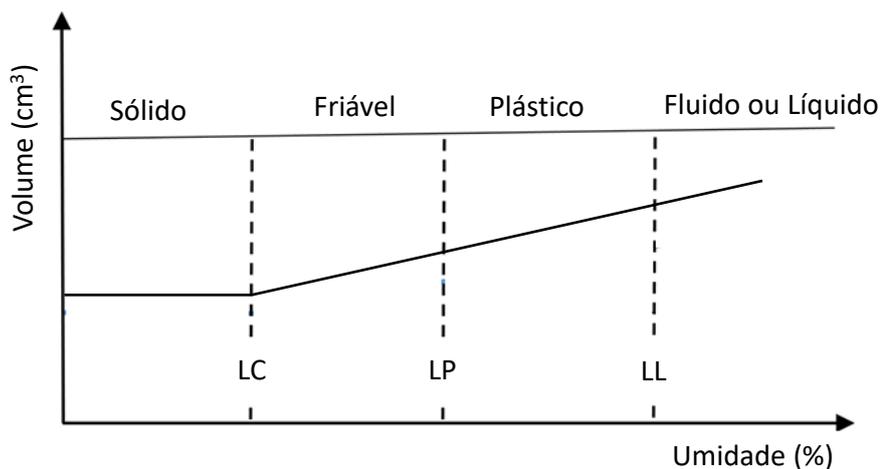
O limite de contração é um dos limites de consistência do solo e representa o teor de umidade abaixo do qual não há mais contração da massa de solo ou corpo de prova (REICHERT et al., 2010). Já a consistência do solo, segundo os mesmos autores, é o termo usado para designar as manifestações das forças físicas de coesão e adesão verificadas no solo, conforme variação dos teores de umidade. A terminologia para determinação da consistência inclui especificações distintas para três estados padronizados de umidade: solo seco, úmido e molhado. Nesses três estados de umidade, as características de um corpo de prova do ponto de vista da homogeneidade, coerência, firmeza, compacidade, resistência e propriedade de ser deformado, dependem da textura e mineralogia das partículas que constituem o estado sólido, em interação com a água em seu estado líquido (BAVER et al., 1972).

Em se tratando do solo, com suas partículas minerais e orgânicas interagindo com a água, há diferentes graus de interação, levando à manifestação de diferentes níveis ou faixas de consistência (REICHERT et al., 2010). Assim, um determinado solo poderá ser duro, quando seco, friável, quando úmido, pegajoso, quando molhado, e fluido, quando a quantidade de água se sobrepõe à de partículas sólidas. Isso interfere na resistência dos solos à deformação e ruptura. Em razão desses diferentes estados, a consistência do solo pode ser estimada em campo usando testes simples (CURI, 1993; IBGE, 2015; SANTOS et al., 2015) ou pode ser medida com mais precisão no laboratório (DONAGEMA et al., 2017).

Os termos relacionados à consistência do solo surgiram com os estudos de um cientista químico, que também tratava de assuntos agrícolas, o sueco Albert Atterberg. Ele realizou estudos para identificar os minerais específicos que dão ao solo argiloso sua natureza plástica. Afirmou que, dependendo do teor de água, o solo pode aparecer em quatro estados: Sólido (sem água); semissólido (quebradiço, um pouco de água); plástico (moldável) e líquido (fluido). Concluiu que, em cada estado, a consistência e o comportamento de um solo são diferentes, assim como suas propriedades para a área de engenharia (KLEIN, 2014) e de ciência agrônoma.

Os limites de consistência ou limites de Atterberg são representados na Figura 1. O limite de contração é um parâmetro importante na área de engenharia, uma vez que construções ou estradas sobre materiais de elevada taxa de

contração estarão frequentemente sujeitos à rupturas. Esse valor também representa o limite inferior da faixa de friabilidade do solo, ou seja, a faixa ideal de trabalhabilidade do solo em que há menos prejuízo à sua estrutura. Portanto, conhecer esse limite é de extrema importância sob o ponto de vista de uso e manejo solo para fins agrícolas e de pecuária por representar a faixa ideal de umidade na qual o solo poderá ser trabalhado sem que sofra pulverização por encontrar-se muito duro, ou seja, com umidade abaixo do limite de contração, ou sofra compactação, quando o teor de umidade está acima do limite superior da faixa (limite de plasticidade), quando o solo se torna plástico (BAVER et al.,1972; KLEIN, 2014).



**Figura 1.** Ilustração dos limites de consistência (Adaptado de Cerato & Lutenegeger, 2006).

A forma tradicional por meio da qual se determina do limite de contração é morosa e emprega mercúrio metálico. Esse método tem sido abandonado por tratar-se de substância que pode causar danos à saúde humana. Exposições ao mercúrio metálico ocorrem com mais frequência quando a substância é exposta ao ar por período relativamente prolongado, como no caso dos métodos que ainda usam a substância para avaliar o volume de contração.

O vapor do mercúrio metálico, quando inalado, pode ser absorvido pelos pulmões. Os sintomas de exposições prolongadas e, ou agudas incluem: tremores; alterações emocionais (como alterações de humor, irritabilidade, nervosismo e timidez excessiva); insônia; alterações neuromusculares (como

fraqueza, atrofia muscular, espasmos); dores de cabeça; alterações nas respostas nervosas e, ou mau desempenho em testes de função mental (EPA, 2017).

O método padrão de determinação do limite de contração (ABNT NBR 7183-1982) foi cancelado no ano de 2014. De acordo como a ABNT, o método é muito antigo (ABNT, 1982) e necessita de devidas revisões como procedimento padrão da Associação (ABNT, 2020). Ainda que cancelado e podendo causar riscos à saúde de pessoas e ao meio ambiente, o método continua sendo utilizado em laboratórios do Brasil para obtenção do limite de contração. Assim, a busca por métodos alternativos que possam fornecer resultados compatíveis com o método que foi considerado padrão em diferentes países do mundo ainda constitui um objetivo importante.

Entre os métodos que têm sido propostos e testados, encontra-se o uso da parafina (AITA et al., 2016). Embora esse método represente menor risco a quem o executa, a despeito do vapor que exala ao ser aquecido, é menos danoso do que o mercúrio. Estudos recentes do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos revelam que a parafina, quando aquecida, também pode emitir poluentes danosos e carcinógenos para a saúde (LEE, 2020). Além disso, a parafina pode proporcionar variações nos resultados, se a temperatura para que haja fusão da mesma e na qual o corpo de provas será mergulhado for muito elevada, a ponto de deixá-la excessivamente liquefeita. Quando neste estado, a parafina entra nos poros do corpo de provas, levando a superestimar o volume contraído da amostra. Cerato e Lutenegger (2006) propuseram um método alternativo empregando medições unidimensionais das amostras expostas ao ar, em ambiente controlado. O teste descreve a alteração em uma dimensão, mesmo reconhecendo que contrações ocorrem em três dimensões. Os autores comentam que contração tridimensional pode ser calculada, assumindo que a contração é uniforme em todas as direções.

No presente estudo é proposto um método alternativo e rápido, empregando medições com paquímetro eletrônico, em substituição ao método alternativo, não mais em uso, para se determinar o volume de contração e, conseqüentemente o limite de contração em solos representativos dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi conduzido no laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, BA, localizado sob as coordenadas 39°05'28"W e 12°41'50,44"S e altitude de 226 metros. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima da região é do tipo tropical quente e úmido, com estações seca no verão, principalmente de setembro a fevereiro e chuvosa no inverno, com precipitação média anual de 1224 mm, distribuída entre os meses de março e agosto, variando de 900 a 1300 mm, com 80% de umidade relativa e temperatura média anual de 24,5°C.

Foram selecionados três perfis de solos representativos da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, sendo um Latossolo Amarelo Coeso, um Argissolo Amarelo Coeso, ambos de textura franco arenosa e um Vertissolo. Um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, amostrado no Sul de Minas Gerais, também foi utilizado no estudo para efeito de comparação, visto que esse solo apresenta teor de argila superior a 75% e microagregados de elevada estabilidade que apresentam, com comportamento funcional de silte e areia muito fina (RESENDE et al., 2002). Foram considerados oito repetições em campo.

As amostras foram coletadas da camada superficial de cada solo até a camada de 0,20 m. Posteriormente, as mesmas foram secas em temperatura ambiente e depois passadas na peneira de 0,4 mm, para análises posteriores em laboratório.

### **Procedimento metodológico**

Para o estudo foram utilizados dois métodos distintos: i) O método considerado padrão para o limite de contração, que consiste em se determinar o estágio em que uma amostra de solo saturado deixa de reduzir de volume quando submetida à secagem em estufa a 105°C. Esse procedimento de ensaio (Figura 2) foi inicialmente padronizado no Brasil pela NBR 7183-82 e cancelado, sem definição de um método substituto (ABNT, 2014) e; ii) O método alternativo

(método do paquímetro), em que o volume do corpo de prova foi determinado através das medidas das pastilhas nos eixos longitudinais e radiais (Figura 3) para se obter os valores necessários para se calcular o volume do corpo de prova através da equação de volume (equação 1):

$$\text{Equação 1} = (V = \pi r^2 * h)$$

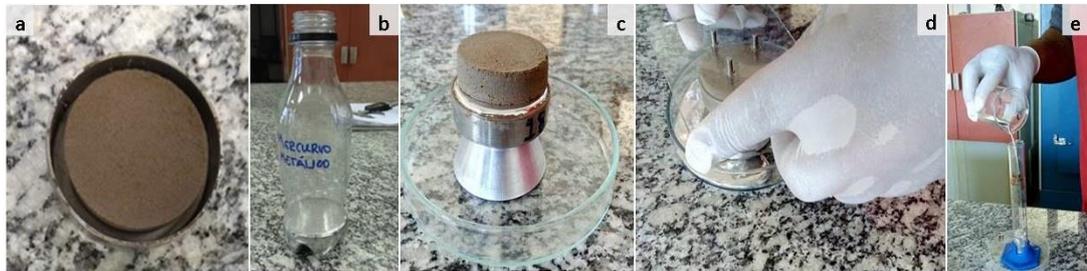
Em que:

V = volume do corpo de prova seco (cm<sup>3</sup>);

$\pi = 3,14084507$

r = raio do corpo de prova;

h = Altura do corpo de prova.



**Figura 2.** Etapas da determinação do volume de contração da amostra empregando o mercúrio metálico.



**Figura 3.** Etapas da determinação do volume de contração da amostra empregando o alternativo proposto neste capítulo.

A determinação do limite de contração nas quatro classes de solos nos dois métodos trabalhados foi avaliada a partir da (equação 2) proposta por (STANCATI et al., 1981).

$$\text{Equação 2 } (Lc = Um - ((Vo - Vf)\beta\alpha) / Ms)$$

Em que:

Lc = Limite de Contração (%);

Um = Umidade de moldagem (%);

Vo = Volume inicial do corpo de prova (cm<sup>3</sup>);

Vf = Volume final do corpo de prova (cm<sup>3</sup>);

Ms = Massa do corpo de prova seco (g);

$\beta\alpha$  = Densidade da água (g cm<sup>-3</sup>).

### **Delineamento experimental e análise estatística**

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado na comparação dos dois métodos de determinação do limite de contração. Para as comparações referentes ao limite de contração empregando análise de variância, foram empregadas somente as classes de solos amostradas na região do Recôncavo da Bahia, em razão de dificuldades de obtenção do limite de contração para o solo coletado no Sul de Minas Gerais, em razão dos microagregados desse solo apresentarem comportamento funcional de silte, areia fina e muito fina (RESENDE et al., 2002). Portanto, foram considerados para a análise estatística somente três classes de solos distintas e oito locais de amostragens para cada solo.

Na comparação referente ao volume de contração, foram empregadas as quatro classes de solos, incluindo, portanto, o Latossolo Vermelho distroférrico muito argiloso. Nesse caso foi realizado somente o estudo de correlação.

Os dados foram trabalhados no programa estatístico R Development Core Team (2018), versão 3.5.1 (pt), para comparação do Limites de Contração, empregando análise de variância. O programa Sigma Plot, foi empregado para o estudo de correlação considerando o volume de contração das amostras. Os testes estatísticos utilizados foram: normalidade de teste de Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), análise de variância pelo teste Fischer, teste comparativo de médias de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ), correlação entre os métodos e coeficiente de determinação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram uma variação quanto ao comportamento dos respectivos solos em relação a sua capacidade de contração em resposta à redução do conteúdo de água. Os maiores valores de contração foram observados no Vertissolo, que estão associados aos maiores teores de argila expansiva presentes nesse solo, nesse caso esmectitas. Já no Latossolo e Argissolo Amarelo, foram observados menores valores de contrações. Esse resultado, ao contrário do que ocorre no Vertissolo, é devido à presença de caulinita, argila não-expansiva e com baixa ou nenhuma capacidade de contração e expansão.

Através da análise de variância, testes comparativos de médias e valores de coeficiente de variação (CV%) (Tabela 1), constata-se que não houve diferença significativa entre os métodos para a determinação do limite de contração.

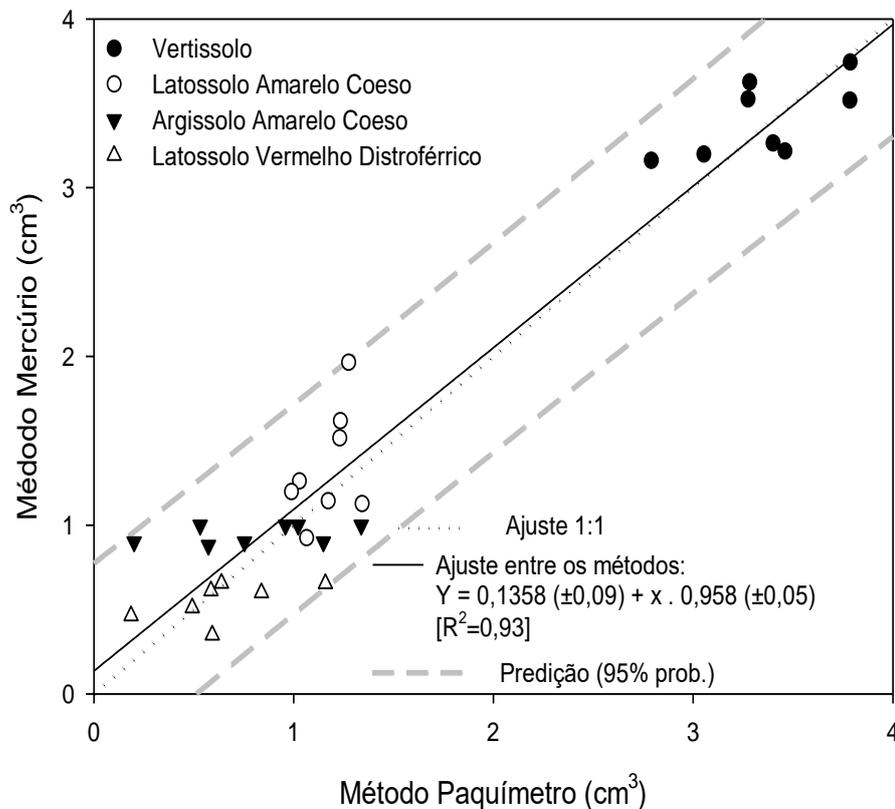
**Tabela 1.** Análise de variância e teste comparativo de médias dos limites de contração, empregando o método considerado padrão e o método alternativo empregando paquímetro digital.

FV	GL	Quadrado médio		
		Vertissolo	Argissolo Amarelo	Latossolo Amarelo
Tratamento	1	0,6123 <sup>ns</sup>	2,2700 <sup>ns</sup>	5,0200 <sup>ns</sup>
Erro	14	4,22	2,93	2,90
Método Padrão		16,88 a	18,00 a	23,86 a
Método Alternativo		16,50 a	17,25 a	22,72 a
CV (%)	-	12,31	9,71	7,32
Total	15	-	-	-

Médias na coluna seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

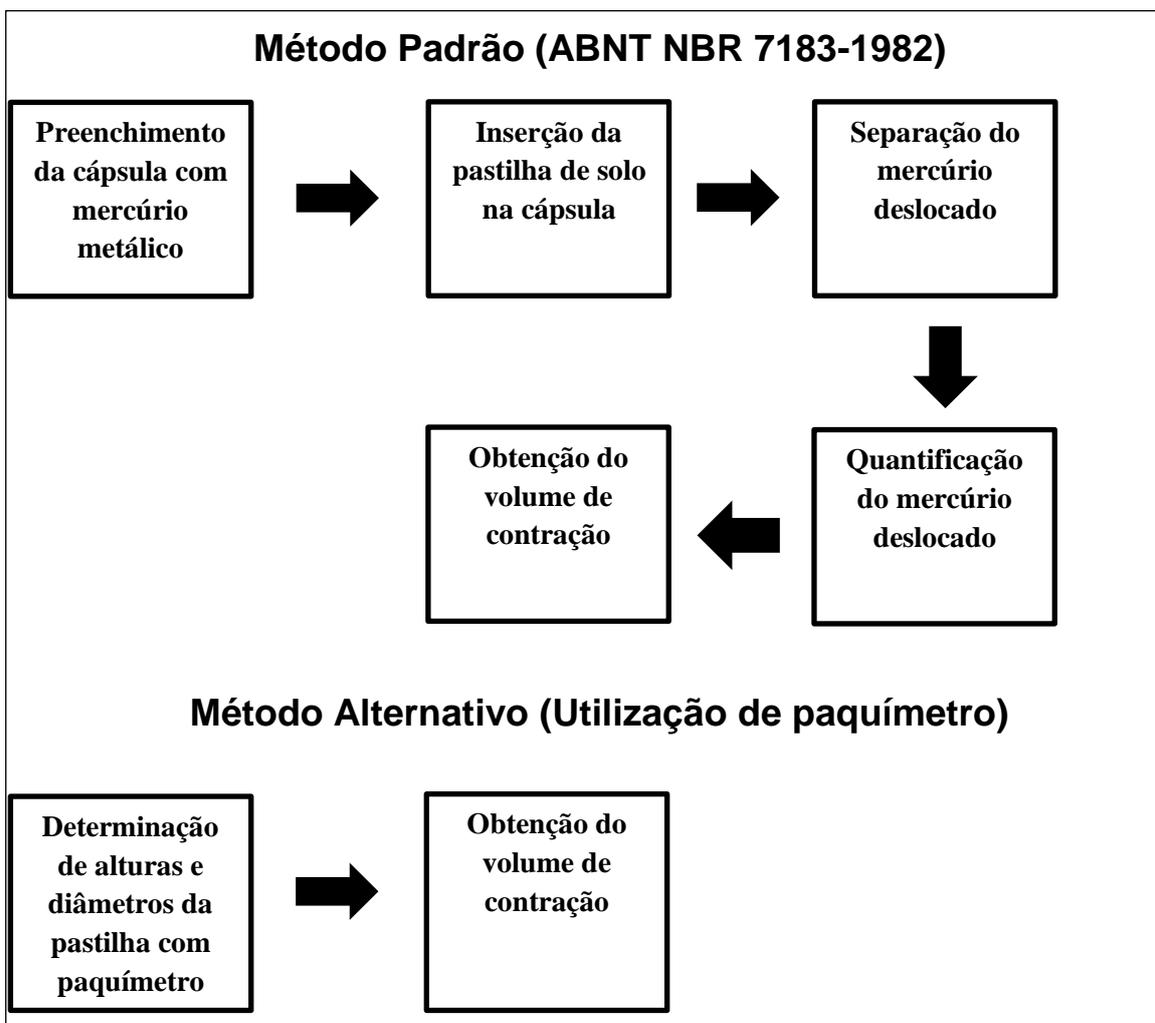
Além dos coeficientes citados anteriormente, houve uma boa correlação entre os resultados de volume de contração dos métodos (Figura 4), com bom ajuste dos dados (93%). Segundo Garcia (1989), valores de coeficiente de determinação superiores a 70% indicam bons ajustes, evidenciando que o método proposto é tão eficiente quanto o método padrão e, portanto, pode ser empregado em substituição ao método considerado padrão (que emprega mercúrio metálico).

Observa-se na figura 4, que os solos mais intemperizados, Latossolo e Argissolo Amarelos, agruparam-se na parte inferior da curva, ficando isolado na parte superior o Vertissolo, em razão de sua mineralogia que contém argilas de maior atividade e expansivas. Todos os solos e repetições estão dentro do limite de 95% de probabilidade, confirmando a eficácia do método alternativo para a determinação do volume de contração das amostras.



**Figura 4.** Comparação dos volumes secos de amostras de solo obtidos pelo método convencional de deslocamento de mercúrio e pelo método alternativo empregando paquímetro digital.

Quanto ao tempo de execução das análises, o método alternativo se mostrou mais eficiente em relação ao método padrão na determinação do volume de contração (Figura 5), visto que permite maior celeridade no procedimento analítico, com menos etapas a serem executadas, além de não causar riscos ao meio ambiente.



**Figura 5.** Esquema do passo a passo para a determinação do volume de contração pelos métodos padrão e alternativo.

## CONCLUSÕES

O método alternativo do paquímetro digital mostrou-se eficiente, apresentando valores médios dos limites de contração com diferenças não significativas em relação ao método convencional (método do mercúrio metálico NBR 7183-1982) nas três classes de solos da região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia.

O método alternativo proposto é tão eficiente quanto o método padrão, além de permitir maior celeridade no procedimento analítico, sem os riscos do emprego do mercúrio metálico.

## LITERATURA CITADA

- AITA, R. A. A.; FACCO, R.; WERLANG, A. P.; WERLANG, M. K. Método alternativo para a determinação do limite de contração a partir de pastilha parafinada em um Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n.1, p. 156-165, 2016. ISSN: 2236-4994 DOI: 10.5902/2236499415712.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de contração e relação de contração de solos: **método brasileiro**, MB-55. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação do limite de contração e relação de contração de solos. **Rio de Janeiro**, 26/09/2014. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/>. Acesso em: 20 de Abril de 2020.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Física de Suelos. **Union Tipografica Editorial Hispano-Americana**. 4<sup>a</sup> Ed. México, 1972.
- CERATO, A. B.; LUTENEGGER, A. J.; 2006. Shrinkage of Clays. Proc. 4th Int. Conf. **on Unsaturated Soils**, Carefree, AZ, April 2-6, GSP N<sup>o</sup>. 147, p.1097-1108.
- CURI, N. (Coord.). Vocabulário de Ciência do Solo. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBSCS**, 1993. 89 p.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de métodos de análises de laboratório. **3<sup>a</sup> edição revista e ampliada**. Embrapa, Brasília, DF. 2017. 574p.
- EPA. Health Effects of Exposures to Mercury: Elemental (Metallic) Mercury Effects. 2017. Disponível em <https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury>, Acessado em 3 de abril de 2020.
- GARCIA, C. H. Tabelas para classificação do coeficiente de variação. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, **Escola Superior de Agricultura** "Luiz de Queiroz", 1989. 12p. (Circular técnica, 171).

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico de pedologia: guia prático de campo, **Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 134 p.
- KLEIN, V. A. Consistência do Solo. In: KLEIN, V. A. ed. Física do Solo. 3ª ed. Passo Fundo: **Universidade de Passo Fundo**, 2014. p. 99-112.
- LEE, M. Candles Causing Cancer. Submitted as coursework for PH240, **Stanford University**, Fall 2016. Disponível em: <https://www.http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/lee-m2/>. Acesso em: 4 de Agosto de 2020.
- R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Áustria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, **NEPUT**, 2002. 338p.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do Solo. In: LIER, Q.J. van. (Ed). Física do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. 298 p.
- SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. **7ª Ed. (revisão ampliada)**. Viçosa, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conhecer o comportamento das variáveis do solo foi essencial como forma de orientação acerca do manejo dos solos. O capítulo 1 foi demonstrado que o preparo do solo interfere diretamente na modificação das propriedades físicas do solo e, conseqüentemente, ocasionará problemas às culturas. Já no capítulo 2, foram propostas formas de mitigar os efeitos negativos dos solos coesos e situações com compactação adicional induzida. As respostas encontradas incluem a caracterização de parâmetros físicos e a criação e teste de um dispositivo para aplicação de materiais condicionadores de fertilidade e porosidade em diferentes profundidades. Como forma de garantir respostas significativas acerca do estudo, foi elaborada uma proposta de pesquisa de longo prazo para monitoramento da alternativa proposta. O capítulo 3 foi um artigo submetido a revista Agriambi, onde propõe um novo método para estimar volumes de árvores nativas, além disso utilizar a proposta do apêndice para testar os modelos considerados eficientes. Para o capítulo 4 foi proposto um novo método alternativo para determinar o limite de contração em solos. Esse método pode ser utilizado em laboratórios de forma segura, rápida e economicamente mais barata comparada ao método padrão, sem causar danos ao meio ambiente. Afinal, através dos resultados de todos os estudos citados acima, foram propostos para a região variados métodos de manejo para os solos, garantindo melhorias na qualidade do solo e maiores rendimentos para as culturas agrícolas e florestais da região.

## **APÊNDICE**

### **PLANO EXPERIMENTAL DE LONGO PRAZO:**

#### **ACOMPANHAMENTO DO DESENVOLVIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS SOB EFEITO DE CAMADAS COESAS E OU COMPACTADAS E DO EMPREGO DE MATERIAL CONDICIONADOR, APLICANDO-SE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS**

### **INTRODUÇÃO**

O conhecimento do volume de um povoamento florestal é determinado por meio do inventário florestal quantitativo. Essa atividade despence altos custos às empresas, sendo estes tanto maiores, quanto maiores e mais precisas devem ser as variáveis dendrométricas de interesse. Essa operação consiste na mensuração dos diâmetros, alturas e, posteriormente, do cálculo de volume das amostras representativas da população, nomeadas de parcelas (BINOTTI et al., 2013). Neste contexto, técnicas e ferramentas que sejam céleres, melhorem a precisão nas estimativas e minimizam os elevados custos dos inventários florestais, principalmente, nas mensurações das alturas, bem como a utilização de variáveis de fácil obtenção na floresta para ajustes dos modelos, são necessárias, principalmente, em grandes áreas de produção.

Normalmente, as estimativas são realizadas através da aplicação de equações de regressão, visando prever as variáveis não medidas no campo (volume) ou parcialmente medidas (alturas). No entanto, estudos com inteligência artificial estão sendo aplicados na ciência florestal, visando substituir os modelos tradicionais de regressão.

Na ciência florestal, diversos estudos comprovam a eficiência da aplicação de redes neurais artificiais (RNAs) no setor de florestas plantadas, sendo eles: Rodrigues et al. (2010); Binoti et al. (2014); Leal et al. (2015) e Amorim (2018) e

para a predição do volumes de árvores exóticas e nativas e para as relações hipsométricas (SILVA et al., 2009; BINOTI et al., 2013).

A Bahia possui grande potencial econômico para a produção de florestas plantadas, visto que possui grande extensão territorial e áreas disponíveis para a produção, principalmente nos Tabuleiros Costeiros, formações onde predominam as classes dos Latossolos e Argissolos em grandes extensões com camada coesa. Essas classes de solos são caracterizadas pela baixa capacidade de retenção de água, baixos teores de argila e matéria orgânica, e presença de camada coesa nos horizontes transicionais AB e BA, entre as profundidades de 0,15 e 0,80 m. Essa camada coesa promove, com frequência, expressivas limitações para o suprimento de água e o desenvolvimento radicular das plantas, implicando diretamente na redução da produtividade das florestas (JACOMINE, 1996; CARVALHO et al., 2002). Logo, há a necessidade de se buscar métodos alternativos de melhorias tanto na mitigação das limitações físicas do solo (Capítulo 1), quanto na aplicação de condicionadores de macroporosidade e porosidade total do solo (Capítulo 2), além de propor modelo de redes neurais artificiais em diferentes fases do desenvolvimento (Apêndice).

## **METODOLOGIA PROPOSTA**

Trata-se de um estudo (experimento) a ser implantado a longo prazo (10 anos), utilizando uma área previamente preparada com o sistema de preparo reduzido (subsolagem), no qual foi adicionado separadamente em cada sulco de plantio, areia grossa ou pó de rocha com a finalidade de aumentar a macroporosidade, reduzir a densidade e a resistência a penetração do solo, com a vantagem de ainda aportar minerais ao solo (Figura 1). Estes solos além de conter baixa disponibilidade de nutrientes, limita drasticamente a infiltração de água e o crescimento radicular das plantas em razão da camada coesa em subsuperfície..

No estudo será proposto o plantio de espécies nativas e exóticas em espaçamentos de 5 x 10 metros, distribuídas em 15 linhas de 50 metros sulcadas com subsolagem e com a aplicação de condicionadores (areia grossa e pó de rocha), para posterior plantio das espécies (Figura 1). Serão realizadas mensurações anuais de diâmetro a altura do solo (DAS) e altura de todas as plantas para posterior determinação do volume individual para cada espécie. As

espécies nativas a serem plantadas são aquelas apresentadas no Capítulo 3, além do eucalipto. Para estimativas das variáveis dendrométricas de interesse, como etapa sequencial do trabalho, será proposto a utilização da modelagem através das Redes Neurais Artificiais para a determinação do volume individual, levando em consideração sua eficiência evidenciada no capítulo 3.



Figura 1. Esquema de condução do ensaio em campo.

## RESULTADOS ESPERADOS

A aplicação da areia e pó de rocha sejam eficientes como condicionadores nas propriedades físicas e químicas do solo.

Os tratamentos com pó de rocha e areia propiciem volumes de madeira superiores ao tratamento sem adição desses materiais.

O incremento em DAS e altura sejam maiores nos tratamentos com adição de areia e pó de rocha.

As RNAs sejam eficientes na estimativa dos volumes individuais das espécies trabalhadas.

Ajustar uma RNA eficiente para cada ano de mensuração das variáveis (DAS e altura).

Ajustar uma RNA eficiente para estimar o volume final de madeira para cada povoamento.

## LITERATURA CITADA

AMORIM, L. M. Potencial de redes neurais artificiais e regressão na estimativa de volume de espécies nativas. **Trabalho de conclusão de curso** (Engenharia Florestal), UFRB, 2018.

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013.

CARVALHO, J. E. B. de.; SOUZA, L. S.; CALDAS, R. C.; ANTAS, P. E. U. T.; ARAÚJO, A. M. A.; LOPES, L. C.; SANTOS, R. C.; LOPES, N. C. M.; SOUZA, A. L. V. Leguminosa no controle integrado de plantas daninhas para aumentar a produtividade da laranja- 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, n.1, p.82–85, 2002.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1996. p.13-26.

LEAL, F. A.; MIGUEL, E. P.; MATRICARDI, E. A. T.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais na estimativa de volume em um plantio de eucalipto em função de fotografias hemisféricas e número de árvores. **Revista Brasileira Bioma**. São Paulo. v.33. n.2. p.234-250. 2015.

RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, T. F.; MADRUGA, M. R.; SILVEIRA, A. M. Um método para determinar o volume comercial do *Schizolobium amazonicum* (huber) ducke utilizando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira Bioma**. São Paulo. v.28. n.1. p.16-23. 2010.

SILVA, M. L. M. da.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**. v.33. n.6. p.1133-1139, 2009.