



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

ANGÉLICA DA SILVA LOPES

**DIAGNÓSTICO DO CARÁTER COESO EM SOLOS: PERCEPÇÃO DE
AVALIADORES E INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS**

FORTALEZA

2023

ANGÉLICA DA SILVA LOPES

DIAGNÓSTICO DO CARÁTER COESO EM SOLOS: PERCEPÇÃO DE AVALIADORES
E INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Orientador: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

FORTALEZA

2023

ANGÉLICA DA SILVA LOPES

DIAGNÓSTICO DO CARÁTER COESO EM SOLOS: PERCEPÇÃO DE AVALIADORES
E INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS GRANULOMÉTRICOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Ciência do Solo. Área de concentração: Pedologia.

Aprovado em: ___ / ___ / _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Mirian Cristina Gomes Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Francisca Gleiciane da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Coelho de Araújo Filho
Embrapa Solos – UEP Recife

AGRADECIMENTOS

À FUNCAP, pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro a esta pesquisa via “Auxílio para despesas excepcionais de pequeno valor (Nº. DEP-0164-00116.01.00/19, SPU Nº 1910059312)”.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

A Deus, por seu infinito amor, e por ter permitido que realizasse esse sonho.

À minha família, em especial meus pais José Marcelino e Maria Helena, à minha irmã Gessica e meu irmão Gabriel, e aos meus avós, tios e primos, pelo amor incondicional, carinho, presença e apoio.

Ao meu esposo Caio, pelo apoio e companheirismo de todas as horas.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) e ao Departamento de Ciências do Solo, pelo acolhimento, pelos aprendizados e pela oportunidade de realizar o doutorado.

A todas e todos os/as professoras/es do doutorado que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao meu orientador, professor Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota, por todos os ensinamentos, paciência e cuidado durante esta longa caminhada.

Ao Dr. José Coelho de Araújo Filho, pelos aprendizados e pela disponibilidade de tempo e energia para viajar para as coletas de campo. Foi uma experiência sensacional viajar com alguém com tanta experiência.

À Prof.^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa, por todos os ensinamentos, por ser um exemplo admirável de profissional e pela disponibilidade de participar de todas as etapas da minha caminhada do doutorado.

Ao Prof. Dr. Ricardo Espíndola Romero, pelos ensinamentos e disponibilidade para contribuir nas diferentes fases da minha caminhada no doutorado.

Ao Prof. Dr. Raul Shiso Toma, pelos conhecimentos compartilhados e pela disponibilidade de discutir e contribuir com esta pesquisa.

À Dra. Francisca Gleiciane da Silva, pela amizade, cuidado e disponibilidade para participar da banca.

À Dra. Walane Maria Pereira de Mello Ivo e à Prof.^a. Dra. Marlen Barros e Silva pelo suporte nas coletas de campo.

Aos amigos Alexandre Queiroz, Ícaro Vasconcelos e Lucas Oliveira por toda ajuda em cada fase da pesquisa e por me escutarem nos momentos de insegurança, e me ajudarem a sustentar e superar cada fase da pesquisa.

Aos colegas da equipe do Grupo de Estudos em Física do Solo (GEFÍS), Yago, João Ivo, Emanuela, pelo apoio na realização das análises e pela companhia no laboratório dando leveza a esta etapa.

Às/Aos colegas e amigos/as da pós-graduação do Departamento de Ciências do Solo, Hosana, Isadora, Mateus, Lucas, Rafaela, Rovenne, Vitória, Wandercleyson, Yan, Rebeca, pelo companheirismo, períodos de estudos e conversas. Em especial ao Franciso Luan e a Juliette que ajudaram a transformar o período de doutorado em momentos prazerosos de trocas de conhecimento e saberes.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo, em especial, Francisco José, Deyse de Sousa, Edilson Dote, Marilene Bezerra, Camille Romero, Crisanto Teixeira, Dona Fátima Silva, Vitória Emilly e Maria Geórgia.

Às funcionárias da limpeza, Dona Helena e Val, por deixarem o nosso local de trabalho sempre bem cuidado.

Aos funcionários da FUNCEME, Antônio José e Almilson, que recebem todos no Departamento com um lindo sorriso no rosto.

Ao povo brasileiro, por permitir que o sonho de ser a primeira de uma família numerosa a entrar em uma universidade se realizasse; e agora, também, a primeira doutora da família.

A todas e todos que contribuíram para a realização deste trabalho e tornaram esta etapa mais feliz.

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes.” Cora Carolina.

RESUMO

O caráter coeso tem grande destaque em solos desenvolvidos no ambiente dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. Visando estabelecer valores de referência da resistência tênsil (RT) para auxiliar no diagnóstico do caráter coeso, foram formuladas três hipóteses: i) há variabilidade significativa no uso da percepção humana na avaliação qualitativa do caráter coeso; ii) a resistência tênsil para o diagnóstico do caráter coeso é influenciada pela granulometria do solo; e iii) a resistência tênsil, por apresentar correlação direta e proporcional com a coesão, auxilia na quantificação do caráter coeso nos solos. Amostras de solos foram coletadas em horizontes com e sem caráter coeso em sete solos. A avaliação concomitante da consistência para o solo seco e a RT com o equipamento TS-Soil foi realizada em 504 amostras de cada solo por três avaliadores. A RT também foi mensurada com o dinamômetro eletrônico. A análise granulométrica e o fracionamento da areia foram realizados para cada amostra submetida ao ensaio de RT no dinamômetro eletrônico. Avaliou-se também a densidade do solo em 504 amostras. Os dados foram submetidos aos testes estatísticos (Tukey e Dunnett), análise de regressão e análise multivariada no software SAS University Version. O grau de classificação das areias foi definido com base no desvio-padrão dos valores de Phi. O limiar da RT para a definição do caráter coeso foi ≥ 66 kPa. Constatou-se também uma elevada quantidade de notas associadas à consistência dura (faixa de RT ≥ 40 a < 66 kPa). Houve efeito significativo isolado das frações areia e argila sobre a RT de amostras. Os valores médios da areia e argila dos horizontes com caráter coeso apresentaram efeitos significativos e a fração silte teve pouca influência quando associada à resistência tênsil. Para os horizontes sem caráter coeso, os modelos não foram significativos para nenhuma das frações. Concluiu-se que: i) há uma percepção distinta, com variabilidade significativa, quando avaliadores humanos se valem da subjetividade para diagnosticar o caráter coeso em solos; ii) para os diferentes avaliadores humanos, o valor limiar de RT para o caráter coeso associado à consistência em solo seco foi semelhante; iii) a ocorrência da consistência dura nos horizontes descritos com o caráter coeso desperta para a necessidade de os sistemas taxonômicos considerarem pelo menos a classe com grau de coesão moderada no diagnóstico do caráter coeso; iv) as frações areia e argila influenciam significativamente no grau de coesão das amostras, com efeito na identificação e quantificação do caráter coeso em solos; v) a RT é um excelente indicador a ser considerado no diagnóstico do referido caráter em solos.

Palavras-chave: adensamento do solo; empacotamento de partículas; tabuleiros costeiros.

ABSTRACT

To establish reference values for tensile strength (TS) to assist in diagnosing the cohesive character, the following hypotheses were formulated: i) there is significant variability in the use of human perception in the qualitative assessment of cohesive character; ii) the TS for diagnosing cohesive character is influenced by soil particle size distribution; and iii) tensile strength, due to its direct and proportional correlation with cohesion, aids in quantifying the cohesive character in soils. Soil samples were collected from seven soils in six Brazilian states. The concurrent evaluation of dry-soil consistency and tensile strength using TS-Soil equipment, conducted by three evaluators, was performed on 504 aggregates/clods from each soil. TS was also measured on an equal number of aggregates/clods using an electronic dynamometer. Grain size analysis, with sand fractionation, was performed for each aggregate/clod subjected to the tensile strength test using the electronic dynamometer. Soil density was also evaluated for 504 aggregates/clods. The data were analyzed using statistical tests (Tukey and Dunnett), regression analysis, and multivariate analysis in the SAS University version software. The classification degree of sands was defined based on the standard deviation of Phi values. The threshold for TS in defining the cohesive character was ≥ 66 kPa. A high number of scores were associated with hard consistency (≥ 40 to < 66 kPa). There was a significant isolated effect of sand and clay fractions on the tensile strength of aggregates/clods. The average values of sand and clay in horizons with cohesive character showed significant effects, while the silt fraction had little influence when associated with tensile strength. For horizons without cohesive character, the models were not significant for any of the fractions. The following conclusions were drawn: i) there is a distinct perception with significant variability when human evaluators rely on subjectivity to diagnose the cohesive character in soils; ii) for different human evaluators, the threshold value of TS for the cohesive character associated with dry-soil consistency was similar; iii) the occurrence of hard consistency in horizons described with cohesive character emphasizes the need for taxonomic systems to consider at least the class with a moderate degree of cohesion in diagnosing the cohesive character; iv) the sand and clay fractions significantly influence the degree of cohesion in aggregates/clods, affecting the identification and quantification of the cohesive character in soils; v) TS is an excellent indicator to be considered in diagnosing this character in soils.

Keywords: densification; particle packaging; coastal tablelands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rendimento médio em quilogramas por hectare para os cultivos de milho, cana-de-açúcar, feijão, e mandioca do Brasil (BR) e da região Nordeste (NE) e seus respectivos estados da federação	25
Figura 2 – Ilustração dos fatores físicos e agentes químicos associados à gênese do caráter coeso	30
Figura 3 – Linha do tempo das publicações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e as atualizações da definição do caráter coeso	32
Figura 4 – Mapa da região Nordeste do Brasil com os locais de coleta das amostras de solos utilizadas neste estudo	35
Figura 5 – Paisagem dos Tabuleiros Costeiros com os perfis de solos nos quais as amostras foram coletadas	40
Figura 6 – Etapas da pesquisa	40
Figura 7 – Etapas da coleta dos blocos em um perfil de solo: a) abertura da trincheira; b) demarcação e esculpimento dos blocos; c) retirada dos blocos; d) envolvimento dos blocos com filme plástico	41
Figura 8 – Etapas da preparação das amostras: a) umedecimento dos blocos, separação dos blocos em amostras e secagem ao ar; b) passagem das amostras nas peneiras; c) secagem das amostras em estufa	42
Figura 9 – Treinamento dos avaliadores conduzido pelo avaliador com maior experiência. a) conjunto de amostras usadas no treinamento com o equipamento TS-Soil; b) avaliador demonstrando a determinação da RT com o uso do TS-Soil; c) participantes do treinamento avaliando a consistência para o solo seco	44
Figura 10 – a) Equipamento TS-Soil; b) pinça do equipamento TS-Soil	45
Figura 11 – a) Equipamento dinamômetro eletrônico b) monitoramento visual da trinca das amostras com auxílio de espelho	46
Figura 12 – a) Amostragem da fração argila; b) separação da fração areia	48

Figura 13 – a) Fracionamento da areia em cinco classes; b) transferência da areia para pesagem; c) pesagem da areia	49
Figura 14 – a) Amostra imersa na parafina; b) amostra impermeabilizada em parafina líquida; c) imersão da amostra em água	50
Figura 15 – Valores médios de RT dos avaliadores para cada solo estudado nos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)	57
Figura 16 – Valores médios da umidade das amostras para cada um dos solos	60
Figura 17 – Porcentagem de notas atribuídas pelos avaliadores à consistência do solo seco para todas as amostras utilizadas dos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)	65
Figura 18 – Valores médios de RT, com desvio-padrão da média, mensurados pelos avaliadores humanos no TS-Soil para as amostras dos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)	66
Figura 19 – Distribuição das faixas de RT por notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com caráter coeso nos quais as médias de RT não foram diferentes entre os avaliadores	67
Figura 20 – Distribuição das faixas de RT por notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com caráter coeso, nos quais as médias de RT foram diferentes entre os avaliadores	68
Figura 21 – Distribuição das faixas de RT pelas notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes sem caráter coeso	69
Figura 22 – Distribuição das faixas de RT pelas notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com e sem caráter coeso	70
Figura 23 – Valores médios da RT por posição, para cada avaliador, associados às notas (A) e sugestão de escala de RT associada à consistência do solo seco (B)	72
Figura 24 – Valores médios de RT nos horizontes com e sem caráter coeso para Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)	75

Figura 25 – Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso nas posições topo, meio e base de Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)	77
Figura 26 – Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) do Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex) ...	78
Figura 27 – Valores médios de RT para os horizontes sem caráter coeso nas posições topo, meio e base de Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)	81
Figura 28 – Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Médias seguidas pela mesma letra minúscula em cada grau de coesão não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância	83
Figura 29 – Valores médios de densidade do solo nos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) de cada solo (A), nas posições topo, meio e base de cada solo (B), e nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso (C)	87
Figura 30 – Análise de regressão entre a densidade do solo e RT para os horizontes com caráter coeso	88
Figura 31 – Valores médios da fração areia nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A), nas posições topo, meio e base de cada solo (B), e nas posições topo, meio e base de todos os solos (C)	92
Figura 32 – Regressão entre a RT e areia nos horizontes com caráter coeso	94
Figura 33 – Valores médios da fração silte nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A) e para as posições topo, meio e base (B) de todos os solos	95
Figura 34 – Valores médios da fração argila nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A) para cada solo, nas posições topo, meio e base (B) e para topo, meio e base de todos os horizontes (C)	96

Figura 35 – Regressão entre a RT e os valores médios da argila dos horizontes com caráter coeso das posições topo, meio e base	98
Figura 36 – Classes texturais para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) dos solos estudados	101
Figura 37 – Valores médios de areia muito grossa (A), areia grossa (B), areia média (C), areia fina (D) e muito fina (E) para os horizontes dos solos com e sem caráter coeso	104
Figura 38 – Distribuição das areias para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Valor Phi (Φ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 3,25 (areia fina); e de 3,25 a 4,24 (muito fina)	107
Figura 39 – Distribuição das areias para os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Valor Phi (Φ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 3,25 (areia fina); e de 3,25 a 4,24 (muito fina)	108
Figura 40 – Relação entre a RT e o desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi $\varphi = -\log 2D_{mm}$ para o Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx) e Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE2-PAex)	110
Figura 41 – Análise de componentes principais para caracterizar as relações entre atributos físicos e horizontes com caráter coeso (CCC) e sem o caráter coeso (SCC), coletados no Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)	114
Figura 42 – Análise de agrupamento dos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SSC) dos solos estudados	116
Figura 43 – Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico coletado no Ceará (CE1)	133
Figura 44 – Foto do perfil do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico coletado em Alagoas	136
Figura 45 – Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico coletado em Sergipe	139

Figura 46 – Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico coletado na Bahia 142

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de solos dos Tabuleiros Costeiros conforme levantamentos de solos realizados na região Nordeste e dos estados do Espírito Santo, Pará e Amazonas	23
Tabela 2 – Descrição morfológica dos horizontes dos solos nos quais blocos foram coletados	37
Tabela 3 – Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e o número mínimo de amostras necessárias para os ensaios de RT nos horizontes com e sem caráter coeso	52
Tabela 4 – Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e número mínimo de amostras necessárias para os ensaios de RT, considerando os avaliadores	52
Tabela 5 – Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e número mínimo de amostras para os ensaios de RT com os equipamentos, considerando as posições topo, meio e base dos horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC)	53
Tabela 6 – Parâmetros usados na equação de Warrick e Nielsen (1980) e número de amostras para os ensaios de quantificação das frações areia, silte, argila e fracionamento da areia	54
Tabela 7 – Teste F e Coeficiente dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC)	56
Tabela 8 – Comparação pelo teste de Dunnett entre a RT mensurada pelos avaliadores no TS-Soil e a mensurada em dinamômetro eletrônico para os horizontes com e sem caráter coeso	58
Tabela 9 – Coeficiente de assimetria e análise de variância para os dados de umidade para as amostras estudadas (n = 2016)	59
Tabela 10 – Análise de variância da regressão entre a umidade, fração areia, silte e argila e a RT das amostras dos solos estudados	61

Tabela 11 – Modelos de regressão para a estimativa da RT (\hat{y}) em função das frações areia, silte e argila (x)	62
Tabela 12 – Análise exploratória dos dados de Resistência Tênsil (RT) (\pm o desvio-padrão da média) para os horizontes com caráter coeso obtidos por cada avaliador	63
Tabela 13 – Análise exploratória dos dados de Resistência Tênsil (RT) (\pm o desvio-padrão da média) para os horizontes sem caráter coeso obtidos por cada avaliador	64
Tabela 14 – Valores máximo, mínimo, médio, mediana e central da RT (kPa) associados às notas obtidas nas faixas de sobreposição associada às classes de consistência do solo	71
Tabela 15 – Coeficiente de assimetria e análise de variância para os dados de RT obtidos no dinamômetro eletrônico e pelos avaliadores humanos no TS-Soil para todos os horizontes com e sem caráter coeso	74
Tabela 16 – Coeficiente de assimetria e análise de variância para os dados de RT obtidos no dinamômetro eletrônico e pelos avaliadores humanos no TS-Soil para todos os horizontes com e sem caráter coeso	76
Tabela 17 – Coeficientes de assimetria (CA) e análise de variância dos dados de RT obtidos pelos avaliadores nas posições topo, meio e base nos horizontes sem caráter coeso	79
Tabela 18 – Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso	82
Tabela 19 – Análise exploratória dos dados de RT nas posições topo (T), meio (M) e base (B) dos horizontes com e sem caráter coeso obtidos pelo dinamômetro e pelos avaliadores humanos no TS-Soil	84
Tabela 20 – Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de densidade do solo nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso	86
Tabela 21 – Análise de regressão linear entre a densidade do solo e a RT nos horizontes com e sem caráter coeso nas posições topo, meio e base	88

Tabela 22 – Análise exploratória dos dados de densidade do solo para todos os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B)	89
Tabela 23 – Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de areia, silte e argila nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso	91
Tabela 24 – Análise de variância da regressão entre os dados médios de RT e das frações areia, silte e argila dos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo, meio e base	93
Tabela 25 – Análise exploratória dos dados de areia, silte e argila para todos os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) para diferentes locais	99
Tabela 26 – Análise exploratória dos valores médios (com desvio-padrão) de areia, silte e argila para todos os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B) para diferentes locais	99
Tabela 27 – Coeficiente de assimetria e análise de variância do fracionamento da areia (areia muito grossa, areia grossa, areia média, fina e areia muito fina) nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso dos sete solos estudados	102
Tabela 28 – Parâmetros estatísticos para a distribuição da fração areia (média \pm desvio-padrão) e grau de seleção segundo Folk e Ward (1957) para horizontes com e sem caráter coeso	105
Tabela 29 – Análise de regressão entre os dados de RT e o desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala $\Phi \varphi = -\log 2D_{mm}$ para os solos estudados	109
Tabela 30 – Análise exploratória os dados do fracionamento da areia para os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) para os solos estudados	111
Tabela 31 – Análise exploratória os dados do fracionamento da areia para as posições topo, meio e base nos horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC)	112
Tabela 32 – Análise granulométrica para os horizontes do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico	136

Tabela 33 – Análise granulométrica para os horizontes do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrúptico	139
Tabela 34 – Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes com caráter coeso	143
Tabela 35 – Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes sem caráter coeso	143
Tabela 36 – Análise de variância da regressão entre a RT e umidade das amostras dos solos estudados	144
Tabela 37 – Análise de variância da regressão entre a fração areia e a RT das amostras dos solos estudados	145
Tabela 38 – Análise de variância da regressão entre a fração silte e a RT das amostras dos solos estudados	146
Tabela 39 – Análise de regressão simples entre a fração argila e a RT das amostras dos solos estudados	146

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Formação Barreiras	21
2.2	Tabuleiros Costeiros	22
2.2.1	<i>Solos dos Tabuleiros Costeiros</i>	22
2.2.2	<i>O caráter coeso</i>	26
2.2.2.1	<i>Formação do caráter coeso</i>	28
2.2.2.2	<i>Identificação do caráter coeso</i>	31
2.2.2.3	<i>O atributo resistência tênsil</i>	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Locais das coletas dos solos	35
3.2	Etapas da pesquisa	39
3.2.1	<i>Coleta dos blocos de solos</i>	41
3.2.2	<i>Preparação das amostras</i>	42
3.2.3	<i>Avaliação dos atributos físicos do solo</i>	43
3.2.3.1	<i>Avaliação simultânea da RT e da consistência do solo seco</i>	43
3.2.3.2	<i>Avaliação da RT com o dinamômetro eletrônico</i>	45
3.2.3.3	<i>Análise granulométrica e o fracionamento da areia</i>	47
3.2.3.4	<i>Densidade do solo</i>	49
3.2.4	<i>Análise dos dados</i>	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Escala de referência para identificação do caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros	56
4.1.1	<i>O dinamômetro eletrônico versus avaliadores humanos (com o equipamento TS-Soil) na quantificação da RT</i>	56
4.1.2	<i>Umidade do solo e a granulometria</i>	59
4.1.3	<i>Análise exploratória dos dados de RT</i>	62
4.1.4	<i>Avaliação da distribuição da frequência de notas</i>	64
4.1.5	<i>Distribuição das faixas de RT pelas notas para os solos com e sem caráter coeso</i>	66

4.2	O uso da RT na quantificação do caráter coeso e a influência da granulometria e do tamanho dos constituintes da fração areia	73
4.2.1	<i>O atributo RT na quantificação do caráter coeso</i>	73
4.2.2	<i>Variação da RT ao longo dos horizontes (topo, meio e base) com e sem caráter coeso</i>	76
4.2.3	<i>Análise exploratória dos dados de RT</i>	83
4.2.4	<i>Densidade do solo</i>	86
4.2.5	<i>Análise exploratória dos dados de densidade do solo</i>	89
4.2.6	<i>Granulometria nos horizontes com e sem caráter coeso e sua relação com a RT</i>	90
4.2.7	<i>Análise exploratória dos dados de areia, silte e argila</i>	98
4.2.8	<i>Fracionamento da areia</i>	101
4.2.9	<i>Análise exploratória dos dados de fracionamento da areia</i>	110
4.2.10	<i>Análise multivariada na avaliação de atributos físicos de horizontes com e sem caráter coeso.....</i>	114
5	CONCLUSÕES	117
	REFERÊNCIAS	118
	APÊNDICE A – DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS DE SOLO	133
	APÊNDICE B – ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS	144

1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso essencial para a vida, não renovável em uma escala de tempo da vida humana, e seu manejo inadequado pode provocar impactos irreversíveis, ou reversíveis apenas com longo período de recuperação. Assim, os estudos de caracterização e reconhecimento das peculiaridades de cada classe de solo são de grande importância para a conservação destes, pois auxiliam na definição do seu melhor uso.

A identificação e caracterização das peculiaridades da natureza em muitas das vezes estão intrinsecamente relacionadas à percepção humana. A percepção é definida como a capacidade de organização e interpretação do mundo pelos sentidos, e é continuamente utilizada pelo ser humano na busca pela compressão dos fenômenos da natureza. Por exemplo, a percepção visual e tátil é utilizada frequentemente por pesquisadores da ciência do solo como forma de reconhecimento de determinadas ocorrências no solo, como é o caso para o diagnóstico do caráter coeso.

Na identificação do caráter coeso, utiliza-se inicialmente da percepção à resistência do solo à penetração da faca ou do martelo pedológico e, posteriormente, da consistência na avaliação da força de coesão entre as partículas do solo. Apesar de a percepção ser útil na investigação, e até mesmo na definição de determinados parâmetros – aliás, não fosse o elevado senso perceptivo visual e tátil, muito do que se conhece hoje de solo não teria vindo à tona –, a sensibilidade sobre alguns fenômenos, sem considerar aspectos quantitativos, traz certa subjetividade às informações coletadas.

A subjetividade na identificação do caráter coeso em solos fomenta a discussão da necessidade de incorporar dados quantitativos na abordagem do referido atributo diagnóstico quando de seu reconhecimento e identificação no campo, uma vez que dados qualitativos podem ser carentes em informações mais robustas e limitam a extensão de seu uso.

Para o reconhecimento do caráter coeso em horizontes de solos, são utilizados alguns atributos auxiliares como, por exemplo, a densidade do solo, a condutividade hidráulica, a resistência do solo à penetração e a resistência tênsil de agregados. Este último é um atributo simples de ser medido por um aparelho que quantifique a força aplicada para a ruptura do material.

Além disso, a resistência tênsil tem a vantagem de apresentar uma estreita correlação com o caráter coeso, o que torna este atributo útil para a quantificação da coesão e consequente definição de valores de referência para a consistência em solo seco e,

particularmente, para definir o limiar para o diagnóstico da ocorrência do caráter coeso em solos.

Alguns estudos já foram realizados com o objetivo de quantificar a coesão, comparando solos com e sem o caráter coeso, usando a resistência tênsil como indicador. Nestes estudos, observaram-se maiores valores de resistência tênsil em solos com caráter coeso, bem como variabilidade significativa para as medidas do atributo entre as posições topo, meio e base dos horizontes. No entanto, ainda são estudos incipientes, não possibilitando o aprofundamento de uma escala que possa ser utilizada nas discussões sobre os aspectos quantitativos complementares que possam auxiliar na identificação do caráter coeso.

É importante destacar que a necessidade de definir critérios e atributos que permitam identificar e medir o grau de coesão foi apontada como uma demanda de pesquisa na reunião técnica sobre os solos dos Tabuleiros Costeiros “Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros”, realizada no município de Cruz das Almas-BA, em 1996.

Em paralelo à identificação dos atributos que melhor quantificam a coesão, têm sido estudados diversos aspectos envolvidos na gênese do caráter coeso. A mineralogia, ciclos de umedecimento/secagem do solo e cimentação por compostos amorfos, são exemplos. Apesar de não influenciar isoladamente a gênese do caráter coeso, a granulometria contribui para a sua formação, visto que a presença de material grosseiro mal selecionado, somada à migração de argila entre os horizontes, aumenta a coesão nestes solos.

Esta pesquisa considerou a possibilidade de que a inclusão de critério quantitativo – no caso, valores de referência de resistência tênsil de amostras – pode ser útil para o diagnóstico do caráter coeso em solos e, quem sabe, despertar a atenção para a sua incorporação no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Com isso, a definição de parâmetros quantitativos poderá ser usada para estabelecer novos agrupamentos para solos com caráter coeso que levem em consideração os diferentes graus de coesão.

Considerando esta reflexão sobre o diagnóstico do caráter coeso, foram definidas três hipóteses de pesquisa: i) há variabilidade significativa no uso da percepção humana na avaliação qualitativa do caráter coeso; ii) a resistência tênsil para o diagnóstico do caráter coeso é influenciada pela granulometria do solo; e iii) a resistência tênsil, por apresentar correlação direta e proporcional com a coesão, auxilia na quantificação do caráter coeso nos solos.

Os objetivos neste trabalho foram identificar a variação da percepção do caráter coeso por avaliadores, avaliar a influência da granulometria do solo na identificação quantitativa e diagnóstico do caráter coeso e elaborar sugestão de limite de resistência tênsil que permita diagnosticar o caráter coeso em solo seco.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Formação Barreiras

A presença desta feição de ampla ocorrência na costa brasileira destaca-se com tamanha magnitude, a ponto de ter sido relatada por Pero Vaz de Caminha em uma das cartas enviadas ao rei de Portugal, na qual é descrita a presença de barreiras brancas e vermelhas na faixa litorânea brasileira (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). Possivelmente, foi a primeira vez que o termo “Barreiras” foi usado para descrever esta feição (SUGUIO; NOGUEIRA, 1999). Apesar de não haver um consenso sobre o termo que melhor domina essa feição, o uso da terminologia Formação Barreiras tem predominado em estudos mais recentes (MOURA-FÉ, 2014). A ocorrência da Formação Barreiras é verificada da faixa litorânea brasileira desde o estado do Amapá até o estado do Rio de Janeiro (ARAI, 2006; MABESOONE; CAMPOS E SILVA; BEURLIN, 1972; ROSSETTI, 2006; SUGUIO; NOGUEIRA, 1999).

A Formação Barreiras constitui-se de uma sequência contínua de depósitos de sedimentos pouco consolidados, muito intemperizados, geralmente caulíníticos, pobres em ferro e afossilíferos (ARAI, 2006; BIGARELLA; ANDRADE, 1964; CORRÊA *et al.*, 2008; MABESOONE; CAMPOS E SILVA; BEURLIN, 1972; MOURA-FÉ, 2014).

O baixo conteúdo fossilífero da Formação Barreiras tem dificultado sua datação (ARAI, 2006). De forma geral, os estudos têm sugerido que a deposição dos sedimentos desta formação ocorreu entre o Mioceno inferior e o médio (ROSSETTI; BEZERRA; DOMINGUEZ, 2013). O Mioceno foi um período de diversos eventos geológicos, como expansão de geleiras na Antártida, fechamento do Mar Mediterrâneo e soerguimentos que influenciaram a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras (NUNES; SILVA; VILAS BOAS, 2011; ROSSETTI, 2006).

Além dos eventos geológicos, a deposição dos sedimentos desta formação foi influenciada pelas oscilações climáticas, intercalando-se períodos secos e úmidos (BIGARELLA; ANDRADE, 1964). Os períodos secos de clima árido ou semiárido, sujeitos a chuvas concentradas e torrenciais, favoreceram os processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos (BIGARELLA; ANDRADE, 1964; SUGUIO *et al.*, 1985). Os períodos de clima úmido provocavam a transgressão marinha responsável pela erosão da parte externa do pacote sedimentar, formando as falésias encontradas próximas à linha da costa (SUGUIO *et al.*, 1985; SUGUIO; LOUIS; DOMINGUEZ, 1982; VILAS BOAS; BITTENCOURT; MARTIN,

1985). A Formação Barreiras está associada a um relevo suave, plano e amplo, típico da morfologia dos Tabuleiros Costeiros (WEST; MELLO, 2020).

2.2 Tabuleiros Costeiros

Os Tabuleiros Costeiros possuem uma forma topográfica que se assemelha aos planaltos, terminando geralmente de forma abrupta (GUERRA, 1993). Em geral, apresentam paisagem de topografia plana, embora, algumas áreas sejam encontradas em relevo suave ondulado (JACOMINE, 1973a; JACOMINE et al., 1977; ROMERO; LIMA, 2004). São constituídos por sedimentos em proporções variáveis, desde materiais argilosos a argilo-arenosos ou arenosos (JACOMINE, 1973a; JACOMINE, 1996), além de apresentarem conglomerados, em proporções variáveis, de consolidação fraca e cores predominantemente avermelhadas ou amareladas (JACOMINE, 1973a). Os sedimentos que constituem os Tabuleiros Costeiros ocupam na região Nordeste aproximadamente 8,42 milhões de hectares (SILVA *et al.*, 2014). Os solos provenientes dos sedimentos da Formação Barreiras abrangem uma extensão de até 200.000 km² (JACOMINE, 1996).

2.2.1 Solos dos Tabuleiros Costeiros

Nos levantamentos de solos realizados pelo Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos nos Tabuleiros Costeiros, as classes predominantes encontradas foram os Latossolos e os Podzólicos, estes últimos denominados atualmente de Argissolos (Tabela 1).

Os Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros possuem como principais características: em geral são ácidos a fortemente ácidos, com pH em água entre 4,0 e 5,0. Em sua maioria, são distróficos e apresentam CTC baixa (ANJOS, 1985). Em relação à mineralogia na fração argila, há predomínio da caulinita, e na fração areia predomina o quartzo, embora possa conter traços de outros minerais como turmalina, ilmenita, dentre outros (CINTRA *et al.*, 2009; JACOMINE *et al.*, 1977). Os teores dos óxidos de ferro são baixos (ANJOS, 1985; GIAROLA *et al.*, 2009; JACOMINE, 1996) e os valores de Ki dos solos estão em torno de 2 (JACOMINE, 1996). A profundidade efetiva destes solos pode ser reduzida quando ocorre a presença de horizontes endurecidos (RIBEIRO, 1996).

Tabela 1 - Classes de solos dos Tabuleiros Costeiros conforme levantamentos de solos realizados na região Nordeste e dos estados do Espírito Santo, Pará e Amazonas

Estado	Classificação
Rio Grande do Norte (JACOMINE <i>et al</i> , 1971)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico abrupto Podzólico Vermelho Amarelo com fragipã
Paraíba (JACOMINE <i>et al</i> , 1972)	Latossolo Vermelho Amarelo textura média Podzólico Vermelho Amarelo com fragipã textura média Podzólico Vermelho Amarelo variação acinzentada com fragipã Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico abrupto com fragipã
Pernambuco (JACOMINE <i>et al</i> , 1972 e 1973)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média ou argilosa Podzólico Vermelho Amarelo latossólico textura média
Ceará (JACOMINE <i>et al</i> , 1973) -	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico textura média Podzólico Vermelho Amarelo abrupto Podzólico Vermelho Amarelo acinzentada distrófica textura média
Alagoas (JACOMINE <i>et al</i> , 1975)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso Podzólico Vermelho Amarelo latossólico textura média
Sergipe (JACOMINE <i>et al</i> , 1975)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso Podzólico Vermelho Amarelo argila de atividade baixa textura média/muito argilosa Podzólico Vermelho Amarelo eutrófico Tb textura média/argilosa Podzólico Vermelho Amarelo Tb com fragipã
Bahia (JACOMINE <i>et al</i> , 1977)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso Podzólico Vermelho Amarelo latossólico textura média/argilosa Podzólico Vermelho Amarelo Tb abrupto textura arenosa /média e Tb raso textura média/muito argilosa
Espírito Santo (PANOSO, 1978)	Latossolo Vermelho Amarelo distrófico coeso e distrófico coeso podzólico Podzólico Vermelho Amarelo abrupto Podzólico Vermelho Amarelo latossólico
Pará-Polo Altamira (REGO; SOARES, 1981)	Latossolo Amarelo álico Latossolo Amarelo
Amazonas - Barreirinha (SANTOS, 1982)	Podzólico Vermelho Amarelo câmbico argila atividade baixa

Fonte: Adaptado de Anjos (1985).

Apesar da predominância dos Latossolos e Argissolos, nos micro-relevos com pequenas depressões, também podem ser encontrados Plintossolos, Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos (JACOMINE, 1996).

2.2.1.1. *Potencialidades e limitações de uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros*

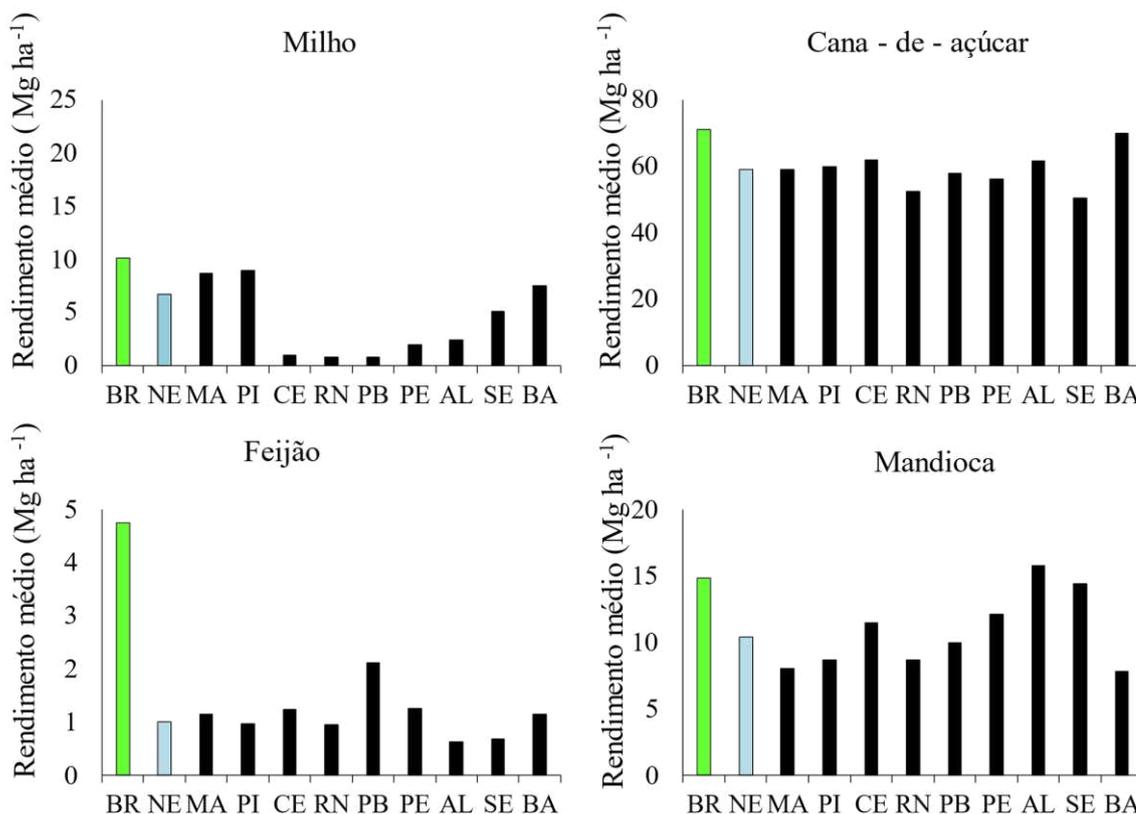
A potencialidade do uso dos solos dos Tabuleiros Costeiros está associada a diversos fatores ambientais que favorecem a exploração agrícola destas regiões. A precipitação regular, a boa profundidade e a distribuição destes solos em áreas mecanizáveis, com relevo plano a suave ondulado, são alguns destes fatores (JACOMINE, 2001; SILVA *et al.*, 2014). Ainda, estão localizados próximos a grandes concentrações urbanas com ampla estrutura de transportes rodoviários e terminais marítimos que facilitam o escoamento da produção (JACOMINE, 2001).

Todos estes aspectos condicionam o uso agrícola diversificado dos solos dos Tabuleiros Costeiros. A cana-de-açúcar predomina nas zonas mais úmidas e a pecuária extensiva à semiextensiva na zona mais seca (SILVA *et al.*, 2014). O milho, feijão, arroz, mandioca, laranja, banana, caju, coco, mamão, fumo e espécies florestais também são cultivados (SILVA *et al.*, 2014; NUNES *et al.*, 2023; RIBEIRO *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2016). O rendimento médio de diversas culturas foi, em geral, abaixo do rendimento médio do Brasil em mais de 400 ha plantados na safra 2022 no Nordeste (IBGE, 2022) (Figura 1). As condições químicas e físicas inadequadas dos solos em muitas das áreas cultivadas podem contribuir, em parte, para a redução do potencial agrícola destes solos.

Em relação aos aspectos químicos, são solos caracterizados pela pouca reserva de nutrientes, possuem baixos teores de matéria orgânica, alta saturação por alumínio e alta acidez ativa e trocável (JACOMINE, 1996). Acerca dos aspectos físicos, muitos destes solos apresentam horizontes superficiais arenosos e horizontes subsuperficiais naturalmente adensados (CINTRA; PORTELA; NOGUEIRA, 2004; LIRA, *et al.*, 2016; RIBEIRO, 1996).

Embora a capacidade das raízes das plantas de penetrar nos solos seja diferente, valores de resistência à penetração maiores que 2,0 MPa são comumente considerados impeditivos para o crescimento das raízes (TAYLOR; ROBERSON; PARKER, 1966). Nos solos com adensamento natural, como os dos Tabuleiros Costeiros que apresentam caráter coeso, valores superiores a este são relatados na literatura. Vieira *et al.* (2012), que encontraram valores de resistência à penetração de 7,71 MPa.

Figura 1 - Rendimento médio em quilogramas por hectare para os cultivos de milho, cana-de-açúcar, feijão, e mandioca do Brasil (BR) e da região Nordeste (NE) e seus respectivos estados da federação



Legenda: BR: Brasil; NE: Nordeste; MA: Maranhão; PI: Piauí; CE: Ceará; RN: Rio Grande do Norte; PB: Paraíba; AL: Alagoas; SE: Sergipe e BA: Bahia
 Fonte: Elaborada pela autora.

Além da limitação do crescimento das raízes, a presença dos horizontes adensados afeta as trocas gasosas e a taxa fotossintética em plantas de milho (MARQUES *et al.*, 2021). Adicionalmente, horizontes adensados aumentam a vulnerabilidade dos solos ao regime climático, pois podem atingir estágios excessivamente úmidos ou secos. Nestas condições, respectivamente, o sistema radicular das plantas sofre com problemas de má aeração ou de déficit hídrico (CINTRA; PORTELA; NOGUEIRA, 2004).

O efeito das restrições dos horizontes adensados no desenvolvimento das plantas depende da sua posição no perfil. A ocorrência próxima à superfície aumenta a suscetibilidade destes solos à erosão (LIMA, 2004). Em posição mais profunda no perfil, os horizontes adensados podem funcionar como um reservatório de água para as plantas durante o período de déficit hídrico (CINTRA; LIBARDI; SAAD, 2000).

A produção de cana-de-açúcar obtida nos solos dos Tabuleiros Costeiros, em Pernambuco, encontra-se abaixo do potencial produtivo da cultura (LEÓN *et al.*, 2019; LIRA *et al.*, 2016). A baixa produtividade pode estar relacionada à dificuldade de desenvolvimento e crescimento das raízes das plantas frente à presença deste adensamento natural, uma vez que as condições químicas inadequadas são minimizadas pela adubação (CINTRA; PORTELA; NOGUEIRA, 2004).

Os primeiros relatos da presença deste adensamento, portanto de ocorrência natural, são encontrados na literatura na década de 1950, em registro de levantamento de solos realizado no estado do Rio de Janeiro, cuja consistência em alguns horizontes minerais subsuperficiais apresentava-se no mínimo dura, quando secos, e friável a firme, quando úmidos (BARROS *et al.*, 1958). Na região Nordeste do Brasil, Oliveira *et al.* (1968) caracterizaram a presença desse adensamento em uma área de Tabuleiros Costeiros no estado de Sergipe. Na denominação desta feição relacionada aos sedimentos da Formação Barreiras, utilizou-se o termo “Coeso” (JACOMINE, 1973; JACOMINE, 1996).

Esses horizontes com caráter coeso são, em parte, similares aos horizontes denominados *hardsetting* australianos (GIAROLA; SILVA, 2002), presentes em diversas partes do mundo. Existem relatos da presença dos *hardsetting* na Nigéria, Canadá, Argentina, África do Sul e Indonésia (DANIELLS, 2012). Ao comparar os *hardsetting* com os horizontes coesos dos solos brasileiros, percebe-se que ambos são caracterizados por serem muito duros quando secos e friáveis quando úmidos, devido à presença de uma cimentação temporária (FRANZMEIER; CHARTRES; WOOD, 1996; SANTOS *et al.*, 2018). No entanto, diferem entre si porque os *hardsetting* podem estar associados a ocorrências de sais, maiores teores de silte e podem conter argilas menos intemperizadas – aspectos até agora não relatados para os solos com caráter coeso no Brasil (DANIELLS, 2012; DANTAS *et al.*, 2014; GIAROLA *et al.*, 2001). Quando presentes, restringem o desenvolvimento das raízes das plantas nos horizontes em que ocorrem (CINTRA; PORTELA; NOGUEIRA, 2004; DANIELLS, 2012).

2.2.2 O caráter coeso

Com o avanço dos estudos, o caráter coeso foi incorporado ao Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), desde de sua primeira versão, com publicação em 1999 (CORRÊA *et al.*, 2008). Na versão atual do sistema taxonômico (SANTOS *et al.*, 2018), este

atributo é usado na estruturação taxonômica de Latossolos e Argissolos, sem, no entanto, critérios quantitativos para a identificação.

O caráter coeso é utilizado para definir horizontes pedogenéticos subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca, e a consistência varia de muito dura a extremamente dura, quando seca, e de friável a firme, quando úmido, com estrutura apresentando agregação fraca ou maciça (SANTOS *et al.*, 2018).

São comuns em solos desenvolvidos dos sedimentos terciários da Formação Barreiras, com composição mineral predominantemente caulínica, embora tenham sido identificados solos vermelhos com caráter coeso no sul da Bahia, norte do Espírito Santo e nordeste de Minas Gerais que não foram desenvolvidos sobre sedimentos do Grupo Barreiras (CORRÊA *et al.*, 2008).

Este caráter é típico de horizontes subsuperficiais (BA e ou parte do Bw ou Bt) de textura média, argilosa ou muito argilosa, encontrado normalmente entre 0,30 e 0,70 m de profundidade, podendo atingir até 1 metro ou pouco mais, sobretudo nos solos com horizonte B textural (JACOMINE, 2001). No estado do Ceará, os horizontes coesos ocorrem geralmente em maiores profundidades e, em geral, associados ao horizonte B textural de Argissolos (LIMA, *et al.*, 2005; VIEIRA *et al.*; 2012).

Em função do material de origem, os teores de Óxido de Ferro III (Fe_2O_3) (ataque com H_2SO_4) são inferiores a 80 g kg^{-1} , com predomínio de goethita, expressando coloração geralmente bruno-amarelada. E, ainda, dependendo do ambiente e das condições de formação destes solos, podem apresentar cores mais pálidas, bruno-amarelada claro, bruno claro acinzentado ou bruno com matiz 10YR, valores 5 e 6 e cromas variando de 3 a 6 (RIBEIRO, 2001).

Além do caráter coeso, existem mais dois atributos que representam forte coesão entre as partículas, os fragipãs e duripãs. Mas o caráter coeso não deve ser confundido com eles, pois são formados por processos pedogenéticos diferentes e apresentam características morfológicas distintas. Na caracterização morfológica de amostras secas de horizontes com caráter coeso, os torrões se desmancham ao serem imersos em água e, quando úmidos, deformam-se lentamente ao serem pressionados. Este comportamento é diferente nos fragipãs, cujo material se rompe em fragmentos menores quando úmidos. Nos duripãs, os fragmentos secos não se esboroam, mesmo depois de prolongado período de umedecimento (JACOMINE, 2001).

2.2.2.1 Formação do caráter coeso

Desde a identificação deste horizonte endurecido denominado “coeso”, diversos estudos foram realizados buscando entender os processos envolvidos na sua formação. A mineralogia é um dos aspectos estudados para explicar a formação do caráter coeso. Moreau *et al.* (2006) propõem que o adensamento em solos dos Tabuleiros Costeiros se origina de um possível ajuste face a face de partículas do solo, principalmente das caulinitas. A formação do caráter coeso por essa via é possível devido aos ciclos de umedecimento e secagem do solo – que provocam movimentos de expansão e contração –, favorecendo a organização das argilas no arranjo descrito pelos autores.

No entanto, estudo de Giarola *et al.* (2009) indicou que o grau de ordenamento da caulinita encontrado em áreas dos Tabuleiros Costeiros não permite associar o empacotamento da fração argila com a ocorrência do caráter coeso nestes solos. O grau de ordenamento da caulinita, encontrado pelos autores em horizontes com e sem caráter coeso, foi similar ou inferior ao grau de ordenamento da caulinita bem cristalizada utilizada como referência. Apesar disso, a hipótese não pode ser descartada para outros ambientes.

Alguns estudos têm apontado que a presença do caráter coeso pode estar associada à relação solo-paisagem. Nos estudos realizados por Dantas *et al.* (2014), essa relação foi utilizada na análise de perfis com caráter coeso, buscando entender a interação entre o relevo e os componentes do solo. Sob essa perspectiva, os autores consideraram que a posição da paisagem foi determinante para a distinção dos solos com o caráter coeso, em que solos sob a pedofoma côncava apresentaram expressão mais efetiva do referido atributo. Na pedofoma côncava, há redução da quantidade de microporos, por se tratar de uma unidade da paisagem de acúmulo de sedimentos, matéria orgânica, nutrientes e água (DANTAS *et al.*, 2014).

O tamanho da partícula de argila também influencia na gênese do caráter coeso. Segundo Corrêa *et al.* (2008), o maior conteúdo de argila muito fina ($< 0,2 \mu\text{m}$) transcolada na forma de argila dispersa, entre os horizontes ou dentro do mesmo horizonte, possibilita a existência de “pontes” de materiais muito finos ligando as partículas do solo, o que resulta em aumento da coesão.

Além do tamanho, a migração de argila e a presença de material grosseiro mal selecionado também são apontados como fatores físicos que influenciam na formação do caráter coeso. A migração de argila das partes superiores para as inferiores contribui para aumentar o contato entre partículas maiores do solo (areia, por exemplo), ocasionando, assim, diminuição da porosidade total do solo (MOREAU *et al.*, 2006; ARAÚJO *et al.*, 2018). Nos *hardsetting*,

que em partes são similares aos horizontes com caráter coeso, a migração de argila dispersa também foi apontada como um fator de formação do atributo (IGWE, ZAREI e STAHR, 2009).

Para entender melhor esta relação entre as frações primárias do solo com o aumento da coesão nos solos, tem-se relacionado a resistência tênsil, que é um atributo que manifesta estreita associação com a coesão de partícula, com as frações areia, argila e silte (IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002; SILVA *et al.*, 2020a). Silva *et al.* (2020a) demonstraram relação positiva entre a resistência tênsil e o teor de argila, e ainda, com o desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi [$\varphi = -\log_2 D_{(mm)}$], que se utiliza dos padrões estatísticos de Folk e Ward (1957) para avaliar a distribuição granulométrica da fração areia. O programa de microcomputador Phi calcula diferentes parâmetros estatísticos dos dados da fração areia (frequência relativa, frequência cumulativa, média e desvio-padrão (JONG VAN LIER; VIDAL TORRADO, 1992).

Apesar de não serem os únicos fatores que contribuem para a formação do caráter coeso, os teores de argila e areia influenciam na gênese deste atributo. A presença de materiais mal selecionados nos solos leva a que os grãos menores sejam acomodados nos espaços entre os grãos maiores, onde também é depositada a argila transcolada, preenchendo assim os poros antes existentes. Isso provoca um empacotamento mais denso das partículas, aumentando a densidade dos horizontes que apresentam o caráter coeso, contribuindo significativamente para a coesão das amostras (ARAÚJO *et al.*, 2018).

A maior densidade reduz a permeabilidade do solo, aumenta as condições de redução, favorece a remoção do ferro e colapsa a estrutura, resultando na formação do horizonte com caráter coeso (LIMA NETO *et al.*, 2009), desde que haja um agente cimentante (ARAÚJO *et al.*, 2018). A redução da permeabilidade do solo pode também promover maior acúmulo de cimentantes, contribuindo para maior coesão (MOTA *et al.*, 2021). Associados à presença dos cimentantes, estão os ciclos de umedecimento e secagem, apontados como uma das causas da formação do caráter coeso (RIBEIRO, 1986), visto que, no período seco, os agentes cimentantes são desidratados.

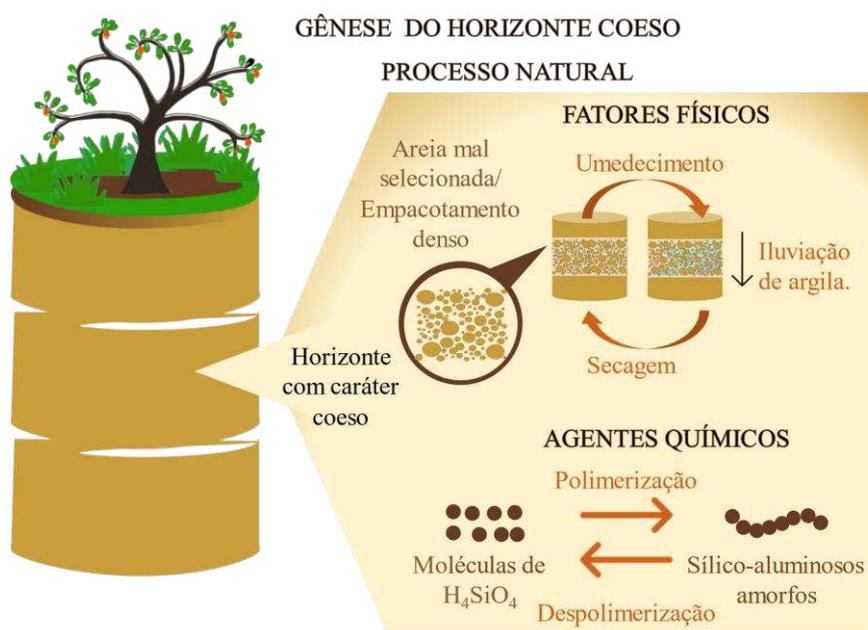
No período seco, o material sílico-aluminoso passa por processo de polimerização e precipitação da sílica, em que as moléculas de H_4SiO_4 adsorvidas precipitam na forma de sílica amorfa ou de outros constituintes sílico-aluminosos amorfos (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001; CHADWICK; HENDRICKS; NETTLETON, 1987). A sílica polimerizada forma “pontes” ligando partículas e levando à máxima expressão da coesão (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001). No período úmido, ocorre a despolimerização da sílica e de outros aluminossilicatos, o que contribui para a condição de

friabilidade dos solos (GIAROLA; SILVA, 2002). Os estudos mais recentes também corroboram o envolvimento de compostos amorfos sílico-aluminosos na gênese do caráter coeso, promovendo cimentação temporária nestes horizontes (MOTA *et al.*, 2021).

Vieira *et al.* (2012), ao compararem solos com e sem caráter coeso, evidenciaram que solos com caráter coeso sem a remoção de compostos amorfos apresentam valores de resistência à penetração significativamente superior àqueles nos quais os compostos amorfos não foram removidos. Estas diferenças demonstram a ação dos compostos amorfos na cimentação temporária e na gênese de horizontes coesos. Moreau *et al.* (2006), estudando a gênese de solos com horizontes coesos no estado da Bahia, não constataram tendência de aumento de teores de sílica e alumínio nos horizontes com caráter coeso. No entanto, por apresentarem um empacotamento fechado, uma pequena quantidade de compostos amorfos foi suficiente para promover efetiva cimentação temporária nesses horizontes.

Diante do exposto, sabe-se atualmente que a formação do caráter coeso ocorre de forma natural e sua gênese está associada a diferentes causas, envolvendo fatores físicos e agentes químicos de maneira conjunta (LIMA NETO *et al.*, 2009; VIEIRA, 2019). A Figura 2 ilustra um conjunto dos fatores físicos e agentes químicos envolvidos na gênese do caráter coeso.

Figura 2 - Ilustração dos fatores físicos e agentes químicos associados à gênese do caráter coeso



Fonte: Elaborada pela autora.

2.2.2.2 Identificação do caráter coeso

A identificação do caráter coeso é feita de forma qualitativa, durante o descritivo da morfologia do solo. No campo, o perfil de solo é analisado para a detecção de horizonte (s) com adensamento. Na análise morfológica, identificam-se a profundidade e o horizonte em que ocorre o adensamento, observando a organização estrutural do solo e a consistência quando seco e úmido. Na avaliação da consistência dos horizontes com caráter coeso, as amostras devem ser de muito duros a extremamente duros (SANTOS, *et al.*, 2018).

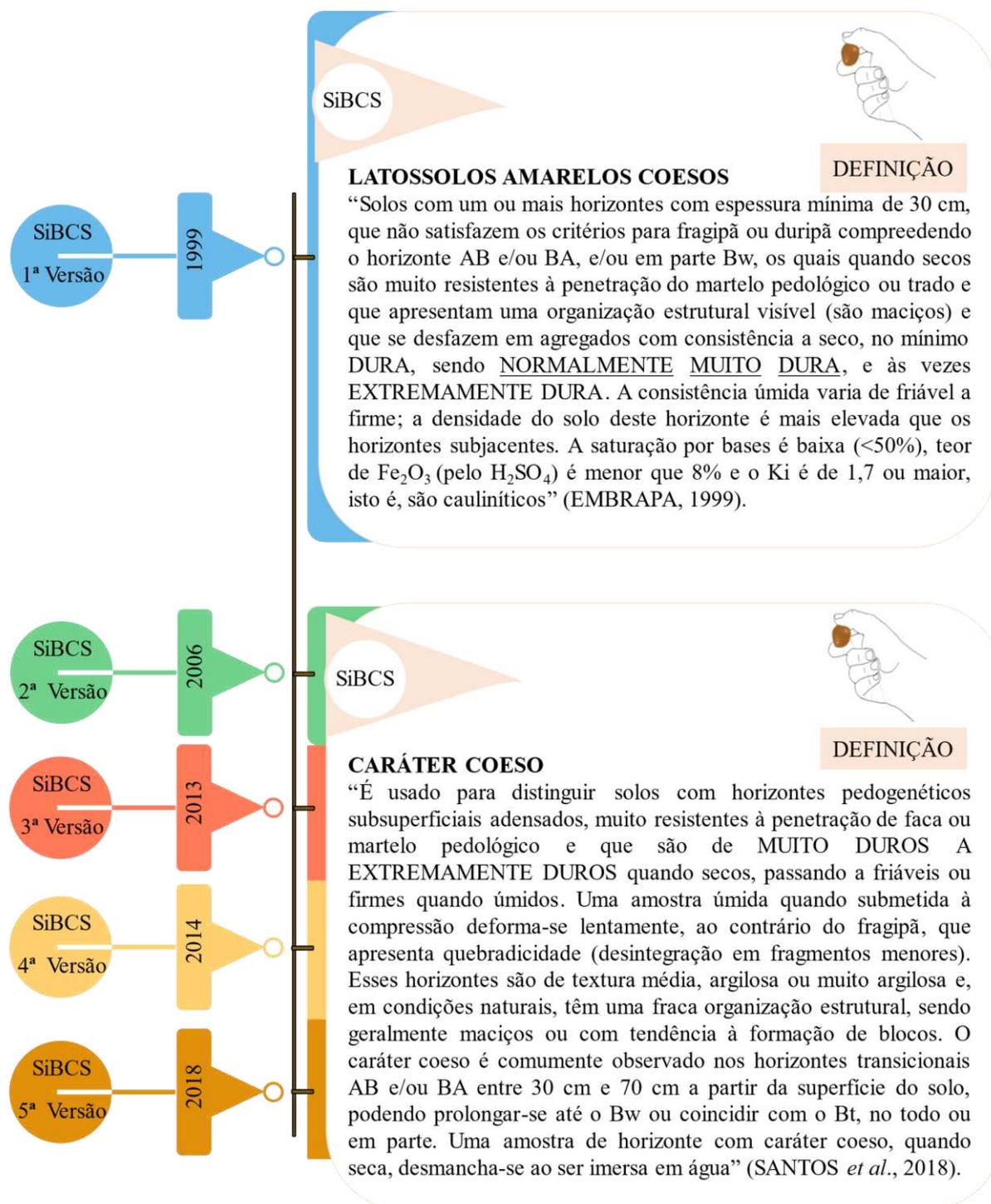
A consistência dura já foi incluída na definição do caráter coeso (EMBRAPA, 1999), mas foi desconsiderada a partir da publicação da segunda versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS), publicada em 2006 (SANTOS *et al.*, 2006). Em levantamento bibliográfico de perfis de solos realizado por Nascimento (2005), usando a palavra “coeso” para identificar os solos com o referido atributo, foram encontrados 44 perfis de Latossolos Amarelos e 16 perfis de Argissolos Amarelos. Ao verificar a dureza presente, os descritivos da morfologia e o grau de friabilidade, o autor concluiu que praticamente todos aqueles perfis não continham o caráter coeso como atributo diagnóstico. Diante deste fato, Nascimento *et al.* (2005) destacaram a necessidade de rever o grau de dureza utilizado na identificação do caráter coeso.

Nas edições posteriores do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, a definição do caráter coeso foi modificada. A primeira referência do caráter coeso no SiBCS é encontrada apenas na classificação dos Latossolos Amarelos. Na segunda versão, a definição do caráter coeso foi atualizada e incorporada ao capítulo “Atributos diagnósticos, outros atributos” do SiBCS, permanecendo inalterada até a última versão publicada – a 5ª versão, de 2018 (Figura 3).

Além da consistência para identificação qualitativa do caráter coeso em solos, é realizada a imersão de pequenos fragmentos do solo seco em água. O solo que apresenta o caráter coeso desmancha-se subitamente ao ser imerso em água e, quando úmido, deforma-se lentamente ao ser pressionado entre os dedos – isso o difere do fragipã e do duripã (ROMERO; LIMA, 2004).

Há também a avaliação de diversos atributos físicos mensuráveis capazes de auxiliar na caracterização do atributo, como também para estabelecer classes de coesão. A densidade do solo é um destes atributos; vale ressaltar que a granulometria do solo deve ser considerada conjuntamente quando da interpretação dos valores de densidade do solo em estudos do caráter coeso (SANTANA *et al.*, 2006).

Figura 3 - Linha do tempo das publicações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e as atualizações da definição do caráter coeso



Fonte: Elaborada pela autora.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi identificada como atributo importante na identificação do caráter coeso – uma vez que há redução significativa da

permissividade do solo à passagem de água nos horizontes com o caráter coeso – embora seja um atributo mais difícil de ser medido (SANTANA *et al.*, 2006).

A resistência à penetração, definida como a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele (PEDROTTI *et al.*, 2001), tem sido indicada para a quantificação do caráter coeso, tendo em vista que é eficiente e de fácil medição no campo (GIAROLA *et al.*, 2003; SANTANA *et al.*, 2006). Nesta mesma perspectiva, está a RT, pois também é um atributo relativamente simples de ser medido e eficiente para diferenciar as propriedades coesivas nos diferentes horizontes dos solos (ARAÚJO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020a).

2.2.2.3 O atributo resistência tênsil

Na determinação da resistência tênsil, é necessário apenas um aparelho que quantifique a força requerida por unidade de área para provocar a ruptura do agregado (DEXTER; KROESBERGEN, 1985).

Os procedimentos para a obtenção das medidas de RT dos agregados podem ser diretos ou indiretos. Na determinação direta, forças de sentido oposto são aplicadas em dois extremos do agregado/torrão, separando-o em duas partes. Os métodos indiretos são mais utilizados nas pesquisas devido à maior facilidade de obter a medida da força de tensão (MUNKHOLM; KAY, 2002).

No método indireto, uma força de compressão é aplicada sobre a amostra por meio de placas paralelas. É chamado de indireto porque a força não é aplicada diretamente ao agregado, e sim em uma placa que transfere a energia para o agregado. A força é aplicada lentamente sobre a placa até aparecer uma fissura no agregado. A RT é, portanto, igual ao valor necessário para quebrar o agregado (DEXTER; KROESBERGEN, 1985).

Nos testes de RT, os agregados maiores são quebrados mais facilmente que os agregados menores (CAUSARANO, 1993). A quebra dos agregados ocorre nas zonas de fraqueza (fissuras e microfissuras). O critério para a definição da ruptura do agregado também influencia a mensuração da RT (BARBOSA; FERRAZ, 2020) – o monitoramento visual para identificar a trinca presente na região equatorial dos agregados é um dos critérios usados na definição de sua ruptura (BARBOSA; FERRAZ, 2020).

A forma e o tamanho do agregado também são importantes na determinação da RT. Em geral, as pesquisas assumem que o agregado submetido à ruptura tem forma esférica

(OLIVEIRA *et al.*, 2021; ÖZTAŞ; SÖNMEZ; CANBOLAT, 1999). O tamanho (diâmetro) é controlado com auxílio de peneiras (ALMEIDA *et al.*, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2018). Além do tamanho, da forma dos agregados e do momento da ruptura, a RT é influenciada por fatores como umidade, matéria orgânica e granulometria. A umidade influencia a friabilidade do solo e, conseqüentemente, sua resistência (TORMENA; ARAÚJO, 2008). Os agregados secos ao ar apresentam menor RT que os agregados secos em estufa (ÖZTAŞ; SÖNMEZ; CANBOLAT, 1999).

Já o maior teor de matéria orgânica leva a uma maior RT devido ao seu efeito agregador nos solos (BARTOLI *et al.*, 1992; GUIMARÃES *et al.*, 2009). No entanto, em condição de manejo que promova aumento da fração lábil da matéria orgânica, constituída por compostos alifáticos de menor força de ligação, a RT é reduzida (FERREIRA *et al.*, 2011).

Solos com elevados teores de argila tendem a apresentar maiores valores de RT; (MATERECHERA *et al.*, 2009; IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002.). A composição mineral e a concentração de íons na solução dos solos também influenciam a avaliação da RT dos agregados (CAUSARANO, 1993; RAHIMI; PAZIRA; TAJIK, 2000).

Os valores de RT em solos com caráter coeso são variáveis. Na literatura, são relatados para os horizontes com caráter coeso no estado da Bahia valores de 36 a 56 kPa (GIAROLA *et al.*, 2003), de 76,65 kPa e 18,88 kPa (LIMA *et al.*, 2005) para, respectivamente, horizontes com e sem o caráter coeso em solos do estado do Ceará.

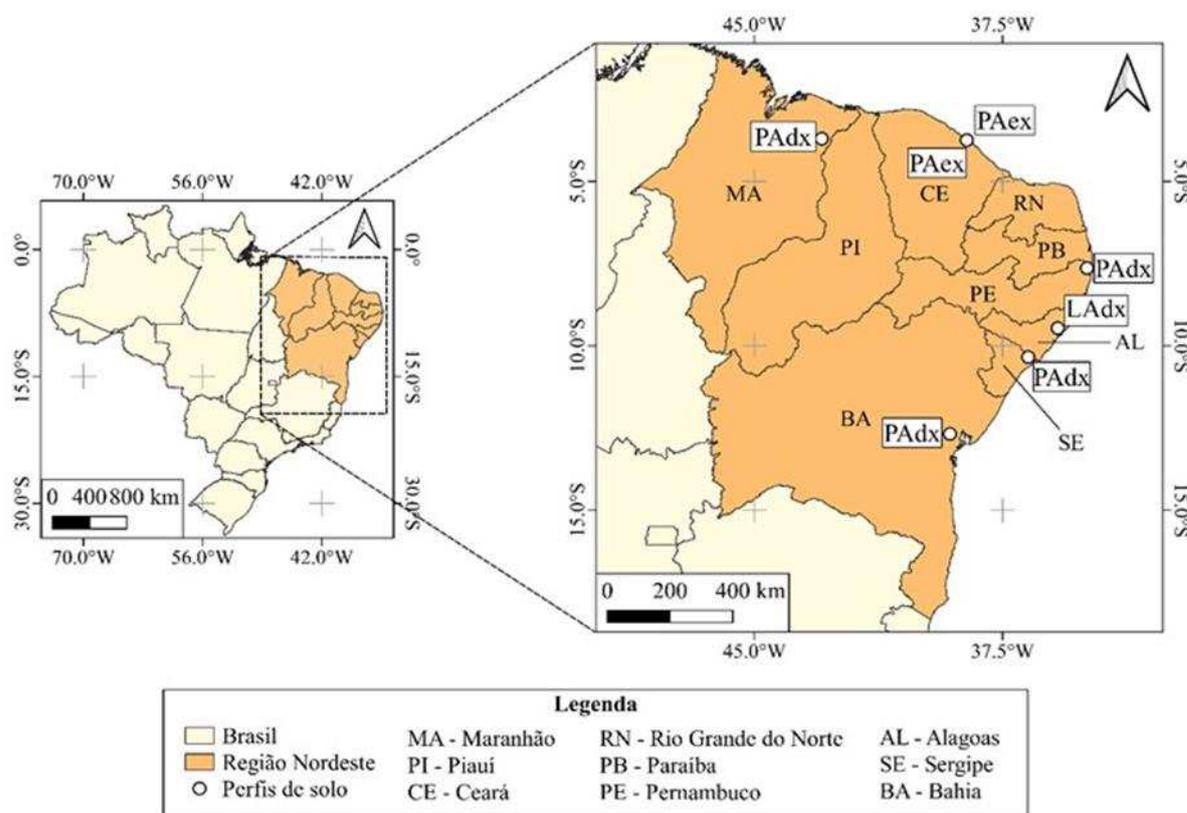
Araújo *et al.* (2018), também em estudos com solos do estado do Ceará, relataram valores de RT diferentes entre horizontes com e sem caráter coeso (52,4 e 28,3 kPa, respectivamente). Neste mesmo estudo, os autores identificaram que a RT varia entre as posições topo, meio e base dos horizontes com caráter coeso, com o decréscimo da RT dos agregados do topo em direção à base.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Locais das coletas dos solos

Os solos utilizados nesta pesquisa pertencem às classes dos Argissolos e Latossolos e foram coletados no Brasil, em sete locais onde a ocorrência do caráter coeso foi registrada em pelo menos um dos horizontes dos solos (ARAÚJO, 2015). Desses, dois locais situam-se no estado do Ceará e os demais, cada um, nos estados de Maranhão, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (Figura 4, Tabela 2).

Figura 4 - Mapa da região Nordeste do Brasil com os locais de coleta das amostras de solos utilizadas neste estudo

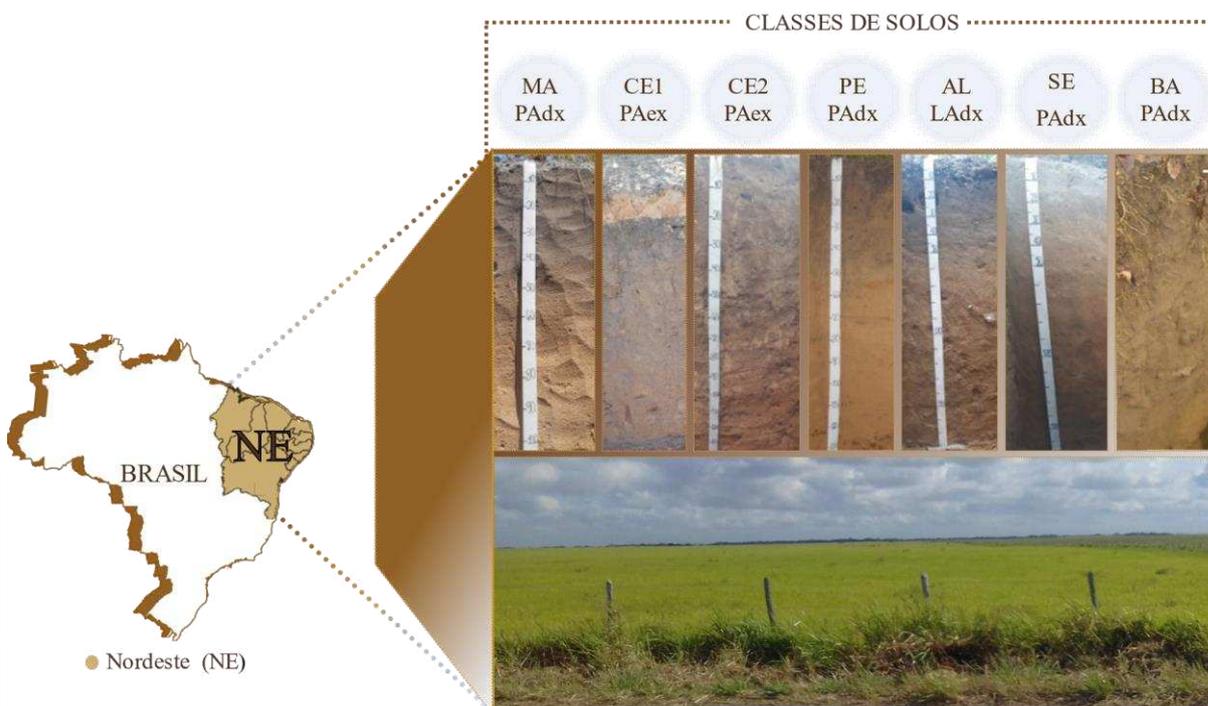


Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx)

Os locais escolhidos apresentam solos já catalogados na literatura com a ocorrência do caráter coeso em pelo menos um de seus horizontes (Figura 5), de modo que a coleta de solos abrangeu os horizontes com e sem o caráter coeso nas posições topo, meio e base.

Figura 5 - Paisagem dos Tabuleiros Costeiros com os perfis de solos nos quais as amostras foram coletadas



Legenda: Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abráptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Os descritivos morfológicos dos horizontes nos quais as amostras foram coletadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos nos quais blocos foram coletados

(continua)

Local/Estado	Classe de solo	Horizonte	Descrição morfológica
Brejo/MA ¹	Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (PAdx)	AB Com caráter coeso	43 – 60 cm, bruno (10YR 5/3, úmido) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, seco), mosqueado pouco, pequeno e médio, distinto, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4); franco-argiloarenosa; maciça e fraca, pequena e média, blocos subangulares e angulares; muito dura a extremamente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
		Bt1 Sem caráter coeso	60 – 100 cm, bruno-claro (7,5YR 6/4, úmido) e rosado (7,5YR 7/3, seco), mosqueado pouco, médio e distinto, bruno-avermelhado-claro (5YR 6/4), e pouco, pequeno e difuso, bruno-claro-acinzentado (2,5Y 7/3); franco-argiloarenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares e angulares, e maciça; dura a muito dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e difusa.
Fortaleza/CE1 ²	Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (PAex)	BE Sem caráter coeso	62 – 96 cm, vermelho-amarelado (10YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (10YR 6/4 seca); franco-argiloarenosa; moderada a forte, média a grandes, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
		Bt1 Com caráter coeso	96 – 145 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/8 úmida), amarelo-avermelhado (7,5YR 7/6 seca); mosqueado médio, comuns, proeminente, amarelo-avermelhado (2,5YR 5/8); franco-argiloarenosa; maciça com tendência à formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.
Fortaleza/CE2 ³	Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (PAex)	Bt1 Sem caráter coeso	63 – 79 cm, bruno (7,5YR 5/4 úmida), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6); franco-argiloarenosa; moderada, média a grande, blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
		Bt2 Com caráter coeso	79 – 112 cm, bruno forte (7,5YR 5/6 úmida), amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6 seca); franco-argiloarenosa; maciça com tendência à formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

Tabela 2 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos nos quais blocos foram coletados

(continuação)

Local/Estado	Classe de solo	Horizonte	Descrição morfológica
Goiana/PE ⁴	Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PAdx)	Bt Com caráter coeso	43 – 70 cm, cinzento-brunado-claro (10YR 6/4; argilo-arenosa; maciça e partes fraca, pequena e média, blocos subangulares; poros comuns, pequenos e poucos médios; muito dura, friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
		Bw Sem caráter coeso	135 – 190 cm+, amarelo (10YR 7/8, seco), mosqueado pouco, médio e proeminente (2,5YR 4/6); argilo-arenosa; fraca, pequena e média, blocos subangulares com aspecto maciço; poroso, muitos poros pequenos e poucos médios; dura, muito friável, plástica e pegajosa.
Rio Largo/AL ⁵	Latosolo Amarelo Distrocoeso argissólico (LAdx)	BA Com caráter coeso	35 – 60 cm, bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); mosqueado pouco, pequeno a médio e difuso bruno forte (7,5YR 5/6); argiloarenosa; fraca, pequena a média, blocos angulares a subangulares e parte maciça; poucos poros pequenos; muito dura, friável a firme, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
		Bw2 Sem caráter coeso	115 – 170 cm+, amarelo-brumado (10YR 6/8) (úmido); argila; fraca, pequena a média, blocos subangulares; muitos poros pequenos; dura; friável, plástica e pegajosa.
Neópolis/SE ⁶	Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (PAdx)	Bt1 Com caráter coeso	25 – 50 cm, amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco), bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); franco-argiloarenosa; fraca, pequena e média, blocos angulares e subangulares e partes maciças; poros comuns pequenos; muito dura a extremamente dura, friável, plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
		Bt3 Sem caráter coeso	95 – 160 cm+, amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmido) mosqueado comum, grande e distinto vermelho-amarelado (5YR 5/6); francoargilosa; fraca, pequena a média, blocos subangulares, poros comuns pequenos; dura a muito dura, friável com partes firmes (mosqueados), plástica e pegajosa.

Tabela 2 - Descrição morfológica dos horizontes dos solos nos quais blocos foram coletados
(conclusão)

Local/Estado	Classe de solo	Horizonte	Descrição morfológica
Cruz das Almas/BA ⁷	Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (PAdx)	Bt1 Com caráter coeso	114 – 148 cm, bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca, pequena e média, blocos subangulares e partes maçicas; dura a muito dura, friável, plástica e pegajosa, transição plana e difusa.
		Bt2 Sem caráter coeso	148 – 190 cm+, bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; fraca, pequena e média, blocos subangulares; dura, friável, plástica e pegajosa.

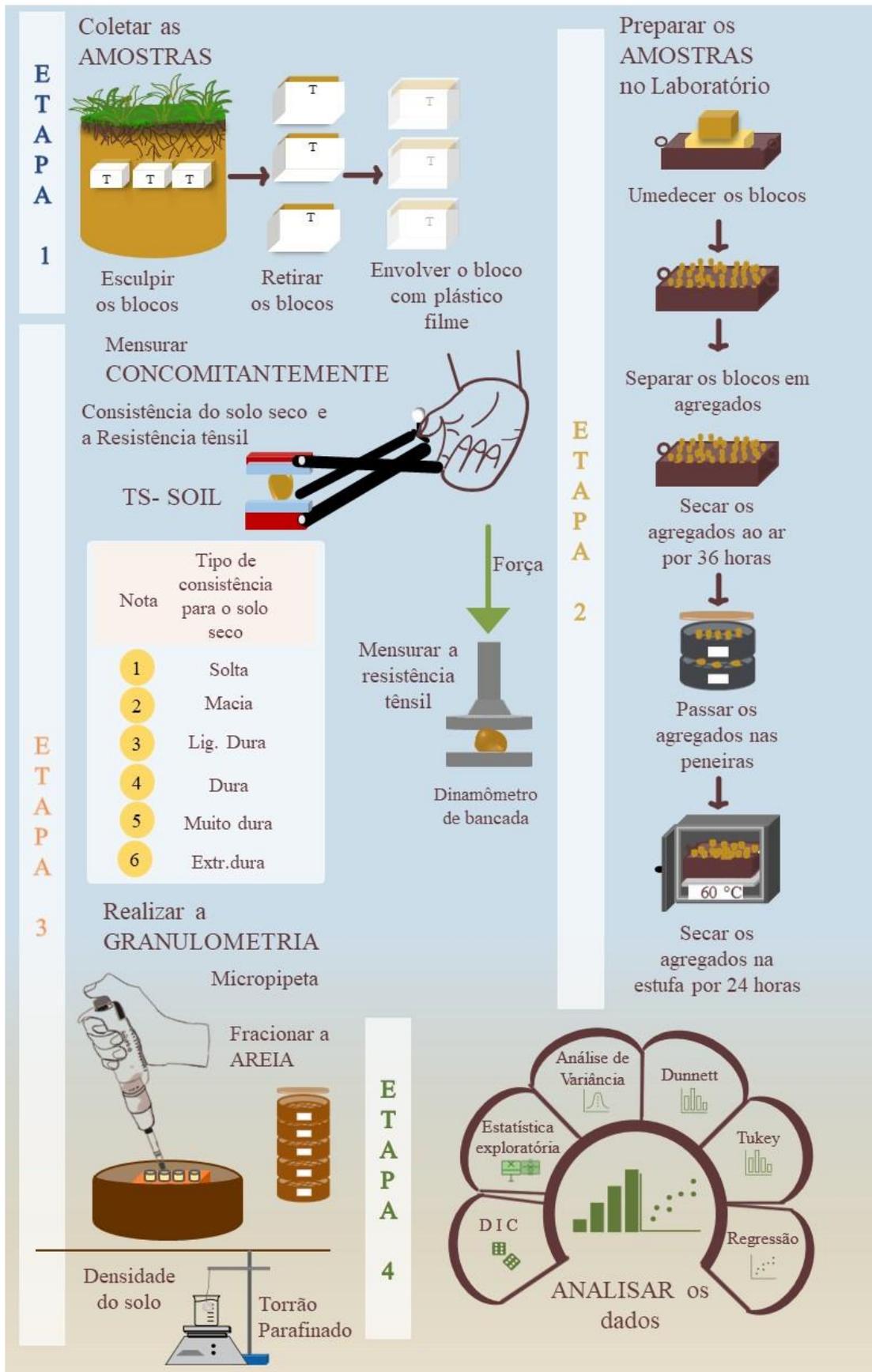
¹SILVA *et al.* (2020b); ²VIEIRA (2013) – ver descritivo I no Apêndice A, ³VIEIRA (2013) ⁴ARAÚJO FILHO, ALMEIDA e ANDRADE (2014); ^{5, 6}ARAÚJO FILHO e LOPES (2019) – ver descritivo II e III no Apêndice A ⁷MELO FILHO e ARAÚJO FILHO (1996); COSTA e LIMA (2019) – ver descritivo IV no Apêndice A.

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2 Etapas da pesquisa

A pesquisa foi realizada em quatro etapas: 1^a) Coleta dos blocos de solos nos locais pré-definidos; 2^a) preparação das amostras no laboratório; 3^a) avaliação concomitantemente à consistência do solo seco e à RT de amostras com o TS-Soil; avaliação da RT com o dinamômetro eletrônico, determinação das frações areia, silte e argila, e da densidade do solo e 4^a) Análise dos dados. A ilustração das etapas está apresentada na Figura 6:

Figura 6 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.1 Coleta dos blocos de solos

Os blocos, com dimensões de 15 x 20 x 10 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente, foram coletados nos locais pré-definidos, em três posições (topo, meio e base) dos horizontes com e sem o caráter coeso de um mesmo perfil. A identificação do horizonte com caráter coeso foi realizada com base na descrição morfológica do perfil de solo. A amostragem por posição foi baseada em Araújo *et al.* (2018), que observaram variabilidade significativa da coesão dentro de um mesmo horizonte. Ainda no campo, os blocos foram envoltos em filmes plásticos (Figura 7).

Figura 7 - Etapas da coleta dos blocos em um perfil de solo: a) abertura da trincheira; b) demarcação e esculpimento dos blocos; c) retirada dos blocos; d) envolvimento dos blocos com filme plástico



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.2 Preparação das amostras

Posteriormente, os blocos foram levados ao laboratório, onde foram colocados em bandejas plásticas forradas com uma espuma, com cerca de dois centímetros de espessura, embebidas em água para proporcionar o umedecimento por capilaridade até aproximadamente a capacidade de campo (ARAÚJO *et al.*, 2018). Em seguida, os blocos foram separados manualmente em torrões, através da aplicação de uma força mínima suficiente para separar as amostras pelos seus pontos de fraqueza.

Para a obtenção das amostras, foi utilizado um conjunto de duas peneiras com aberturas das malhas nas dimensões de 19 e 25 mm (ALMEIDA *et al.*, 2009; ARAÚJO *et al.*, 2018). Para a secagem e uniformização do teor de água, as amostras foram postas para secar ao ar por 36 horas e, posteriormente, levadas para secar na estufa por 24 horas a 60 °C (FIGUEIREDO *et al.*, 2011), Figura 8.

Figura 8 - Etapas da preparação das amostras: a) umedecimento dos blocos, separação dos blocos em amostras e secagem ao ar; b) passagem das amostras nas peneiras; c) secagem das amostras em estufa



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.3 Avaliação dos atributos físicos do solo

3.2.3.1 Avaliação simultânea da RT e da consistência do solo seco

Para identificar os valores de referência de RT que correspondem ao limiar da expressão do caráter coeso em solo seco, utilizou-se o equipamento TS-Soil operado manualmente por cada um dos avaliadores que atuaram na avaliação.

A função manual do equipamento permite mensurar a RT e, simultaneamente, avaliar qualitativamente a consistência do solo seco de macia a extremamente dura (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Essa análise conjunta é possível, uma vez que, tanto para a consistência quanto para a RT, é necessária a aplicação de uma força para quebrar o agregado/torrão.

Para preparar os avaliadores para os ensaios, foi realizado treinamento conduzido pelo avaliador humano com maior experiência (Figura 9). No treinamento de cinco avaliadores humanos, a percepção qualitativa da consistência do solo seco (SANTOS *et al.*, 2015) foi realizada de forma concomitante à mensuração da RT com a atribuição de notas (escores), a saber: 1 – solta, 2 – macia, 3 – ligeiramente dura, 4 – dura, 5 – muito dura e 6 – extremamente dura, como sugerido por Oliveira *et al.* (2020). Cada avaliador em treinamento analisou 25 amostras (5 horizontes de solos x 5 repetições).

No treinamento, o desempenho dos avaliadores humanos de menor experiência na avaliação da consistência do solo seco com o TS-Soil foi similar. Por esta razão, foram selecionados apenas três avaliadores humanos para os ensaios definitivos. O primeiro foi o avaliador humano mais experiente, com 15 anos de experiência; o segundo e o terceiro avaliadores possuíam, cada um, quatro anos de experiência.

Nos ensaios definitivos, cada avaliador analisou 72 amostras por solo (12 do topo, 12 do meio e 12 da base de cada um dos horizontes com e sem caráter coeso). No total, foram avaliadas 1.512 amostras (sete locais x dois graus de coesão x três posições x doze repetições), sendo 504 para cada avaliador.

Na avaliação concomitante, primeiramente, cada amostra teve sua massa calculada em balança analítica. Terminado este procedimento, foram realizados os ensaios de RT, em que cada amostra foi individualmente colocada na posição mais estável no TS-Soil, para, então, o avaliador pressionar a pinça do aparelho para provocar a ruptura. O valor da carga empregado para a ruptura da amostra foi armazenado por um sistema eletrônico de aquisição de dados (Figura 10). Para a definição do momento da ruptura, utilizou-se do monitoramento visual para

identificar a trinca presente na região equatorial das amostras (BARBOSA; FERRAZ, 2020). Depois de cada procedimento de ruptura, uma porção da amostra foi mensurada em balança analítica para, posteriormente, ser submetida à secagem em estufa a 105 °C até massa constante e cálculo do teor de água na amostra de solo.

Figura 9 - Treinamento dos avaliadores conduzido pelo avaliador com maior experiência. a) conjunto de amostras usadas no treinamento com o equipamento TS-Soil; b) avaliador demonstrando a determinação da RT com o uso do TS-Soil; c) participantes do treinamento avaliando a consistência para o solo seco

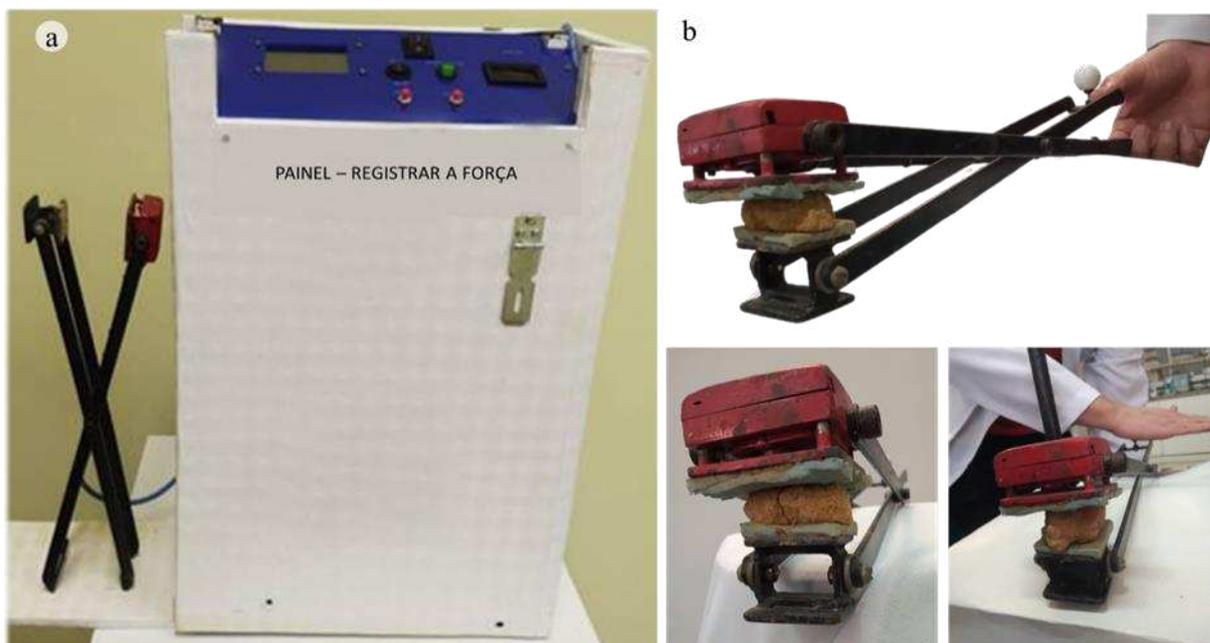


Fonte: Elaborada pela autora.

Concomitantemente, foi realizada a avaliação qualitativa da consistência do solo seco pelos avaliadores, atribuindo os seguintes valores numéricos: 1 - *solta* (não há coesão), 2 - *macia* (fraca coesão, fragmenta-se sob leve pressão), 3 - *ligeiramente dura* (rompe-se facilmente entre os dedos indicador e polegar), 4 - *dura* (moderadamente resistente à pressão, podendo ser quebrado nas mãos, sem dificuldade, mas dificilmente quebrável entre o indicador e o polegar), 5 - *muito dura* (muito resistente à pressão; somente com dificuldade pode ser

quebrado nas mãos; não é quebrável entre o indicador e o polegar), e 6 - *extremamente dura* (não se rompe entre as mãos), como descrito por Santos *et al.* (2015) e Oliveira *et al.* (2020).

Figura 10 - a) Equipamento TS-Soil; b) pinça do equipamento TS-Soil



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.3.2 Avaliação da RT com o dinamômetro eletrônico

Avaliação da RT também foi realizada com o dinamômetro eletrônico, considerado equipamento padrão para a avaliação deste atributo (Figura 11a). Nos ensaios de RT com o dinamômetro eletrônico, cada amostra teve sua massa inicial mensurada; na sequência, foi colocado na posição mais estável entre duas placas metálicas: uma inferior, fixa à base do dinamômetro eletrônico, e outra superior móvel e ligada à extremidade da célula de carga do atuador eletrônico linear, com capacidade de 200 N.

A força aplicada na ruptura de cada amostra foi registrada por um sistema eletrônico de aquisição de dados (Figura 11b). Similar aos ensaios com o TS-Soil, para a definição do momento da ruptura nos ensaios com o dinamômetro eletrônico, utilizou-se do monitoramento visual da trinca da região equatorial das amostras (BARBOSA; FERRAZ, 2020).

Figura 11 - a) Equipamento dinamômetro eletrônico b) monitoramento visual da trinca das amostras com auxílio de espelho



Fonte: Elaborada pela autora.

Depois da ruptura, uma porção da amostra foi mensurada em balança analítica para, posteriormente, ser submetida à secagem em estufa a 105 °C até massa constante e cálculo do teor de água na amostra de solo.

Na avaliação da RT com o dinamômetro eletrônico, foram utilizadas 72 amostras por solo (12 do topo, 12 do centro e 12 da base de cada um dos horizontes com e sem caráter coeso). No total, foram avaliadas 504 amostras (sete locais x dois graus de coesão x três posições x doze repetições).

A RT (RT) obtida em ambos os equipamentos foi calculada, segundo Dexter e Kroesbergen (1985), utilizando a equação 1:

$$RT = \frac{(0,576 P)}{D^2 10^3}, \quad (1)$$

em que RT é a resistência tênsil do agregado (kPa); 0,576 é a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicados e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P é a força aplicada (N), e D é o diâmetro efetivo do agregado (m).

O diâmetro efetivo da amostra foi mensurado pela equação 2 de Watts e Dexter (1998),

$$D = D_m \left(\frac{M}{M_0} \right)^{0,333}, \quad (2)$$

em que D_m é o diâmetro médio do agregado [(19 + 25)/2, em mm], explicado pela média dos tamanhos da abertura das peneiras; M é a massa do agregado individual seco a 105 °C (g); M_0 é a massa média do agregado seco a 105 °C (g).

3.2.3.3 Análise granulométrica e o fracionamento da areia

A quantificação das partículas primárias foi determinada considerando o método da micropipeta para cada amostra que teve a RT mensurada. O método da micropipeta foi proposto por Miller e Miller (1987), com adaptações (QUEIROZ, *et al.*, 2022). Foram utilizados 6 g de solo, aos quais foram adicionados 37 ml de água e 3 mL da solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 1 N para a dispersão química das partículas.

As amostras foram colocadas em tubos de centrífuga de 50 mL para serem agitadas por 14 horas, em mesa com movimento horizontal (120 oscilações por minuto), para promover a dispersão química e mecânica das partículas do solo.

Após o período de agitação, os tubos foram colocados em repouso em banho-maria por 2 horas, em temperatura de 23 °C, objetivando atingir o equilíbrio térmico entre a suspensão e o ambiente. Após o repouso, o tubo teve o seu volume de 50 mL completado com água destilada. Depois, para sua homogeneização, a suspensão foi agitada com bastão de vidro.

A fração argila foi determinada por amostragem de 2,5 mL da solução dispersa, inserindo um pipetador na profundidade de 2,5 cm após tempo de sedimentação, calculado conforme a lei de Stokes (os cálculos foram para a sedimentação na profundidade h de 5 cm; no entanto, conforme recomendação de Mota *et al.* (2019), a inserção da ponta da pipeta foi inserida em $h/2$), Figura 12a. O volume pipetado da solução dispersa foi transferido para um bequer cuja capacidade volumétrica era de 30 mL, e posteriormente, foi colocado em estufa (105 °C, até massa constante) a fim de se determinar a massa da fração argila + dispersante. A prova em branco foi considerada para mensurar o dispersante. A fração areia foi determinada por tamisamento (Figura 12b) e o silte por diferença entre o todo da amostra inicial menos a soma das frações areia e argila.

Figura 12 - a) Amostragem da fração argila; b) separação da fração areia



Fonte: Elaborada pela autora.

O fracionamento da areia foi realizado em cinco classes de tamanho (Figura 13), de acordo com a classificação granulométrica do Manual Soil Survey do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos: muito grossa (≤ 2 mm a > 1 mm); grossa (≤ 1 mm a $> 0,5$ mm); média ($\leq 0,5$ mm a $> 0,25$ mm); fina ($\leq 0,25$ mm a $> 0,105$ mm) e muito fina ($\leq 0,105$ mm a $> 0,053$ mm).

Os dados do fracionamento das areias foram tratados no programa de microcomputador PHI – versão 3.04, desenvolvido por Jong van Lier e Vidal – Torrado (1992). Os dados de entradas no programa são as porcentagens absolutas de cada fração granulométrica na amostra e seu correspondente diâmetro na escala Phi [$\phi = -\log_2 D(\text{mm})$]. Com a transformação dos diâmetros das classes em mm para escala Phi, tem-se ϕ de ≤ 2 a $> 1\text{mm} = \phi$ de ≤ -1 a > 0 ; ϕ de ≤ 1 a $> 0,5$ mm = ϕ de ≤ 0 a > 1 ; ϕ de $\leq 0,5$ a $> 0,25$ mm = ϕ de ≤ 1 a > 2 ; ϕ de $\leq 0,25$ a $> 0,105$ mm = ϕ de ≤ 2 a $> 3,25$ e ϕ de $\leq 0,105$ a $> 0,053$ mm = ϕ de $\leq 3,25$ a $4,30$.

Figura 13 - a) Fracionamento da areia em cinco classes; b) transferência da areia para pesagem; c) pesagem da areia



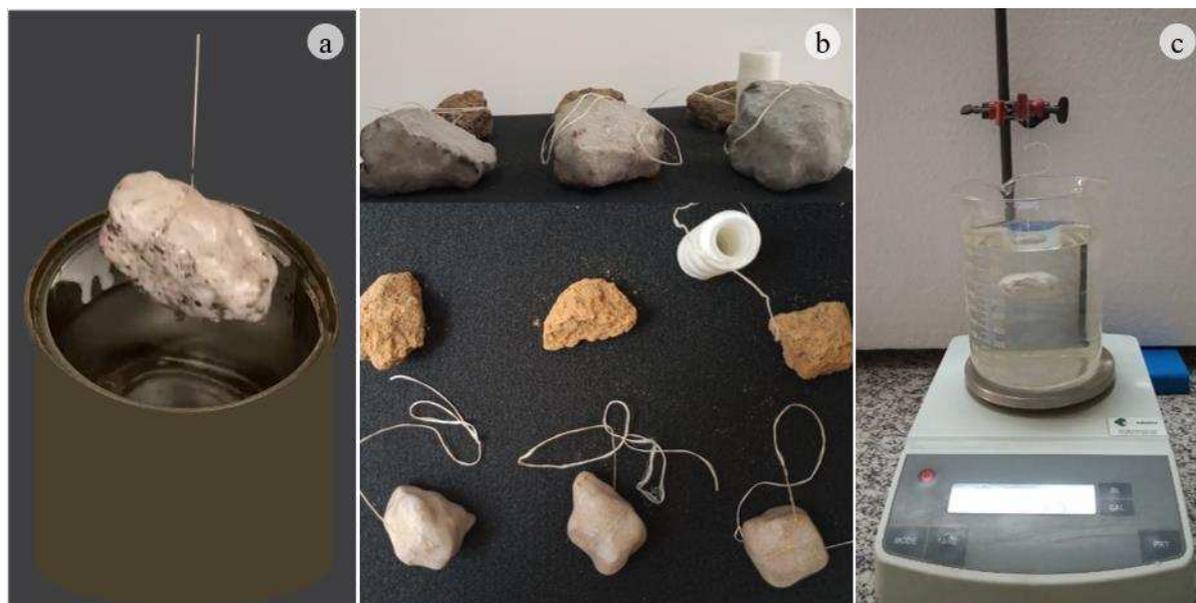
Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.3.4 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada considerando o método do torrão parafinado (AL-SHAMMARY *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2009). Este método consiste em coletar torrões de volume variável, secos ao ar, e impermeabilizá-los em parafina líquida. Foram utilizadas amostras de massa conhecida e com diâmetro entre 19 e 25 mm. Cada torrão foi amarrado em uma linha (também com massa conhecida) e imerso em parafina com temperatura entre 60 e 65 °C, por aproximadamente dez segundos (Figura 14).

Após o revestimento, cada amostra impermeabilizada foi aferida quanto à massa. Na sequência, o volume de cada amostra foi determinado considerando o volume de água deslocado por eles quando imersos em água, segundo o princípio de Arquimedes (ALMEIDA *et al.*, 2009; BLAKE, 1965). Em seguida, uma fração de cada amostra foi seca em estufa, a 105 °C e até massa constante, para a determinação da umidade. Os procedimentos de cálculo consideraram a definição física de densidade, isto é, a razão entre massa de solo seco a 105 °C e o volume do agregado/torrão.

Figura 14 - a) Amostra imersa na parafina; b) amostra impermeabilizada em parafina líquida; c) imersão da amostra em água



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.4 Análise dos dados

Normalidade e homogeneidade dos dados

A tendência dos dados à normalidade e à homogeneidade foi verificada. Além disso, utilizou-se do teorema do limite central (TLC) para garantir que o número de amostras utilizadas (N) foi suficiente para aproximar os dados à distribuição normal (PEK; WONG; WONG, 2018; WARRICK; NIELSEN, 1980). Para isso, considerou-se a equação 3 (WARRICK; NIELSEN, 1980)

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot DP^2}{d^2}, \quad (3)$$

em que N é o número de amostras; t é o valor tabelado da distribuição t de Student em função do grau de liberdade (∞) e do nível de significância (α); DP é o desvio-padrão; d é a variação permitida em torno da média (correspondente ao produto entre a média aritmética e a porcentagem de variação máxima permitida – entre 5 a 10 %). Na determinação do número de amostras, utilizou-se o t de 1,96 e o α de 0,05. Todas as análises foram feitas no software Statistical Analysis System (SAS) University Version (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2012–2018).

Os dados foram avaliados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade (teste de Levene). A normalidade dos resíduos foi constatada para as variáveis RT das amostras, umidade, frações areia (incluindo o fracionamento), silte, argila e densidade do solo. Os coeficientes de assimetria se mantiveram na faixa de -1 a +1, o que permite inferir que a premissa da normalidade dos resíduos foi atendida (WEBSTER; LARK, 2019).

Além disso, o número de amostras utilizadas em todos os ensaios foi superior a número mínimo capaz de aproximar um conjunto de dados para uma distribuição normal (PEK; WONG; WONG, 2018), preconizada pelo teorema do limite central (WARRICK; NIELSEN, 1980). Vale destacar que um número grande suficiente de amostras permite inferir sobre qualidade robusta dos dados de RT (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Escala de referência para o diagnóstico do caráter coeso em solo seco

Os dados de RT foram analisados em delineamentos inteiramente aleatorizados em cada um dos setes solos com três avaliadores + controle (dinamômetro eletrônico), e 36 repetições, totalizando 144 amostras para os horizontes com caráter coeso e 144 para os horizontes sem caráter coeso de cada solo. Considerando a equação de Warrick e Nielsen (1980), tem-se na Tabela 3 o número mínimo de amostras necessárias para cada horizonte de solo e, assim, as 144 amostras utilizados em cada horizonte de solo foram suficientes em face dos critérios adotados.

Foram calculados a média, o desvio-padrão e os coeficientes de variação (%) e de assimetria. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey e Dunnett, com significância de 5%). Também foi realizada a análise de componentes principais para caracterizar os tratamentos.

Para os dados da avaliação qualitativa da consistência do solo seco, foram determinados a frequência das notas e os valores médios de RT mensurados pelos avaliadores associados às notas. Adicionalmente, os valores atribuídos na avaliação qualitativa da consistência pelos avaliadores foram relacionados com os dados de RT.

Tabela 3 - Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e o número mínimo de amostras necessárias para os ensaios de RT nos horizontes com e sem caráter coeso

Local - Classe de solo	Com caráter coeso				Sem caráter coeso			
	DP ¹	\bar{x}^2	d ³	N ^o agregados/ torrões	DP ¹	\bar{x}^2	d ³	N ^o agregados/ torrões
	-----kPa-----				-----kPa-----			
MA-PAdx	25,97	81,32	8,13	39	19,95	50,79	5,08	59
CE1-PAex	25,76	68,68	6,87	54	16,81	50,17	5,02	43
CE2-PAex	27,39	83,96	8,39	41	25,83	52,26	5,23	94
PE-PAdx	19,98	73,59	7,35	28	11,33	26,68	2,67	69
AL-LAdx	21,77	65,41	6,54	43	20,84	52,00	5,20	62
SE-PAdx	25,18	87,21	8,72	32	23,68	60,87	6,09	58
BA-PAdx	17,41	43,50	4,35	62	24,30	53,97	5,40	78

¹DP é o desvio-padrão; \bar{x}^2 média aritmética; d³ é a variação permitida em torno da média (correspondente ao produto entre a média aritmética (\bar{x}) e a porcentagem de variação máxima permitida, 10%). Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

O atributo RT na identificação do caráter coeso

Os dados de RT foram analisados considerando o delineamento inteiramente aleatorizado. Considerou-se o esquema fatorial 7 x 2, com sete solos e dois graus de coesão, com 36 repetições, totalizando 504 amostras para cada avaliador. O número mínimo de amostras necessárias neste esquema fatorial para cada avaliador está apresentado na Tabela 4, de modo que as 504 amostras para cada avaliador foram suficientes em face dos critérios adotados.

Tabela 4 - Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e número mínimo de amostras necessárias para os ensaios de RT, considerando os avaliadores

Avaliadores	DP ¹	\bar{x}^2	d ³	Número mínimo de amostras
	----- kPa -----			
Dinamômetro eletrônico	20,71	52,80	5,28	59
Avaliador humano 1 (equipamento TS-Soil)	21,63	64,92	6,49	43
Avaliador humano 2 (equipamento TS-Soil)	23,58	61,80	6,18	56
Avaliador humano 3 (equipamento TS-Soil)	22,94	63,43	6,34	50

¹DP é o desvio-padrão; \bar{x}^2 é a média aritmética; d³ é a variação permitida em torno da média (correspondente ao produto entre a média aritmética (\bar{x}) e a porcentagem de variação máxima permitida, 10%).

Foram calculados a média, o desvio-padrão e os coeficientes de variação (%) e de assimetria. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey).

Variação da RT ao longo dos horizontes (topo, meio e base) com e sem caráter coeso

Para a avaliação do comportamento da RT ao longo dos horizontes, utilizou-se o delineamento inteiramente aleatorizado em esquema fatorial 7 x 3 (sete solos e três posições: topo, meio e base), com 12 repetições, para horizontes com e sem caráter coeso. No total, foram usadas 252 amostras dos horizontes com o caráter coeso e 252 amostras sem caráter coeso em cada equipamento. O número mínimo de amostras necessárias para os horizontes com e sem o caráter coeso está apresentado na Tabela 5, de modo que as 252 amostras para cada avaliador foram suficientes em face dos critérios adotados.

Tabela 5 - Parâmetros da equação de Warrick e Nielsen (1980) e número mínimo de amostras para os ensaios de RT com os equipamentos, considerando as posições topo, meio e base dos horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC)

Horizonte	Avaliadores	DP ¹	\bar{x}	d ²	Número mínimo de amostras
		----- kPa -----			
CCC	Dinamômetro eletrônico	21,93	63,80	6,38	45
	Avaliador 1 (equipamento TS-Soil)	20,08	75,94	7,59	27
	Avaliador 2 (equipamento TS-Soil)	21,73	73,47	7,35	34
	Avaliador 3 (equipamento TS-Soil)	22,44	74,61	7,46	35
SCC	Dinamômetro eletrônico	15,85	41,85	4,19	55
	Avaliador 1 (equipamento TS-Soil)	19,86	53,91	5,39	52
	Avaliador 2 (equipamento TS-Soil)	21,23	50,13	5,01	69
	Avaliador 3 (equipamento TS-Soil)	21,69	52,25	5,23	66

¹DP é o desvio-padrão; \bar{x} é a média aritmética; d² é a variação permitida em torno da média (correspondente ao produto entre a média aritmética (\bar{x}) e a porcentagem de variação máxima permitida, 10%).

Foram determinados a média, desvio-padrão, coeficiente de variação (%) e o coeficiente de assimetria. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey).

Além disso, foi adotado o esquema fatorial 7 x 2 x 3, sete solos, dois graus de coesão e três posições, com 48 repetições, totalizando 2.016 amostras. No cálculo do número de amostras consideram-se: 2.015 graus de liberdade com respectivo valor de t de 1,96 (nível de significância a 5%), desvio-padrão (DP) de 25,81%, e variação permitida em torno da média

(d) de 6,07, obtida pelo produto entre a média aritmética (60,75 kPa) e a porcentagem de variação permitida (10%). O número mínimo de amostras foi 69, portanto, menor que as 2.016 amostras utilizadas.

Granulometria e o fracionamento de areia

Os dados da granulometria e fracionamento da areia foram analisados considerando o delineamento inteiramente aleatorizado, em esquema fatorial 7 x 2 x 3 (sete solos, dois graus de coesão, três posições no horizonte), com doze repetições, totalizando 504 amostras. Para a avaliação da granulometria, considerando a equação de Warrick e Nielsen (1980), foram necessárias no mínimo 214 amostras (Tabela 6). Portanto, o número de amostras utilizadas nas análises, 504, foi suficiente para atender os critérios estatísticos definidos previamente.

Tabela 6 - Parâmetros usados na equação de Warrick e Nielsen (1980) e número de amostras para os ensaios de quantificação das frações areia, silte, argila e fracionamento da areia

Variáveis	DP ¹	\bar{x}^2	d ³	Número mínimo de amostras
	----- g kg ⁻¹ -----			
Areia	25,64	572,08	28,60	3
Silte	34,73	93,06	4,65	214
Argila	38,10	334,87	16,74	20
Areia muito grossa	0,06	0,245	0,01	79
Areia grossa	0,06	0,57	0,03	18
Areia média	0,16	1,23	0,06	26
Areia fina	0,15	1,07	0,05	33
Areia muito fina	0,08	0,29	0,01	125

¹DP é o desvio-padrão; \bar{x}^2 é a média aritmética; d³ é a variação permitida em torno da média (correspondente ao produto entre a média aritmética (\bar{x}) e a porcentagem de variação máxima permitida, 5%).

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey, com significância de 5%). Adicionalmente, os valores de areia, silte e argila foram relacionados com os dados de RT, a fim de se verificar a associação por meio da regressão entre as variáveis.

Umidade do solo

Os dados de umidade foram analisados em delineamentos inteiramente aleatorizados com sete locais, com 288 repetições, totalizando 2.016 amostras. Na análise da

umidade, ao considerar a equação $N = (t_{\alpha}^2 \cdot DP^2) \cdot d^{-2}$ (WARRICK; NIELSEN, 1980), seriam necessárias pelo menos 82 amostras para aproximar os resíduos a uma distribuição normal (no estudo foram utilizadas 288 amostras de cada solo). Para o cálculo do número de amostras, o desvio-padrão (DP) foi de 0,30 %, e a variação permitida em torno da média (d) foi de (0,06), obtida pelo produto entre a média aritmética (0,65) e a porcentagem de variação permitida (10%). Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey, com significância de 5%).

Adicionalmente, os dados de umidade de cada solo foram relacionados com os dados de RT, a fim de descrever a relação entre eles.

Densidade do solo

A avaliação foi realizada considerando o delineamento inteiramente aleatorizado, em esquema fatorial 7 x 2 x 3 (sete solos, dois graus de coesão, três posições no horizonte), com doze repetições, totalizando 504 amostras.

Na avaliação da densidade do solo em horizontes com e sem caráter coeso, seriam necessárias pelo menos 16 amostras para garantir resultados que atendem aos critérios definidos quando da aplicação da equação $N = (t_{\alpha}^2 \cdot DP^2) \cdot d^{-2}$ (WARRICK; NIELSEN, 1980). Para o cálculo do número de amostras, o desvio-padrão (DP) foi de 0,061 g cm⁻³ e a variação permitida em torno da média (d) de (0,03 g cm⁻³), obtida pelo produto entre a média aritmética (1,52 g cm⁻³) e a porcentagem de variação permitida em torno dela (2%).

Foram utilizadas 504 amostras na determinação da densidade do solo – portanto, maior que o número de amostras necessárias. Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F) e de comparações múltiplas de médias (teste de Tukey, com significância de 5%). Adicionalmente, os valores foram aferidos com os dados de RT quanto à regressão. Os resultados e discussão serão apresentados na próxima sessão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Escala de referência para identificação do caráter coeso em solos dos Tabuleiros Costeiros

4.1.1 O dinamômetro eletrônico versus avaliadores humanos (com o equipamento TS-Soil) na quantificação da RT

Os dados de RT mostraram diferenças significativas, conforme se constatou por meio da análise de variância (Tabela 7, Apêndice B – Tabela 34 e Tabela 35), exceto no Argissolo Amarelo do estado do Ceará (CE1-PAex com caráter coeso) e no Argissolo Amarelo dos estados de Pernambuco e Sergipe (PAdx sem caráter coeso).

Tabela 7 - Teste F e Coeficiente dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC)

Local-Classe de solo	F		Coeficiente de assimetria	
	CCC	SCC	CCC	SCC
MA-PAdx	4,04*	3,14*	0,28	0,76
CE1-PAex	1,06 ^{ns}	3,96*	0,19	0,58
CE2-PAex	2,81*	4,27*	-0,14	0,25
PE-PAdx	8,36*	1,47 ^{ns}	0,15	0,72
AL-LAdx	2,84*	4,14*	0,25	0,59
SE-PAdx	2,77*	2,41 ^{ns}	0,25	0,57
BA-PAdx	4,81*	3,37*	0,55	0,41

*Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

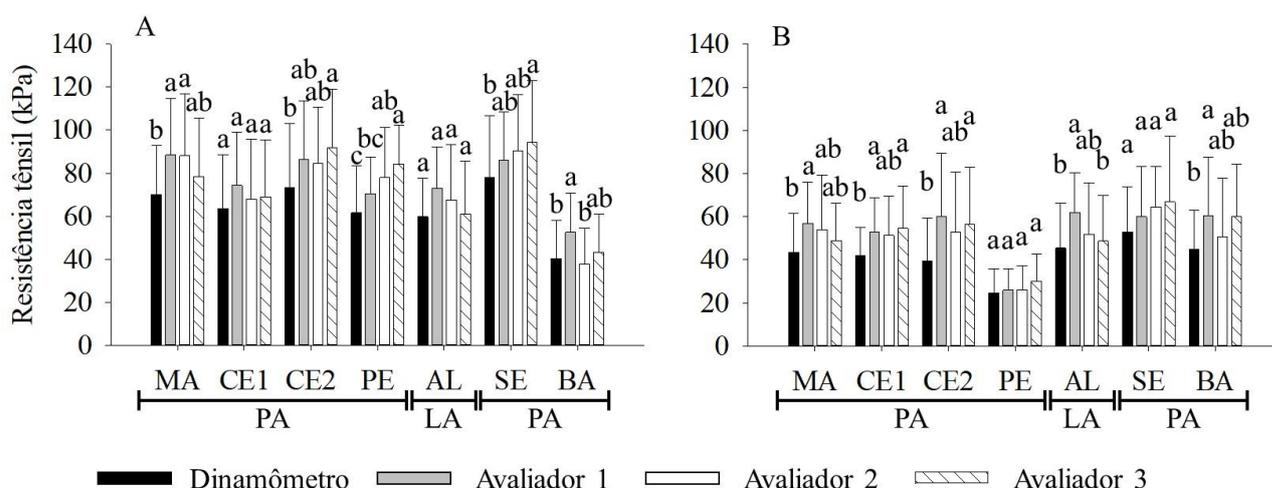
Fonte: Elaborada pela autora.

O contraste de médias está apresentado na Figura 15. Nos horizontes com caráter coeso (Figura 15A) para o Argissolo do estado do Maranhão (PAdx), os dados obtidos pelos avaliadores humanos 1 e 2 não diferiram dos obtidos pelo avaliador humano 3, mas foram superiores ao obtido no dinamômetro eletrônico. Para o Argissolo Amarelo do estado do Ceará (CE2-PAex), diferenças significativas foram observadas entre o avaliador humano 3 e o dinamômetro eletrônico. Porém, o valor médio da RT não se diferenciou significativamente

entre os avaliadores humanos. Para os demais Argissolos Amarelos (PE-PAdx, SE-PAdx e BA-PAdx), foram identificadas diferenças ao menos entre um dos quatro avaliadores.

Nos horizontes sem caráter coeso (Figura 15B), se, por um lado, entre os métodos de avaliação não divergiram na quantificação da RT das amostras dos Argissolos Amarelos dos estados de Pernambuco e Sergipe (PAdx), por outro lado, diferenças significativas foram identificadas para os demais solos avaliados (MA-PAdx, CE1 e CE2-PAex, AL-LAdx e BA-PAdx). Os menores valores de resistência tênsil do BA-PAdx estão de acordo com a descrição morfológica de campo.

Figura 15 - Valores médios de RT dos avaliadores para cada solo estudado nos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)



As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na classe de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex); Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

As diferenças observadas entre os avaliadores humanos, e deles com o dinamômetro eletrônico no processo de quantificação da RT das amostras, têm justificativa. Por mais que na aleatorização das amostras se busque o melhor controle das fontes de variação, é impossível regular plenamente todas elas. Como visto na literatura, o tamanho e o formato do agregado/torrão, umidade no momento da ruptura, quantidade de matéria orgânica e granulometria são fontes importantes de variabilidade de dados de RT (ÖZTAŞ; SÖNMEZ; CANBOLAT, 1999).

Analisando as possibilidades de fontes de variação descritas anteriormente, o formato não foi objeto de controle, mas assumiu-se que as amostras eram esféricas. O tamanho (diâmetro) de todos eles foi controlado e variou entre 19 e 25 mm.

Ao comparar as médias dos avaliadores humanos (que utilizaram o TS-Soil para quantificar a RT das amostras) com o dinamômetro eletrônico (equipamento padrão) pelo teste de Dunnett (Tabela 8), em 70% das comparações para os horizontes com caráter coeso, e em 57% para os sem caráter coeso, não foram encontradas diferenças significativas.

Tabela 8 - Comparação pelo teste de Dunnett entre a RT mensurada pelos avaliadores no TS-Soil e a mensurada em dinamômetro eletrônico para os horizontes com e sem caráter coeso

Local- Classe de solo	Contraste de médias	Diferença entre médias (kPa)	
		Com caráter coeso	Sem caráter coeso
MA- PAdx	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	18,39*	13,58*
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	18,03*	10,54 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	8,39 ^{ns}	5,48 ^{ns}
CE1- PAex	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	10,85 ^{ns}	10,91*
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	4,29 ^{ns}	9,31 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	5,62 ^{ns}	12,61*
CE2- PAex	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	13,11 ^{ns}	20,54*
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	11,12 ^{ns}	13,30 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	18,29*	17,11*
PE- PAdx	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	8,89 ^{ns}	2,09 ^{ns}
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	16,37*	2,24 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	22,56*	6,15 ^{ns}
AL- LAdx	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	13,34*	16,51*
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	7,89 ^{ns}	6,41 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	1,37 ^{ns}	3,23 ^{ns}
SE- PAdx	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	8,25 ^{ns}	6,26 ^{ns}
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	12,63 ^{ns}	11,52 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	16,44*	13,96*
BA- PAdx	Avaliador 1 x Dinamômetro eletrônico	12,13*	15,27*
	Avaliador 2 x Dinamômetro eletrônico	-2,64 ^{ns}	5,44 ^{ns}
	Avaliador 3 x Dinamômetro eletrônico	2,89 ^{ns}	15,04*

*Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Em geral, houve aumento da média da RT determinada pelos avaliadores humanos para os horizontes com e sem caráter coeso, como visto na Figura 15. Esse resultado é explicado pelo fato de os avaliadores humanos continuarem pressionando involuntariamente o equipamento TS-Soil, mesmo após a ruptura do agregado/torrão. No dinamômetro eletrônico,

os ensaios são realizados a uma velocidade constante ($0,03 \text{ mm s}^{-1}$), o que não é possível com o uso na função manual do TS-Soil. Como o agregado se rompe abruptamente em resposta à força aplicada, o avaliador humano não interrompe a aplicação da força instantaneamente (há um *delay*, ainda que em fração de pouquíssimo tempo, até que o cérebro comande para cessar a aplicação da força, de modo que, nessa fração de tempo, a força continua sendo exercida sobre o material que já se rompeu anteriormente).

É importante esclarecer que, após a ruptura, as amostras ficam divididas ao meio, e a força para quebrar cada parte será em torno de duas vezes maior que a anterior, seguindo sempre esse padrão – como na fração de tempo relatada não houve a ruptura do agregado que se dividiu ao meio, a maior RT registrada foi relativa apenas à maior força aplicada imediatamente após a fratura da amostra.

Para determinar a força de ruptura, tanto nos ensaios com o dinamômetro quanto com os avaliadores humanos utilizando o TS-Soil, recorreu-se a uma padronização cuidadosa na identificação da trinca na região equatorial das amostras (BARBOSA; FERRAZ, 2020). Portanto, o aumento da RT nos ensaios com TS-Soil manuseado pelos avaliadores está mais relacionado à taxa de deslocamento do equipamento do que com possíveis dificuldades na identificação visual da fissura no agregado. Aqui cabe ressaltar que ambos os equipamentos utilizados (o dinamômetro e o TS-Soil) não diferem estatisticamente no processo da quantificação da RT das amostras (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

4.1.2 Umidade do solo e a granulometria

Os dados de umidade mostraram diferenças significativas, conforme constatado pela análise de variância (Tabela 9).

Tabela 9 - Coeficiente de assimetria e análise de variância para os dados de umidade para as amostras estudadas (n = 2016)

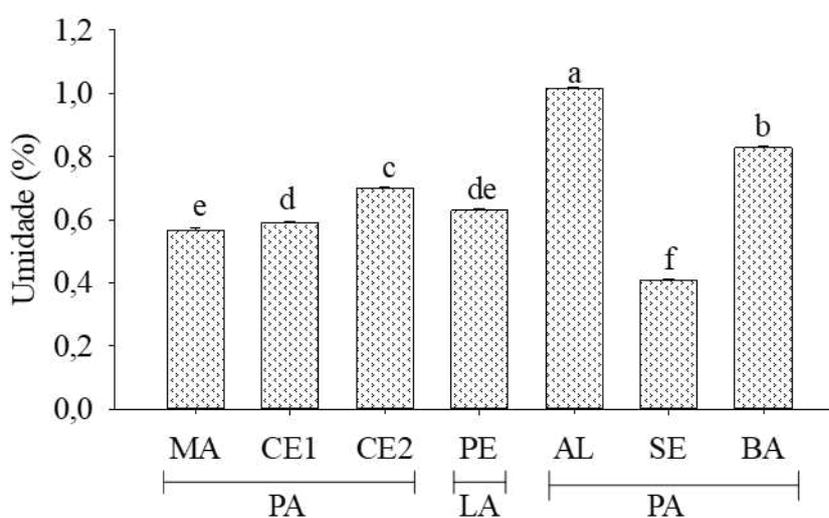
Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Umidade	-0,38	Tratamentos	6	72,861	12,143	223,83*
		Resíduo	2009	108,996	0,054	
		Total	2015	181,8580414		

¹Coeficiente de assimetria; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrados; ⁴Quadrados médios; ⁵Teste F; *Significativo a 5%.

Fonte: Elaborada pela autora.

O contraste de médias de umidade à base de massa por Tukey, a 5% de significância (Figura 16), indicou que as amostras do Latossolo Amarelo do estado de Alagoas (AL-LAdx) (BA-PAdx), com 0,79%. Na sequência, as amostras do Argissolo Amarelo do estado do Ceará (CE2-PAex) apresentaram umidade de 0,67%, não diferindo estatisticamente dos valores observados para o Argissolo Amarelo do Ceará (CE1, com 0,60%). Este, por sua vez, apresentou umidade das amostras que não diferiu do Argissolo Amarelo de Pernambuco (PE-PAdx) (0,57%). Este último foi estatisticamente semelhante ao Argissolo Amarelo do estado do Maranhão MA-PAdx (0,52%). O solo com a menor umidade foi o Argissolo de Sergipe, com 0,38%. As umidades encontradas nas amostras estão coerentes com as constatadas por Queiroz *et al.* (2023) para os mesmos solos.

Figura 16 - Valores médios da umidade das amostras para cada um dos solos



As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas entre as classes de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Ainda quanto à umidade das amostras, embora ela influencie a RT (CAUSARANO, 1993), as diferenças entre as médias do atributo RT não estão relacionadas com a umidade. Na análise de regressão entre a RT e a umidade das amostras de cada um dos solos, os modelos não foram significativos ($P > F$). Portanto, a umidade não influenciou a variabilidade de dados entre avaliadores (Tabela 10 Apêndice B – Tabela 36).

As diferenças dos teores de água entre amostras foram minimizadas pelo procedimento de secagem das amostras em estufa a 60 °C (FIGUEIREDO *et al.*, 2011). Guimarães *et al.* (2009) não observaram diferenças significativas entre as médias do teor de água entre as amostras secas a 40 °C.

Com relação à granulometria, constatou-se efeito significativo isolado de algumas frações (notadamente areia e argila) sobre a RT das amostras da maioria dos solos estudados (Tabela 10 Apêndice B – Tabelas 37, 38 e 39).

Tabela 10 - Análise de variância da regressão entre a umidade, fração areia, silte e argila e a RT das amostras dos solos estudados

Local-Classe de solo	F			
	Umidade	Areia	Silte	Argila
MA-PAdx	3,58 ^{ns}	16,26*	1,58 ^{ns}	9,71*
CE1-PAex	2,26 ^{ns}	29,35*	1,87 ^{ns}	14,81*
CE2-PAex	0,53 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,66 ^{ns}	1,73 ^{ns}
PE-PAdx	0,17 ^{ns}	40,49	10,32	16,61*
AL-LAdx	0,01 ^{ns}	5,60*	1,79 ^{ns}	9,15
SE-PAdx	1,49 ^{ns}	9,05*	0,06 ^{ns}	8,26*
BA-PAdx	0,69 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,76 ^{ns}

^{ns}Não significativo. *Significativo a 5%. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao se analisar os valores de r^2 (Tabela 11) do modelo de estimativa da RT das amostras em função das frações granulométricas, constata-se que, apesar da influência das frações areia e argila, principalmente, estas não explicam isoladamente os dados obtidos. Por exemplo, no melhor dos casos, a fração areia explica apenas 36,6% da variabilidade dos dados da RT (Tabela 11). A contribuição não significativa do silte provavelmente está relacionada ao baixo teor desta fração (variando aproximadamente de 130 g kg⁻¹ a 70 g kg⁻¹, Tabela 25) presentes nos solos estudados.

À luz dos resultados observados (Tabela 11), apresentadas as explicações para os dados de umidade e granulometria (está apresentando variabilidade por vezes significativa dentro de cada solo, portanto se constituindo naturalmente um fator não controlado), restaram, como outros fatores não controlados, a quantidade de matéria orgânica e a natureza mineral dos constituintes das amostras. No entanto, é pouco provável que os avaliadores que diferiram tenham recebido material distinto dos demais avaliadores – como realçado anteriormente, a

aleatorização do material buscou controlar essas ocorrências. Além disso, nos solos dos Tabuleiros Costeiros há predominância de mineralogia caulínica (argilominerais 1:1) (CINTRA *et al.*, 2009; JACOMINE *et al.*, 1977).

Tabela 11 - Modelos de regressão para a estimativa da RT (\hat{y}) em função das frações areia, silte e argila (x)

Local/Classes de solos	Frações do solo		
	Areia	Silte	Argila
MA-PAdx	$\hat{y} = 0,338x - 154,39$; $r^2 = 0,188^*$; $b \neq 0^*$	Não significativo	$\hat{y} = - 0,158x + 98,73$; $r^2 = 0,121^*$; $b \neq 0^*$
CE1-PAex	$\hat{y} = - 0,0162x + 151,22$; $r^2 = 0,294^*$; $b \neq 0^*$	Não significativo	$\hat{y} = 0,124x + 18,17$; $r^2 = 0,175^*$; $b \neq 0^*$
CE2-PAex	Não significativo	Não significativo	Não significativo
PE-PAdx	$\hat{y} = 0,300x - 150, 51$; $r^2 = 0,366^*$; $b \neq 0^*$	$\hat{y} = - 0,218x + 65,69$; $r^2 = 0,128^*$; $b \neq 0^*$	$\hat{y} = - 0,306x + 120,67$; $r^2 = 0,192^*$; $b \neq 0^*$
AL-LAdx	$\hat{y} = 0,088x + 14,65$; $r^2 = 0,074^*$; $b \neq 0^*$	Não significativo	$\hat{y} = - 0,097x + 99,23$; $r^2 = 0,115^*$; $b \neq 0^*$
SE-PAdx	$\hat{y} = 0,307x - 138,11$; $r^2 = 0,114^*$; $b \neq 0^*$	Não significativo	$\hat{y} = - 0,301x + 140,37$; $r^2 = 0,105^*$; $b \neq 0^*$
BA-PAdx	Não significativo	Não significativo	Não significativo

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx). *Significativo a 5%.

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.3 Análise exploratória dos dados de RT

O coeficiente de variação da RT (RT) das amostras foi, em geral, médio (tanto quando a variável foi mensurada pelo Dinamômetro eletrônico, quanto pelos avaliadores humanos ao utilizarem o TS-Soil), com valores entre 20 a 55% para os horizontes com e sem caráter coeso (Tabela 12 e Tabela 13) (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Tabela 12 - Análise exploratória dos dados de Resistência Tênsil (RT) (\pm o desvio-padrão da média) para os horizontes com caráter coeso obtidos por cada avaliador

Método de Avaliação	Local-Classe de solo	RT média (kPa)	CV (%)
Dinamômetro eletrônico	MA-PAdx	70,11 \pm 22,71	32,39
	CE1-PAex	63,49 \pm 25,16	39,63
	CE2-PAex	73,30 \pm 29,59	40,37
	PE-PAdx	61,63 \pm 21,94	35,59
	AL-LAdx	59,76 \pm 17,78	29,75
	SE-PAdx	77,88 \pm 28,72	36,88
	BA-PAdx	40,41 \pm 17,82	44,10
Avaliador 1	MA-PAdx	88,51 \pm 26,30	29,70
	CE1-PAex	74,34 \pm 24,59	33,07
	CE2-PAex	86,42 \pm 27,02	31,27
	PE-PAdx	70,53 \pm 16,81	23,83
	AL-LAdx	73,10 \pm 19,01	26,00
	SE-PAdx	86,12 \pm 22,25	25,83
	BA-PAdx	52,55 \pm 18,33	34,89
Avaliador 2	MA-PAdx	88,15 \pm 28,66	32,51
	CE1-PAex	67,78 \pm 27,89	41,15
	CE2-PAex	84,42 \pm 26,19	31,02
	PE-PAdx	78,01 \pm 23,11	29,62
	AL-LAdx	67,65 \pm 25,78	38,10
	SE-PAdx	90,50 \pm 25,92	28,63
	BA-PAdx	37,78 \pm 16,64	44,04
Avaliador 3	MA-PAdx	78,51 \pm 26,97	34,36
	CE1-PAex	69,11 \pm 26,37	38,16
	CE2-PAex	91,70 \pm 27,42	29,90
	PE-PAdx	84,20 \pm 18,29	21,72
	AL-LAdx	61,13 \pm 24,40	39,91
	SE-PAdx	94,32 \pm 29,47	31,24
	BA-PAdx	43,30 \pm 17,57	40,57

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx); CV: Coeficiente de variação; % percentagem.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 13 - Análise exploratória dos dados de Resistência Tênsil (RT) (\pm o desvio-padrão da média) para os horizontes sem caráter coeso obtidos por cada avaliador

Método de avaliação	Local-Classe de solo	RT média (kPa)	CV (%)
Dinamômetro eletrônico	MA-PAdx	43,39 \pm 17,96	41,39
	CE1-PAex	41,97 \pm 12,96	30,89
	CE2-PAex	39,52 \pm 19,66	49,74
	PE-PAdx	23,87 \pm 12,00	50,28
	AL-LAdx	45,46 \pm 20,63	45,39
	SE-PAdx	52,94 \pm 21,01	39,69
	BA-PAdx	45,04 \pm 17,87	39,68
Avaliador 1	MA-PAdx	56,97 \pm 18,89	33,15
	CE1-PAex	52,88 \pm 16,05	30,36
	CE2-PAex	60,07 \pm 29,39	48,93
	PE-PAdx	25,96 \pm 9,97	38,39
	AL-LAdx	61,97 \pm 18,36	29,63
	SE-PAdx	59,19 \pm 23,14	39,10
	BA-PAdx	60,31 \pm 27,35	45,34
Avaliador 2	MA-PAdx	53,92 \pm 25,29	46,90
	CE1-PAex	51,28 \pm 18,39	35,86
	CE2-PAex	52,82 \pm 27,98	52,97
	PE-PAdx	26,11 \pm 11,24	43,05
	AL-LAdx	51,87 \pm 23,77	45,82
	SE-PAdx	64,46 \pm 18,78	29,13
	BA-PAdx	50,48 \pm 27,42	54,31
Avaliador 3	MA-PAdx	48,87 \pm 17,53	35,87
	CE1-PAex	54,58 \pm 19,76	36,20
	CE2-PAex	56,64 \pm 26,32	46,47
	PE-PAdx	30,02 \pm 12,82	42,70
	AL-LAdx	48,69 \pm 21,15	43,43
	SE-PAdx	66,90 \pm 30,56	45,69
	BA-PAdx	60,08 \pm 24,19	40,26

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupção (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx); CV: Coeficiente de variação; % porcentagem.

Fonte: Elaborada pela autora.

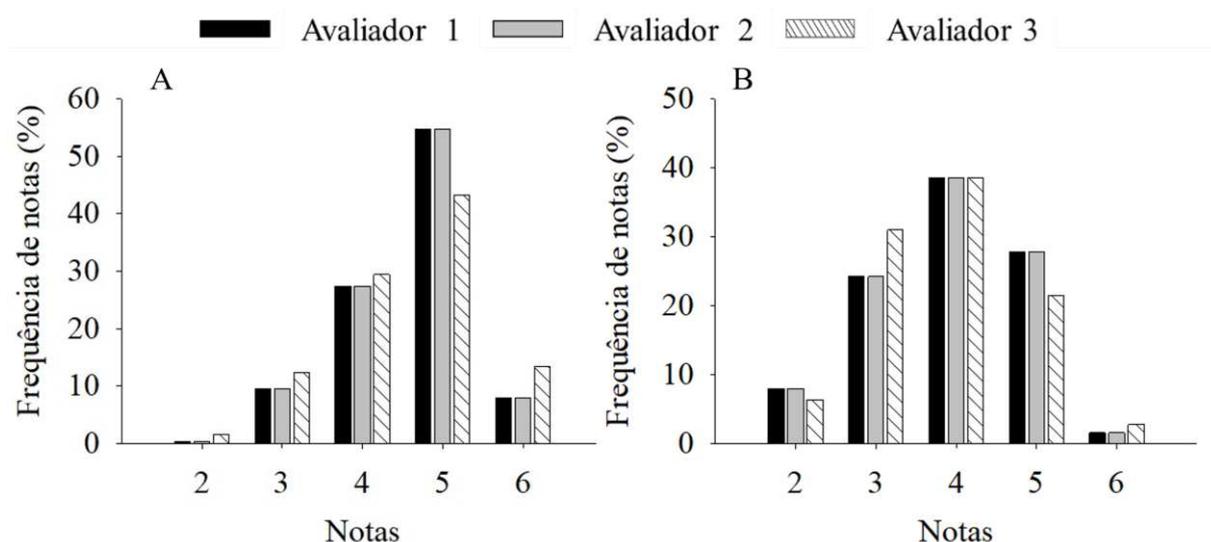
4.1.4 Avaliação da distribuição da frequência de notas

Ao analisar a distribuição da frequência das notas atribuídas pelos avaliadores nos horizontes com caráter coeso, a nota correspondente à consistência muito dura foi predominante (Figura 17), coincidindo com a descrição morfológica para estes horizontes (Tabela 2). No entanto, há também uma porcentagem considerável (30%) para a nota correspondente à consistência dura (nota 4), divergindo parcialmente das descrições morfológicas para os

horizontes com caráter coeso (Tabela 2). Em uma abordagem mais aprofundada, é natural que as informações da variabilidade sejam mais detalhadas; no descritivo da morfologia, o pedólogo utiliza alguns agregados para fazer a avaliação da consistência, mas, naquele caso, não se exige maior detalhamento (quando muito, faz-se a descrição de que, por exemplo, a consistência varia de dura a muito dura). Além disso, foram observadas por Lima *et al.* (2006) áreas mais densas e menos densas em horizontes com caráter coeso.

A consistência dura já foi utilizada na caracterização de Latossolos Amarelos com caráter coeso (EMBRAPA, 1999). Nesse contexto, vale registrar que, para os horizontes sem caráter coeso, a maior frequência de notas foi a 4 (cerca de 40% das notas atribuídas pelos pedólogos), correspondente à consistência dura.

Figura 17 - Porcentagem de notas atribuídas pelos avaliadores à consistência do solo seco para todos as amostras utilizadas dos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)



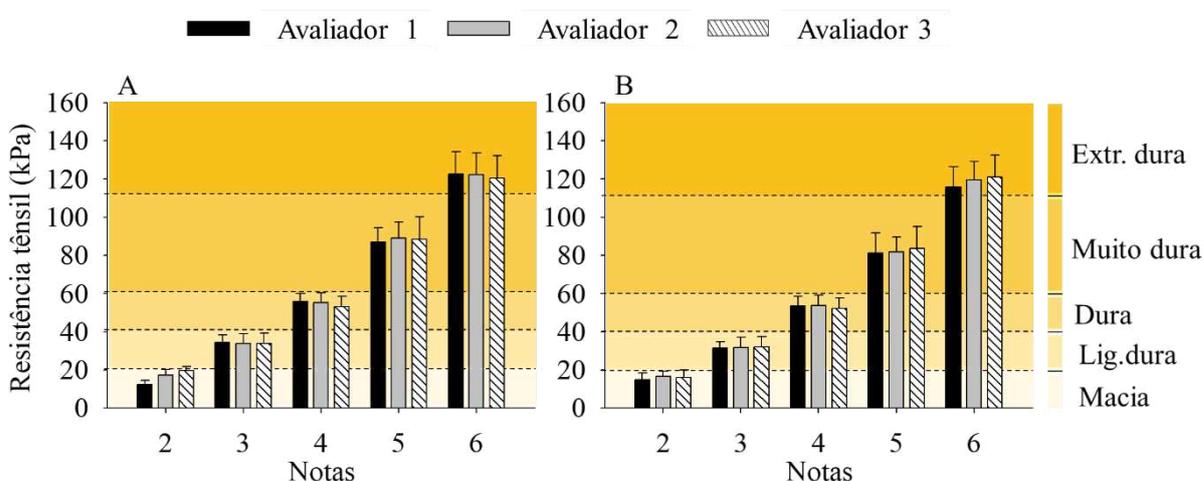
(n): O número de notas atribuídas em cada horizonte foi 252. Pontuações: 1 – solta; 2 – macia; 3 – ligeiramente dura; 4 – dura; 5 – muito dura; 6 – extremamente dura.

Fonte: Elaborada pela autora.

Apesar da existência da frequência de notas que atualmente não caracterizam horizontes com caráter coeso, a média da RT associada com cada nota foi parecida entre os avaliadores (Figura 18). Ou seja, há, de fato, boa relação entre os valores médios de RT e notas atribuídas pelos avaliadores à consistência do solo seco. Esta similaridade para a percepção de consistência do solo por avaliadores humanos, quando associada concomitantemente à RT,

pode contribuir para melhorar a qualidade do processo de avaliação da consistência do solo seco, como apontado por Oliveira *et al.* (2020).

Figura 18 - Valores médios de RT, com desvio-padrão da média, mensurados pelos avaliadores humanos no TS-Soil para as amostras dos horizontes com (A) e sem caráter coeso (B)



Pontuações: 1 – solta; 2 – macia; 3 – ligeiramente dura; 4 – dura; 5 – muito dura; 6 – extremamente dura.
Fonte: Elaborada pela autora.

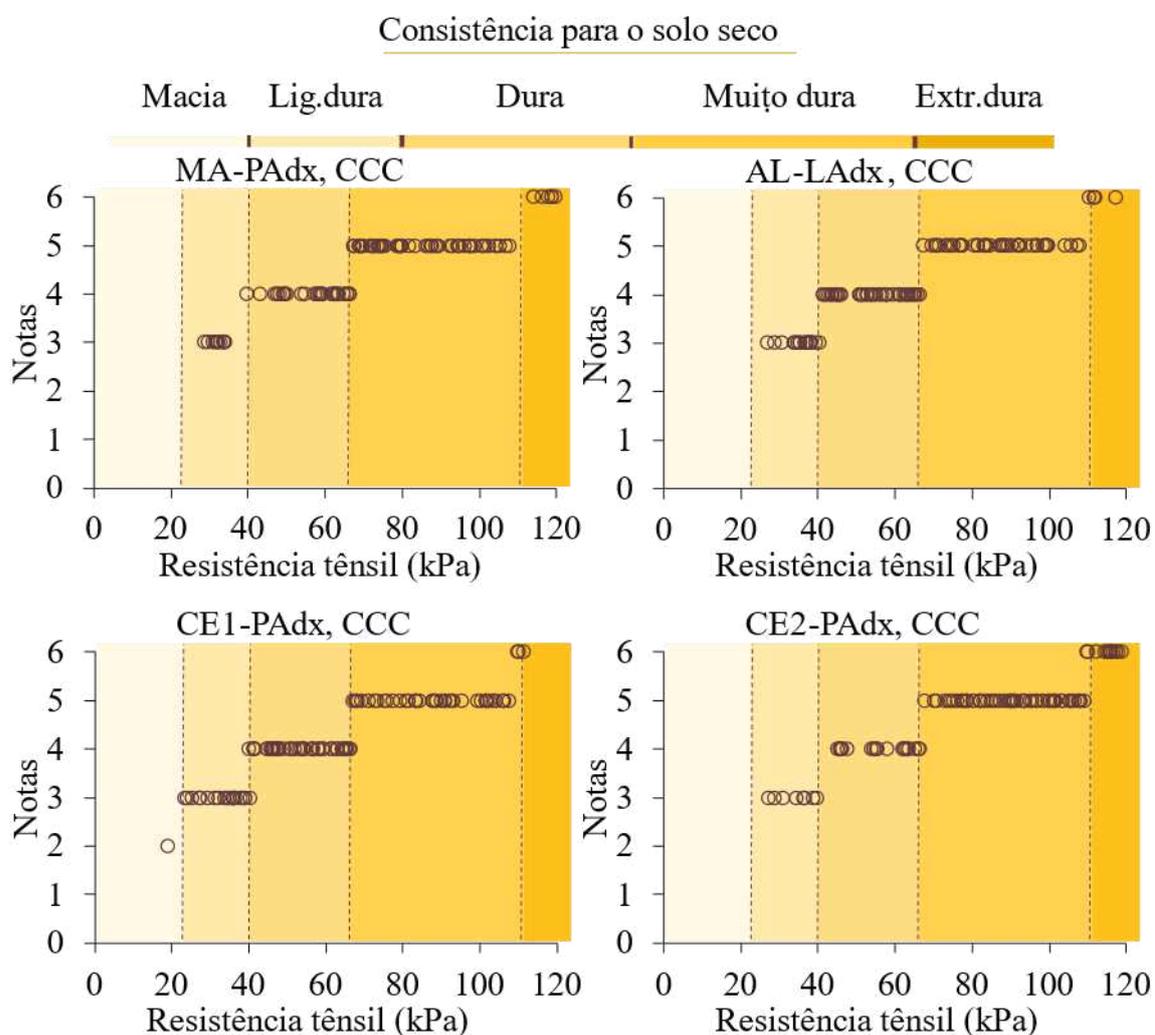
Ao considerar a consistência em solo seco de, no mínimo, muito dura para o diagnóstico do caráter coeso, a média da RT foi de aproximadamente de 80 kPa para todos os avaliadores nos horizontes estudados. Na literatura, foram relatados valores próximos a este; por exemplo, Lima (2004) encontrou em horizontes com caráter coeso de Argissolos valor médio de 76,65 kPa. No entanto, há amplitude nos valores de RT registrados para os horizontes com caráter coeso, pois Araújo *et al.* (2018), também em estudos com Argissolos do estado do Ceará, relataram valores de 52,4 kPa, enquanto Giarola *et al.* (2003), em um Latossolo da Bahia, relataram valores um pouco menores (36,56 kPa para os horizontes com caráter coeso). Os menores valores de RT dos solos do Argissolo da Bahia estão adequados com o que foi descrito no campo (Tabela 2). Para este solo, a consistência variou de dura a muita dura – portanto, não tipificando adequadamente a definição atual do caráter coeso.

4.1.5 Distribuição das faixas de RT pelas notas para os solos com e sem caráter coeso

Para os horizontes com caráter coeso, nos quais os valores médios de RT não foram significativamente diferentes entre os avaliadores humanos (conforme visto na Figura 15),

observa-se uma faixa de RT associada às notas atribuídas pelos avaliadores humanos, com pequenas sobreposições no limiar da mudança de consistência (Figura 19).

Figura 19 - Distribuição das faixas de RT por notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com caráter coeso nos quais as médias de RT não foram diferentes entre os avaliadores



Argissolo Amarelo Distrocoeso (MA-PAdx), Latossolo Amarelo Distrocoeso Argissólico (AL-LAdx) e Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1/CE2-PAex) para os horizontes com caráter coeso. Pontuações: 1 – solta; 2 – macia; 3 – ligeiramente dura; 4 – dura; 5 – muito dura; 6 – extremamente dura.

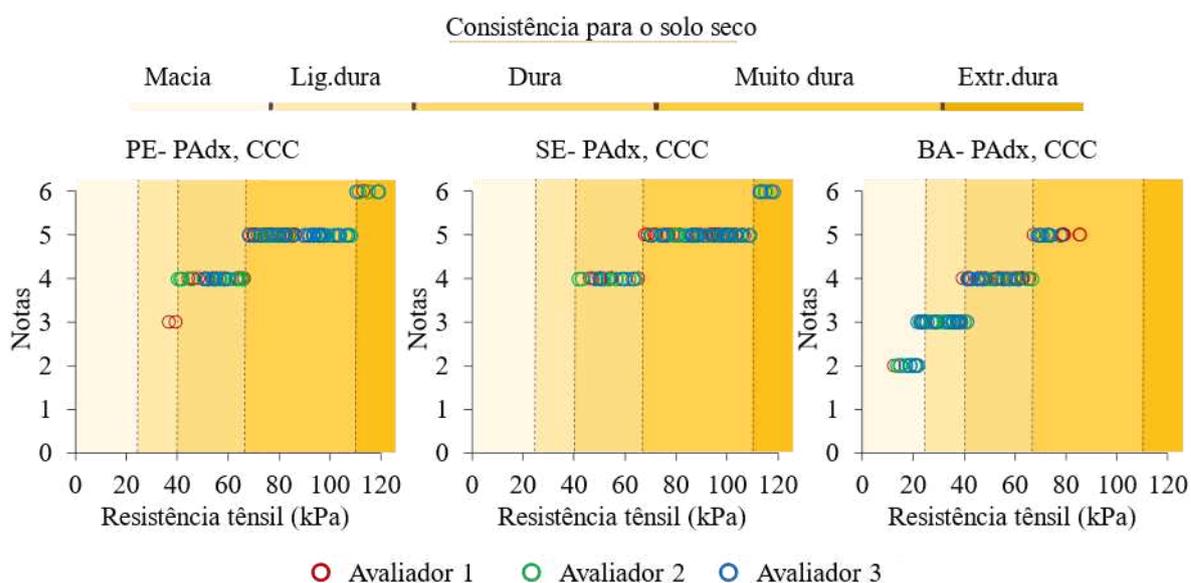
Fonte: Elaborada pela autora.

Apesar das diferenças significativas para as médias de RT obtidas pelos avaliadores humanos nos horizontes com caráter coeso dos Argissolos Amarelos dos estados de Pernambuco, Sergipe e Bahia (como visto na Figura 15), as faixas de RT associadas às notas foram similares aos horizontes que não apresentaram diferenças entre as médias (Figura 20). As diferenças entre as médias de RT para esses solos podem estar relacionadas com a

subjetividade da percepção, principalmente para aquelas amostras cuja força necessária para quebrá-los estava próxima ao limiar para a mudança da consistência (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A associação da subjetividade da percepção com a elevada variabilidade espacial deste atributo (ARAÚJO *et al.*, 2018) pode ter amplificado as diferenças entre as médias encontradas para estes solos. Além disso, como já discutido anteriormente, a velocidade de deslocamento do TS-Soil, por não ser constante no modo de acionamento manual, pode ter influenciado para que a média geral fosse diferente nos solos analisados por cada avaliador humano.

Figura 20 - Distribuição das faixas de RT por notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com caráter coeso, nos quais as médias de RT foram diferentes entre os avaliadores



Argissolo Amarelo Distrocoeso (PE-PAdx), Argissolo Amarelo Distrocoeso (BA-PAdx) e Argissolo Amarelo Distrocoeso (SE-PAdx) para os horizontes com caráter coeso. Pontuações: 1 – solta; 2 – macia; 3 – ligeiramente dura; 4 – dura; 5 – muito dura; 6 – extremamente dura.

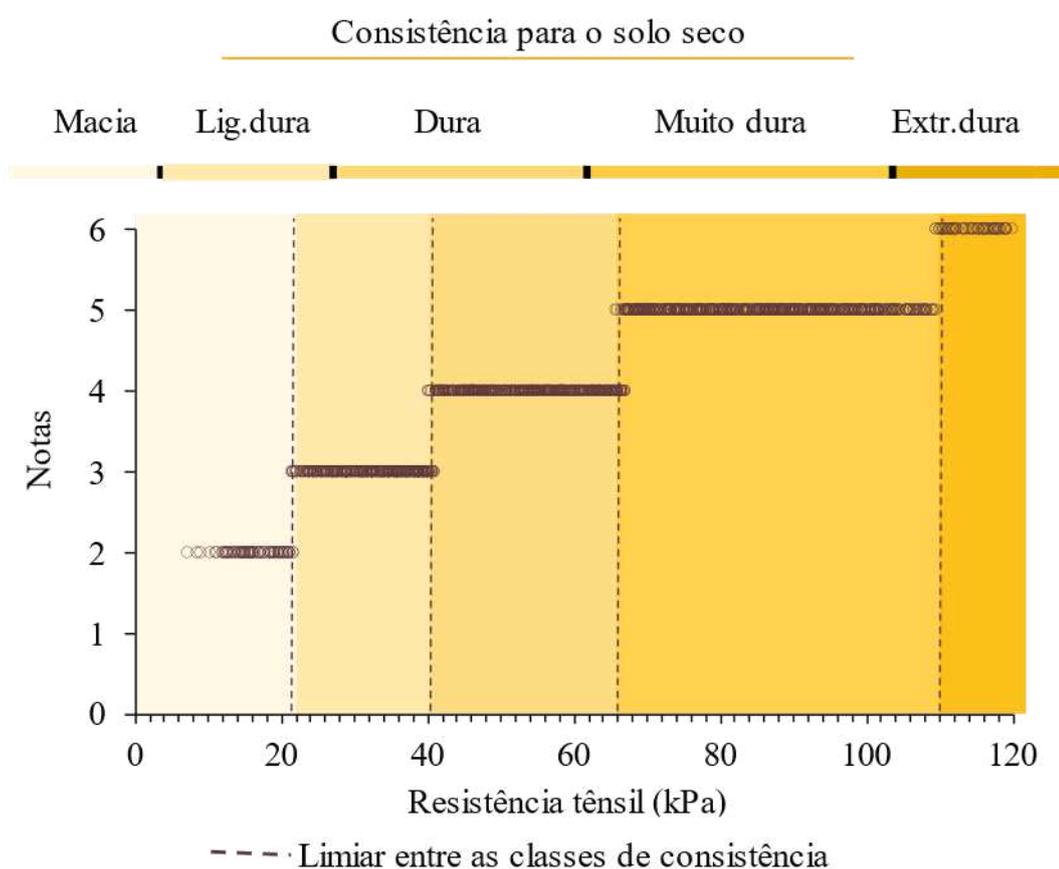
Fonte: Elaborada pela autora.

Para os horizontes sem caráter coeso, as faixas de RT obtidas e as notas relacionadas aos tipos de consistência foram similares àqueles com caráter coeso (Figura 21).

identificadas. Novamente, este fato não refletiu na associação das faixas de RT com as notas atribuídas (Figura 21).

Independentemente de o horizonte apresentar ou não o caráter coeso, as médias de RT foram similares quando associadas às notas de consistência do solo seco (Figura 18). O limiar entre as classes foi definido considerando o centro das sobreposições (Figura 22), como sugerido por Oliveira *et al.* (2020).

Figura 22 - Distribuição das faixas de RT pelas notas atribuídas para a consistência seca das amostras dos horizontes com e sem caráter coeso



Pontuações: 1 – solta; 2 – macia; 3 – ligeiramente dura; 4 – dura; 5 – muito dura; 6 – extremamente dura
 Fonte: Elaborada pela autora.

É pertinente destacar que o valor central da sobreposição de notas foi calculado entre os valores máximo e mínimo encontrados em cada faixa de sobreposição (Tabela 14).

Tabela 14 - Valores máximo, mínimo, médio, mediana e central da RT (kPa) associados às notas obtidas nas faixas de sobreposição associada às classes de consistência do solo

Faixas de Sobreposição para classes de consistência do solo	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Central
	-----kPa-----				
2-3	21,68	21,33	21,52	21,49	21,51
3-4	40,95	40,03	40,38	40,31	40,49
4-5	66,91	65,58	66,14	66,02	66,24
5-6	109,56	109,57	109,56	109,56	109,56

2: Macia; 3: Ligeiramente dura; 4: Dura; 5: Muito dura e 6: Extremamente dura. Fonte: Elaborada pela autora.

A pouca influência do grau de coesão do horizonte (se com caráter coeso ou não) na associação das notas com as faixas de RT permitiu elaborar uma sugestão de escala geral para quantificar a consistência do solo seco – que tem estreita associação com a RT das amostras – e, assim, associar as médias de RT com as notas atribuídas (Figura 23). Os valores médios de RT associados às notas ficaram dentro dos limiares definidos na Figura 22.

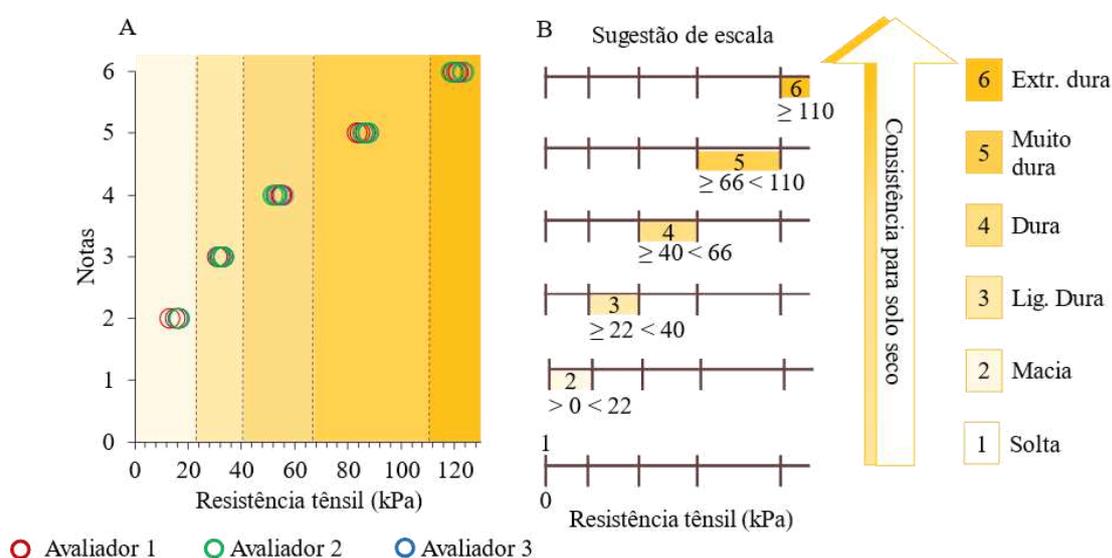
Os limiares aqui sugeridos para as classes de consistência de solo seco foram similares aos definidos por Oliveira *et al.* (2020) para diferentes classes de solos. Cabe registrar que a associação de uma faixa de força de ruptura à avaliação qualitativa da consistência, também é descrita no Soil Survey Manual (2017) e no The Canada Soil Information System (CANADA, 1985). Nesses manuais, a consistência dura é associada a uma força aplicada no intervalo de > 40 N a < 80 N, e a consistência muito dura a uma força aplicada no intervalo de > 80 N a < 160 N.

Como relatado, os solos com caráter coeso são caracterizados por apresentarem consistência de muito dura a extremamente dura. Ao considerar a consistência atualmente utilizada na identificação do caráter coeso, o valor limiar de RT para o horizonte ser considerado coeso é ≥ 66 kPa.

É importante realçar que a consistência dura já foi utilizada para conceituar este atributo na primeira versão do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo - SiBCS (EMBRAPA, 1999). Ao observar a elevada quantidade de notas 4 para os horizontes com caráter coeso, faz-se necessário repensar os critérios para o diagnóstico do caráter coeso e, quem sabe, considerar a possibilidade de incorporar a categorização da coesão em classes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (por exemplo, fracamente coeso, moderadamente coeso, fortemente coeso), conforme já sugeriram Queiroz *et al.* (2023). A categorização em graus de coesão não está contemplada no atual SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018), embora Santos *et al.*

(2015) indiquem no Manual de descrição e coleta de solo no campo, publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, dois graus de coesão (moderadamente coeso e fortemente coeso).

Figura 23 - Valores médios da RT por posição, para cada avaliador, associados às notas (A) e sugestão de escala de RT associada à consistência do solo seco (B)



Fonte: Elaborada pela autora.

Para a identificação do caráter coeso e classificação do grau de coesão, pode-se considerar o uso de dois ou mais atributos no diagnóstico, incluindo pelo menos um com descritivo quantitativo. O uso de mais um critério na descrição de atributos diagnósticos do solo é utilizado tanto no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018) quanto em sistemas internacionais, como World Reference Base (WRB-IUSS, 2014) e *Illustrated guide to soil taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2015).

Apesar de haver uma predominância de notas 4 ($RT \geq 40$ a < 66 kPa) para os horizontes sem caráter coeso, para este mesmo horizonte observou-se cerca de 30% de notas 5 ($RT \geq 66$ a < 110 kPa). De acordo com a descrição morfológica apresentada na Tabela 2 para o PADx do estado Maranhão, a consistência no horizonte sem caráter coeso, quando seco, foi de dura a muito dura, o que certamente contribuiu para ampliar a presença de notas 5 para os horizontes sem caráter coeso.

Ainda considerando a descrição morfológica para o PADx do estado da Bahia (Tabela 2), a consistência do horizonte sem caráter coeso variou de dura a muito dura, o que certamente contribuiu para a presença de notas 4 associada aos horizontes com caráter coeso. A presença de notas 4 e 5 nos horizontes com e sem caráter, respectivamente, está relacionada

também com a variabilidade de média a alta da RT das amostras dos solos (ARAÚJO *et al.*, 2018) e, também, com a subjetividade da percepção quando da avaliação da consistência (OLIVEIRA *et al.*, 2020; SOBUCKI *et al.*, 2022).

4.2 O uso da RT na quantificação do caráter coeso e a influência da granulometria e do tamanho dos constituintes da fração areia

4.2.1 O atributo RT na quantificação do caráter coeso

A análise de variância indicou que para todos os horizontes com caráter coeso, independentemente do equipamento e/ou do avaliador, há diferenças significativas para local, grau de coesão e para a interação entre local e grau de coesão (Tabela 15).

Para a maioria dos solos, os horizontes com caráter coeso apresentaram maior RT do que os horizontes sem caráter coeso, tanto pelo dinamômetro quanto pelo TS-Soil manuseado por cada avaliador humano (Figura 24), corroborando o que foi constatado nos estudos realizados por Lima *et al.* (2005), Araújo *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2020a). Nestes estudos, foram encontrados valores médios de RT para horizontes com caráter coeso de 52,4, 36,56 e 76,65 kPa (respectivamente, por ARAÚJO *et al.*, 2018; GIAROLA *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2005).

Dos solos estudados, apenas o PAdx do estado da Bahia não apresentou diferença significativa para a RT entre os horizontes com e sem o caráter coeso quando o atributo foi mensurado pelo dinamômetro, confirmando resultado já encontrado por Mota *et al.* (2021) para o mesmo solo. A resistência similar encontrada entre os horizontes com e sem caráter coeso certamente reflete a descrição da consistência para o solo seco deste horizonte (MOTA *et al.*, 2021). Na descrição morfológica do referido solo, a consistência para o solo seco foi de dura a muito dura para o horizonte com caráter coeso e dura para o horizonte sem caráter coeso (Tabela 2).

Tabela 15 - Coeficiente de assimetria e análise de variância para os dados de RT obtidos no dinamômetro eletrônico e pelos avaliadores humanos no TS-Soil para todos os horizontes com e sem caráter coeso

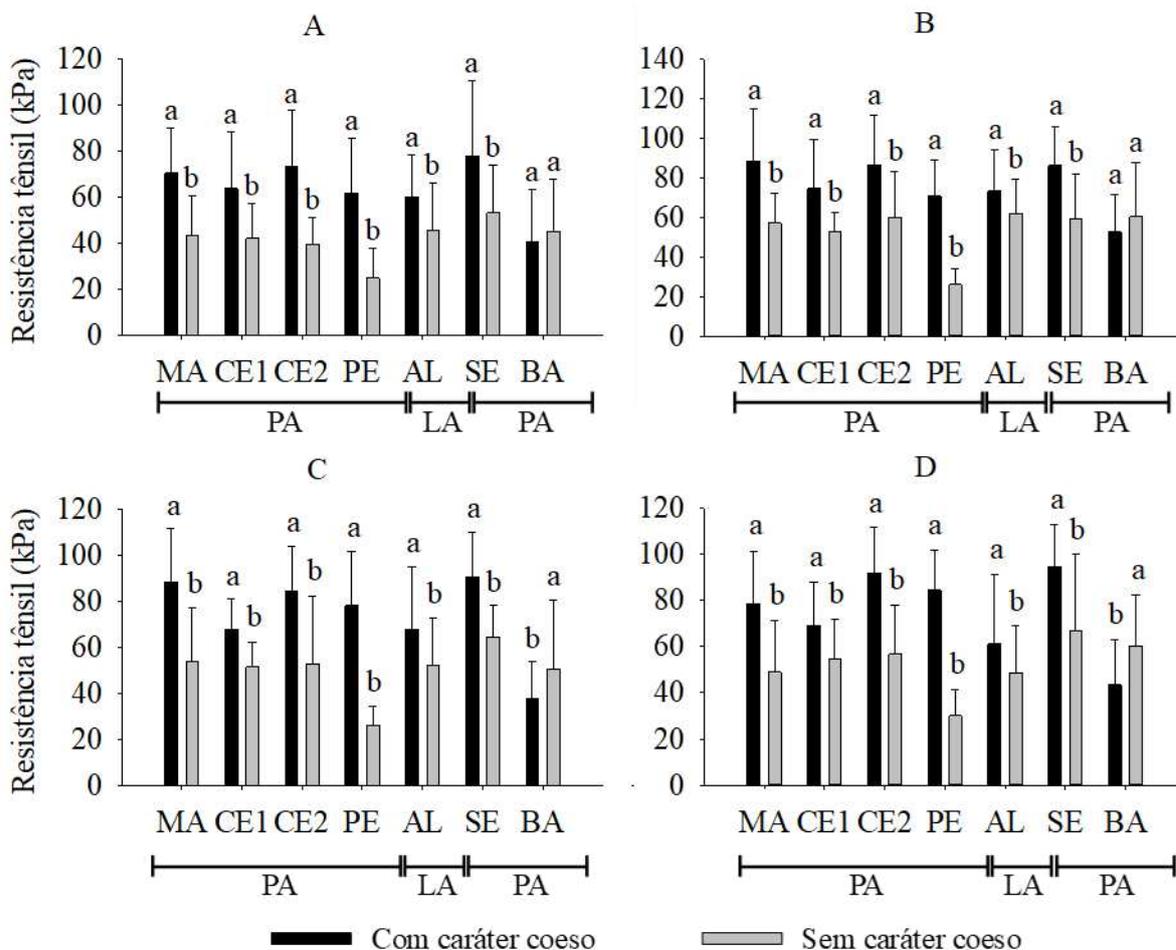
Método de avaliação	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Dinamômetro eletrônico	0,65	Tratamentos	13	109159,476	8396,882	19,08*
		Resíduo	490	215696,969	440,197	
		Total	503	324856,446		
		Local	6	27540,295	4590,049	10,43*
		Grau de coesão	1	60689,995	60689,995	137,87*
		Local*Grau de coesão	6	20929,186	3488,197	7,92*
Avaliador 1	0,01	Tratamentos	13	130343,162	10026,397	20,88*
		Resíduo	490	235311,475	480,2275	
		Total	503	365654,638		
		Local	6	39527,891	6587,981	13,72*
		Grau de coesão	1	61154,619	61154,619	127,35*
		Local*Grau de coesão	6	29660,652	4943,442	10,29*
Avaliador 2	0,27	Tratamentos	13	169230,336	13017,718	22,81*
		Resíduo	490	279701,318	570,819	
		Total	503	448931,655		
		Local	6	57191,652	9531,942	16,70*
		Grau de coesão	1	68614,467	68614,467	120,20*
		Local*Grau de coesão	6	43424,216	7237,369	12,68*
Avaliador 3	0,36	Tratamentos	13	163747,386	12595,952	23,32*
		Resíduo	490	264681,563	540,166	
		Total	503	428428,950		
		Local	6	47761,555	7960,259	14,74*
		Grau de coesão	1	62990,132	62990,132	116,61*
		Local*Grau de coesão	6	52995,698	8832,616	16,35*

¹ Coeficiente de assimetria; ² Graus de liberdade; ³ Soma de quadrados; ⁴ Quadrados médios; ⁵ Teste F; * Significativo a 5%.

Fonte: Elaborada pela autora.

Para os solos analisados por dois avaliadores humanos (avaliador 2 e avaliador 3) manuseando o TS-Soil, houve diferenças significativas para a RT entre os horizontes com e sem caráter coeso (Figura 24 C e D), exceto para o PAdx do estado da Bahia, em que os valores foram significativamente maiores para o horizonte sem caráter coeso. Esta tendência de a média da RT do horizonte sem caráter coeso ser maior também foi observada nos dados obtidos com o dinamômetro, porém não muito expressiva e, portanto, não significativa.

Figura 24 - Valores médios de RT nos horizontes com e sem caráter coeso para Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)



A) Valores obtidos com o dinamômetro; B) valores obtidos pelo avaliador 1 com o TS-Soil; C) valores obtidos pelo avaliador 2 com o TS-Soil; D) valores obtidos pelo avaliador 3 com o TS-Soil. As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na classe de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: Elaborada pela autora.

Para este solo (PADx-BA), independentemente dos avaliadores (se com dinamômetro ou com humanos utilizando o TS-Soil), as médias da RT para os horizontes descritos com e sem caráter coeso se mantiveram na faixa relacionada à consistência dura (Figura 24) – o que sugere a não ocorrência de horizonte com caráter coeso neste solo, se analisado à luz do critério atual do SiBCS (SANTOS *et al.*, 2018), que considera que a consistência deve ser no mínimo muito dura.

4.2.2 Variação da RT ao longo dos horizontes (topo, meio e base) com e sem caráter coeso

Pela análise de variância, para todos os horizontes com caráter coeso, independentemente do equipamento e/ou do avaliador, foram identificadas diferenças significativas para local, posição e interação entre local e posição (Tabela 16). O comportamento da RT nas posições topo, meio e base de horizontes com caráter coeso foi variável entre os solos estudados. Em geral, a RT mensurada pelo TS-Soil e pelo dinamômetro foi igual ou maior no sentido do topo para base (Figura 25).

Tabela 16 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT nas posições topo, meio e base dos horizontes com caráter coeso

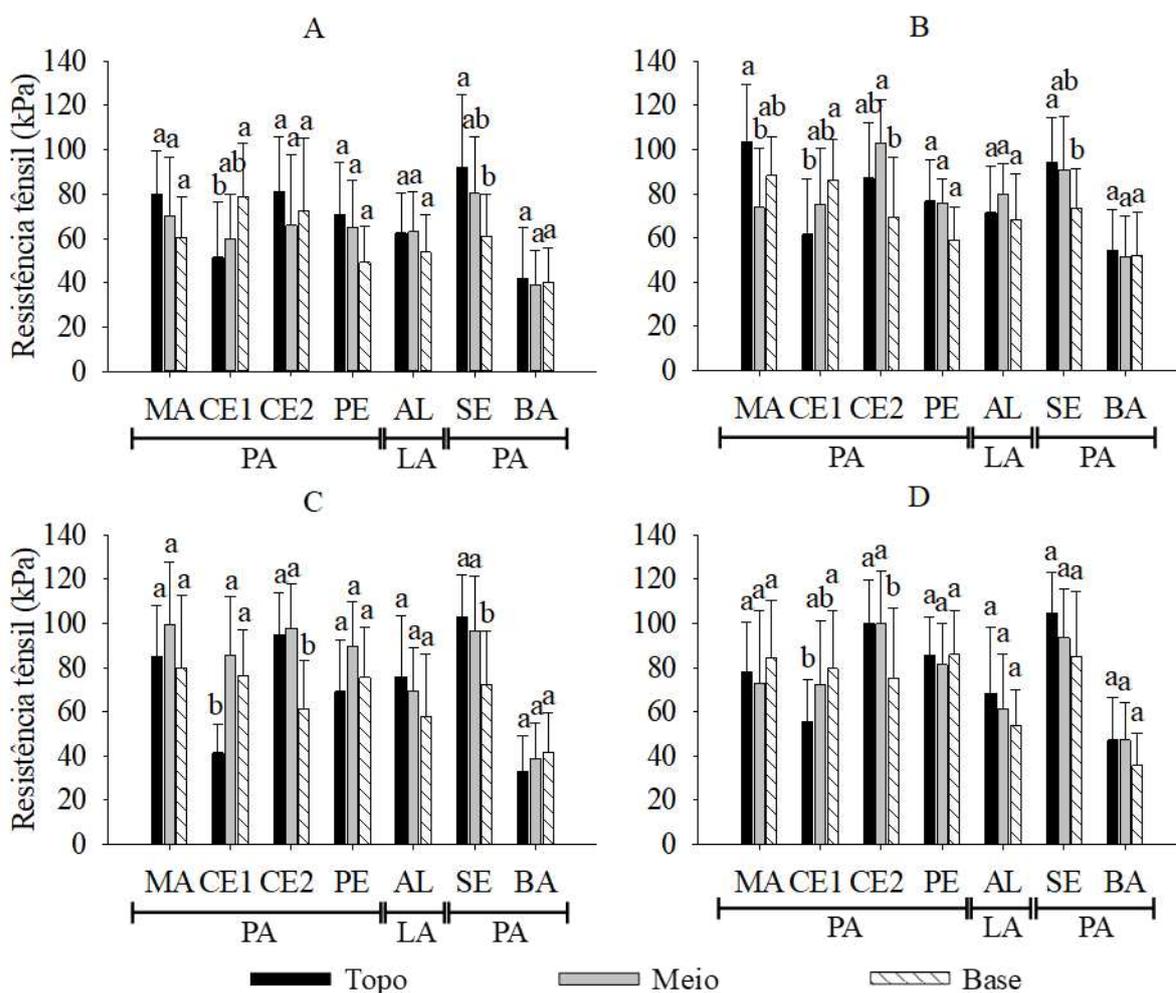
Método de avaliação	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Dinamômetro eletrônico	0,64	Tratamentos	20	50305,504	2515,275	4,81*
		Resíduo	231	120699,882	522,510	
		Total	251	171005,387		
		Local	6	32272,845	5378,807	10,29*
		Posição	2	3521,688	1760,844	3,37*
		Local*Posição	12	14510,970	1209,247	2,31*
Avaliador 1	-0,05	Tratamentos	20	56567,882	2828,394	6,46*
		Resíduo	231	101210,020	438,138	
		Total	251	157777,902		
		Local	6	34504,986	5750,831	13,13*
		Posição	2	3189,722	1594,861	3,64*
		Local*Posição	2	18873,172	1572,764	3,59*
Avaliador 2	0,16	Tratamentos	20	108111,546	5405,577	10,54*
		Resíduo	231	118517,902	513,064	
		Total	251	226629,449		
		Local	6	71512,592	11918,765	23,23*
		Posição	2	11269,435	5634,717	10,98*
		Local*Posição	12	25329,519	2110,793	4,11*
Avaliador 3	0,22	Tratamentos	20	85306,231	4265,311	7,79*
		Resíduo	231	126418,028	547,264	
		Total	251	211724,259		
		Local	6	71274,549	11879,091	21,71*
		Posição	2	1404,692	702,346	1,28 ^{ns}
		Local*Posição	12	12626,989	1052,249	1,92*

Fonte: Elaborada pela autora.

Diferenças significativas entre as posições foram observadas para o MA-PAdx, CE2 PAdx e PE- PAdx em pelo menos um conjunto de dados de RT obtido com o dinamômetro ou TS-Soil. A redução da RT do topo para base pode estar associada ao transporte de

argilominerais e outros constituintes dos solos, das zonas sobrejacentes de intensa perda para o topo do horizonte subsequente menos permeável.

Figura 25 - Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso nas posições topo, meio e base de Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)



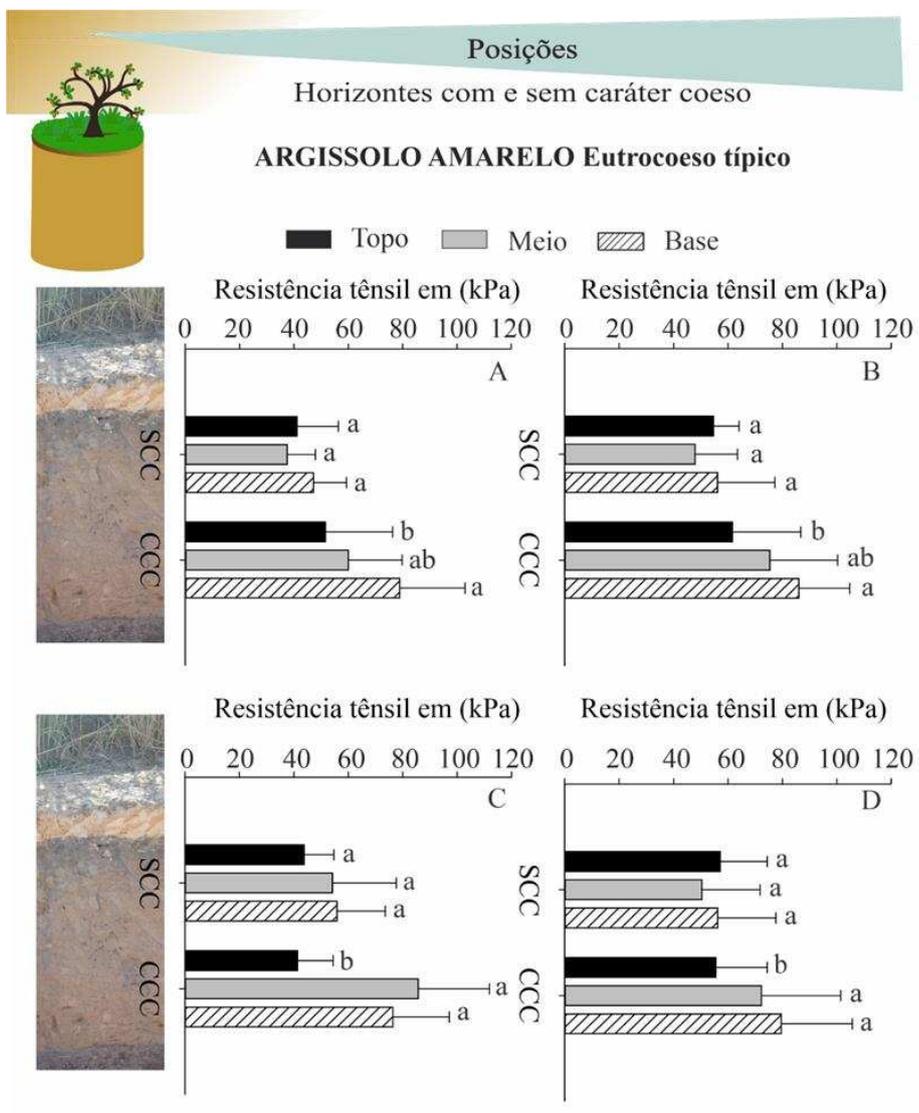
A) Valores obtidos com o dinamômetro; B) valores obtidos pelo avaliador 1 com o TS-Soil; C) valores obtidos pelo avaliador 2 com o TS-Soil; D) valores obtidos pelo avaliador 3 com o TS-Soil. As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na classe de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: Elaborada pela autora.

Adicionalmente, a presença de importantes constituintes cimentantes em maior quantidade, como sílica e o alumínio de compostos de baixa cristalinidade ou amorfos, contribui com o aumento da RT no topo do horizonte coeso. O acúmulo destes constituintes no topo dos horizontes coesos foi apontado por Mota *et al.* (2021)

O PAex-CE1 apresentou comportamento diferente do observado para os horizontes com caráter coeso, aumentando a RT do topo para base (Figura 26). Apenas para PAex-CE1 e PAex-CE2 os horizontes sem caráter coeso estavam sobrejacentes aos horizontes com caráter coeso (Figura 26).

Figura 26 - Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) do Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex)



A) Valores obtidos com o dinamômetro; B) valores obtidos pelo avaliador 1 com o TS-Soil; C) valores obtidos pelo avaliador 2 com o TS-Soil; D) valores obtidos pelo avaliador 3 com o TS-Soil. As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas no horizonte do solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: Elaborada pela autora

Neste caso, o aumento da RT na base do horizonte sem caráter coeso do PAex-CE1 pode ser, em parte, explicado pela base do horizonte sem caráter coeso ser contígua ao topo do

horizonte com caráter coeso neste perfil. Assim, parte dos constituintes transportados dos horizontes subjacentes podem acumular na base do horizonte sem caráter coeso e atuar como cimentantes, aumentando a RT na base deste horizonte.

Com base na análise de variância, em todos os horizontes sem caráter coeso foram identificadas diferenças significativas para local, posição e interação entre posição e grau de coesão para os dados de RT obtidos pelo dinamômetro (Tabela 17). Para o TS-Soil, manuseado pelos avaliadores, as interações significativas foram variáveis, de modo que apenas para os locais houve diferença significativa da RT obtida por todos os humanos ao manusearem o TS-Soil. A interação entre local e posição não foi significativa apenas para os dados do TS-Soil manuseado pelo avaliador 3 (Tabela 17).

Tabela 17 - Coeficientes de assimetria (CA) e análise de variância dos dados de RT obtidos pelos avaliadores nas posições topo, meio e base nos horizontes sem caráter coeso

(continua)

Método de avaliação	CA¹	Fonte de variação	GL²	SQ³	QM⁴	F⁵
Dinamômetro eletrônico	0,46	Tratamentos	20	30073,27828	1503,66391	5,51*
		Resíduo	231	63087,78535	273,10730	
		Total	251	93161,06363		
		Local	6	16196,63585	2699,43931	9,88*
		Posição	2	5097,97645	2548,98822	9,33*
		Local*Posição	12	8778,66598	731,55550	2,68*
Avaliador 1	0,15	Tratamentos	20	47760,5736	2388,0287	5,57*
		Resíduo	231	98961,5429	428,4049	
		Total	251	146722,1166		
		Local	6	34683,55764	5780,59294	13,49*
		Posição	2	1309,48734	654,74367	1,53 ^{ns}
		Local*Posição	12	11767,52865	980,62739	2,29*

Tabela 17 - Coeficientes de assimetria (CA) e análise de variância dos dados de RT obtidos pelos avaliadores nas posições topo, meio e base nos horizontes sem caráter coeso

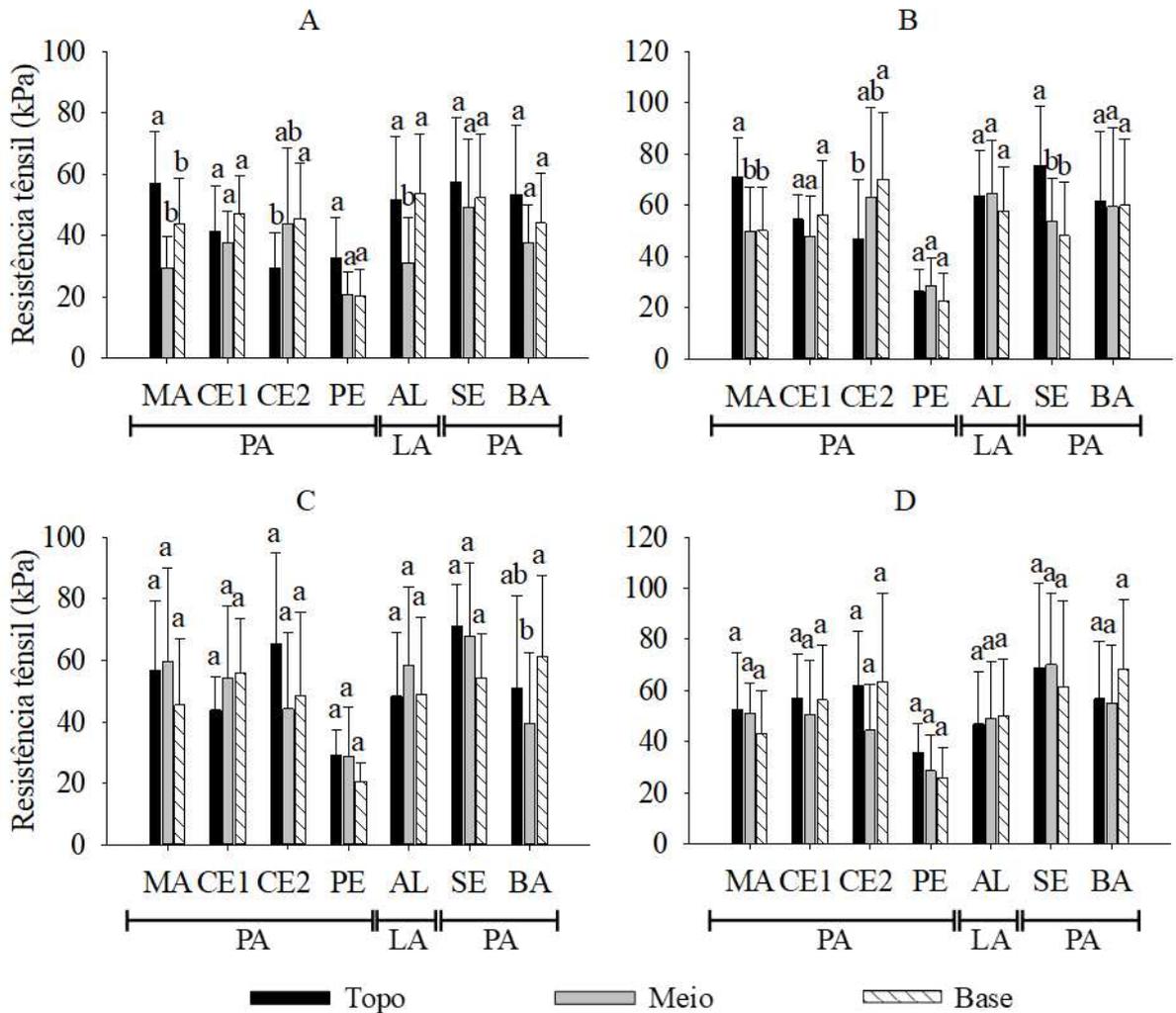
(conclusão)

Método de avaliação	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Avaliador 2	0,49	Tratamentos	20	40538,9443	2026,9472	4,14*
		Resíduo	231	113148,7942	489,8216	
		Total	251	153687,7386		
		Local	6	29103,27662	4850,54610	9,90*
		Posição	2	791,80609	395,90305	0,81 ^{ns}
		Local*Posição	12	10643,86164	886,98847	1,81*
Avaliador 3	0,60	Tratamentos	20	35631,4674	1781,5734	3,49*
		Resíduo	231	118083,0907	511,1822	
		Total	251	153714,5581		
		Local	6	29482,70497	4913,78416	9,61*
		Posição	2	890,77610	445,38805	0,87 ^{ns}
		Local*Posição	12	5257,98629	438,16552	0,86 ^{ns}

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; *Significativo a 5%. ^{ns}Não significativo.

Para os dados de RT dos horizontes sem caráter coeso obtidos com o dinamômetro e com o TS-Soil manuseado pelo avaliador 1, foram identificadas diferenças significativas entre as posições para o PAex-CE2, LAdx-AL e PAdx-MA (Figura 27). O comportamento do atributo para os horizontes destes solos não seguiu a mesma variação observada nos horizontes com caráter coeso. Mota *et al.* (2021) também não identificaram redução da RT ao longo do horizonte sem caráter coeso. Para o avaliador 2, diferenças significativas foram observadas apenas no PAdx-BA, com variação diferente da tendência observada para os horizontes coesos. Para o avaliador 3, não houve diferenças significativas (Figura 27).

Figura 27 - Valores médios de RT para os horizontes sem caráter coeso nas posições topo, meio e base de Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)



A) Valores obtidos com o dinamômetro; B) valores obtidos pelo avaliador 1 com o TS-Soil; C) valores obtidos pelo avaliador 2 com o TS-Soil; D) valores obtidos pelo avaliador 3 com o TS-Soil. As barras nas colunas indicam o desvio-padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na classe de solo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância.

Fonte: elaborada pela autora.

Ao considerar como tratamentos apenas as posições (topo, meio e base) e o grau de coesão do horizonte (com e sem o caráter coeso), a análise de variância indicou efeito significativo para os tratamentos e a interação entre eles (Tabela 18).

Tabela 18 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso

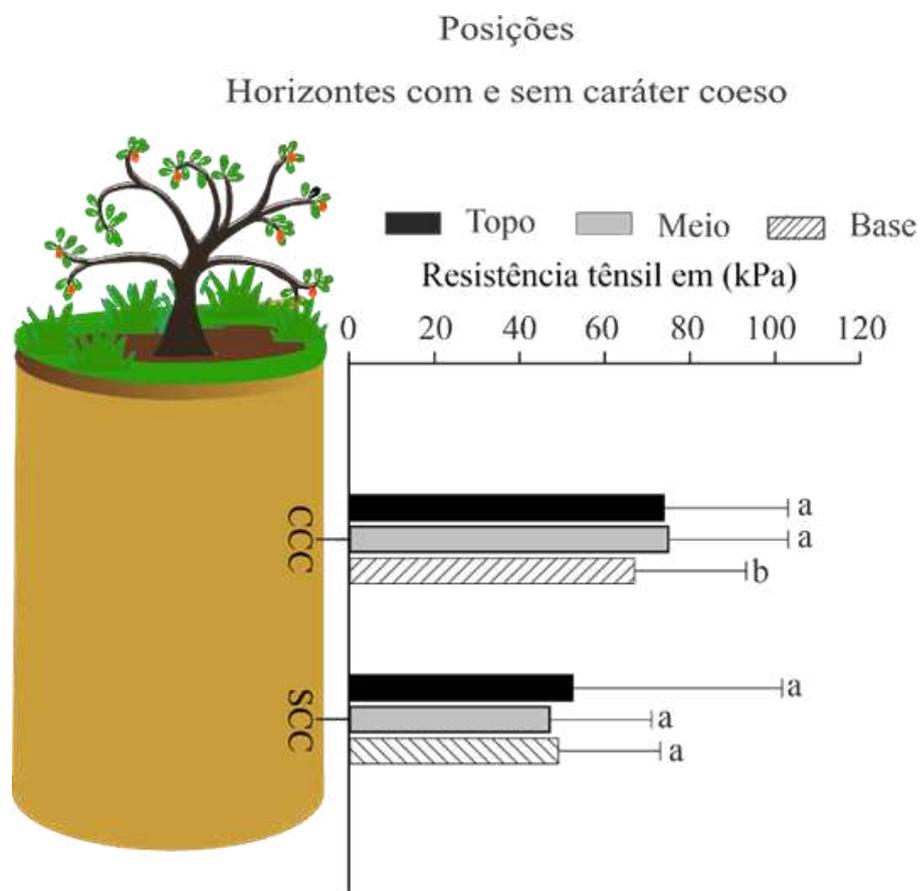
Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
RT	0,38	Tratamentos	5	270636,323	54127,265	81,08*
		Resíduo	2010	1341843,404	667,584	
		Total	2015	1612479,727		
		Posição	2	8791,318	4395,659	6,58*
		Tipo	1	253297,580	253297,580	379,42*
		Posição*Tipo	2	8547,423	4273,712	6,40*

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; ⁵*Significativo a 5%.

A redução da RT do topo para a base foi mantida ao analisar o conjunto de dados de todos os horizontes com caráter coeso (Figura 28). Para os horizontes sem caráter coeso, não foram observadas diferenças significativas entre o topo, meio e base.

Como discutido anteriormente, a redução da RT do topo para base pode estar relacionada ao maior acúmulo de constituintes, incluindo os compostos aluminossilicatos, no topo dos horizontes menos permeáveis. Mota *et al.* (2018) identificaram redução da porosidade total nos horizontes com caráter coeso; este fato decorre do acúmulo de constituintes, que podem atuar para ampliar a RT no topo dos horizontes com caráter coeso. Mota *et al.* (2021) demonstraram que o topo dos horizontes com caráter coeso apresentam maiores valores médios dos teores de silício e alumínio de baixa cristalinidade, que são associados à gênese do caráter coeso, atuando como cimentantes temporários nos horizontes (VIEIRA *et al.*, 2012).

Figura 28 - Valores médios de RT para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Médias seguidas pela mesma letra minúscula em cada grau de coesão não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.3 Análise exploratória dos dados de RT

Em geral, o coeficiente de variação da RT foi médio, tanto na avaliação pelos pedólogos com auxílio do TS-Soil quanto com o uso do dinamômetro, com valores variando entre 17% e 60% (Tabela 19) para os horizontes com e sem caráter coeso (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Tabela 19 - Análise exploratória dos dados de RT nas posições topo (T), meio (M) e base (B) dos horizontes com e sem caráter coeso obtidos pelo dinamômetro e pelos avaliadores humanos no TS-Soil

(continua)

Método de avaliação	Local-Classe de solo	Posição	Com caráter coeso		Sem caráter coeso	
			RT (kPa)	CV (%)	RT (kPa)	CV (%)
Dinamômetro eletrônico	MA-PAdx	T	79,81±19,73	24,72	56,97±17,01	29,85
		M	70,10±26,78	38,20	29,38±10,09	34,34
		B	60,43±18,15	30,04	43,81±14,82	33,81
	CE1-PAex	T	51,52±24,78	48,09	41,15±15,15	36,80
		M	60,00±19,82	33,03	37,53±10,35	27,58
		B	78,94±24,03	30,44	47,22±12,08	25,58
	CE2-PAex	T	81,28±24,35	29,96	29,37±11,51	39,19
		M	66,06±31,70	47,99	43,74±24,62	56,30
		B	72,57±32,57	44,88	45,46±17,90	39,38
	PE-PAdx	T	70,76±23,57	33,31	32,74±13,05	39,86
		M	64,79±21,34	32,94	20,84±7,12	34,17
		B	49,35±15,93	32,28	20,36±8,58	42,15
	AL-LAdx	T	62,43±18,32	29,35	51,76±20,37	39,36
		M	63,06±18,05	28,63	31,02±14,76	47,57
		B	53,79±16,90	31,41	53,60±19,47	36,33
	SE-PAdx	T	92,29±32,50	35,22	57,36±20,95	36,52
		M	80,40±25,63	31,87	49,15±22,22	45,20
		B	60,93±19,08	31,31	52,31±20,85	39,87
BA-PAdx	T	42,03±22,74	54,10	42,03±22,74	54,10	
	M	38,94±15,54	39,92	37,74±12,21	32,36	
	B	40,27±15,71	39,02	43,96±16,13	36,69	
Avaliador 1	MA-PAdx	T	103,63±25,93	25,02	70,99±15,09	21,25
		M	73,77±26,88	36,44	49,83±17,40	34,92
		B	88,12±17,84	20,25	50,08±16,81	33,56
	CE1-PAex	T	61,64±25,03	40,60	54,60±9,45	17,30
		M	75,33±24,95	33,12	47,92±15,57	32,50
		B	86,03±18,66	21,69	56,12±21,14	37,67
	CE2-PAex	T	86,98±25,19	28,96	46,85±23,06	49,23
		M	103,04±19,69	19,11	63,28±34,83	55,04
		B	69,23±27,26	39,38	70,08±26,32	37,55
	PE-PAdx	T	76,61±18,46	24,09	26,48±8,24	31,13
		M	75,93±10,79	14,20	28,71±10,87	37,84
		B	59,05±15,03	25,46	22,69±10,90	48,02
	AL-LAdx	T	71,37±21,11	29,58	63,75±17,45	27,36
		M	79,57±14,24	17,89	64,48±20,97	32,53
		B	68,37±20,69	30,27	57,68±17,26	29,92
	SE-PAdx	T	94,31±19,80	20,99	75,63±22,81	30,16
		M	90,71±24,11	26,57	53,91±16,83	31,22
		B	73,34±18,10	24,68	48,05±20,98	43,67

Tabela 19 - Análise exploratória dos dados de RT nas posições topo (T), meio (M) e base (B) dos horizontes com e sem caráter coeso obtidos pelo dinamômetro e pelos avaliadores humanos no TS-Soil

(continuação)

Método de avaliação	Local-Classe de solo	Posição	Com caráter coeso		Sem caráter coeso	
			RT (kPa)	CV (%)	RT (kPa)	CV (%)
Avaliador 1	BA-PAdx	T	54,19±18,68	34,46	61,55±27,43	44,57
		M	51,25±18,53	36,15	59,46±30,79	51,77
		B	52,21±19,31	36,98	59,91±26,01	43,41
Avaliador 2	MA-PAdx	T	84,80±23,28	27,45	56,62±22,86	40,38
		M	99,64±28,16	28,26	59,63±30,56	51,25
		B	79,99±32,40	40,50	45,52±21,39	46,99
	CE1-PAex	T	41,39±13,00	31,40	43,76±10,95	25,03
		M	85,63±26,25	30,65	54,20±23,43	43,22
		B	76,33±20,75	27,18	55,88±17,70	31,67
	CE2-PAex	T	94,54±19,43	20,55	65,51±29,40	44,88
		M	97,63±20,24	20,73	44,33±24,85	56,05
		B	61,10±22,35	36,57	48,63±27,13	55,78
	PE-PAdx	T	69,06±23,61	34,18	29,12±8,40	28,85
		M	89,36±20,24	22,65	28,66±15,97	55,73
		B	75,60±22,31	29,51	20,55±6,07	29,56
	AL-LAdx	T	75,84±27,36	36,08	48,33±20,91	43,27
		M	69,55±19,21	27,62	58,36±25,57	43,81
		B	57,55±28,43	49,39	48,93±25,24	51,59
SE-PAdx	T	102,58±19,43	18,94	71,11±13,43	18,89	
	M	96,49±25,06	25,97	67,87±23,89	35,20	
	B	72,44±24,02	33,17	54,39±14,11	25,94	
BA-PAdx	T	33,18±15,88	47,86	50,91±30,10	59,13	
	M	38,66±16,18	41,86	39,34±23,20	58,96	
	B	41,49±18,10	43,63	61,18±26,21	42,84	
Avaliador 3	MA-PAdx	T	77,91±22,73	29,18	52,72±22,11	41,93
		M	73,04±32,53	44,53	50,91±11,82	23,22
		B	84,58±25,82	30,53	42,97±17,05	39,68
	CE1-PAex	T	55,53±18,87	33,99	57,09±17,35	30,39
		M	72,25±29,09	40,27	50,43±21,35	42,33
		B	79,55±26,07	32,77	56,22±21,38	38,02
	CE2-PAex	T	100,04±19,69	19,69	62,04±21,30	34,34
		M	99,72±23,83	23,90	44,44±17,92	40,32
		B	75,34±31,59	41,94	63,43±34,41	54,26
	PE-PAdx	T	85,59±17,31	20,23	35,72±11,40	31,93
		M	81,19±18,64	22,96	28,53±14,02	49,13
		B	85,81±20,06	23,38	25,80±12,04	46,67

Tabela 19 - Análise exploratória dos dados de RT nas posições topo (T), meio (M) e base (B) dos horizontes com e sem caráter coeso obtidos pelo dinamômetro e pelos avaliadores humanos no TS-Soil

(conclusão)

Método de avaliação	Local-Classe de solo	Posição	Com caráter coeso		Sem caráter coeso	
			RT (kPa)	CV (%)	RT (kPa)	CV (%)
Avaliador 3	AL-LAdx	T	68,17±30,12	44,19	46,91±20,30	43,28
		M	61,33±24,88	40,57	48,90±22,65	46,33
		B	53,90±16,01	29,69	50,26±22,16	44,10
	SE-PAdx	T	104,53±18,44	17,65	68,97±33,00	47,85
		M	93,57±22,10	23,62	70,17±28,06	39,99
		B	84,86±29,44	34,69	61,55±33,67	54,69
	BA-PAdx	T	47,08±19,56	41,55	56,78±22,33	39,32
		M	47,16±17,07	36,21	55,01±22,70	41,27
		B	35,67±14,58	40,88	68,45±27,05	39,51

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.4 Densidade do solo

Na análise de variância para os dados de densidade, foram observadas diferenças significativas para todas as fontes de variação (Tabela 20).

Tabela 20 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de densidade do solo nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso

Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Densidade do solo	-0,75	Tratamento	41	5,0797	0,123	30,36*
		Resíduo	462	1,885	0,004	
		Total	462	1,885		
	Solos		6	3,395	0,565	138,71*
	Posição		2	0,256	0,128	31,49*
	Solos*Posição		12	0,131	0,010	2,69*
	Grau de coesão		1	0,629	0,629	154,24*
	Solos*Gru de coesão		6	0,393	0,065	16,09*
	Posição*Gru de coesão		2	0,180	0,090	22,15*
	Solos*Posição*Gru de coesão		12	0,090	0,007	1,86*

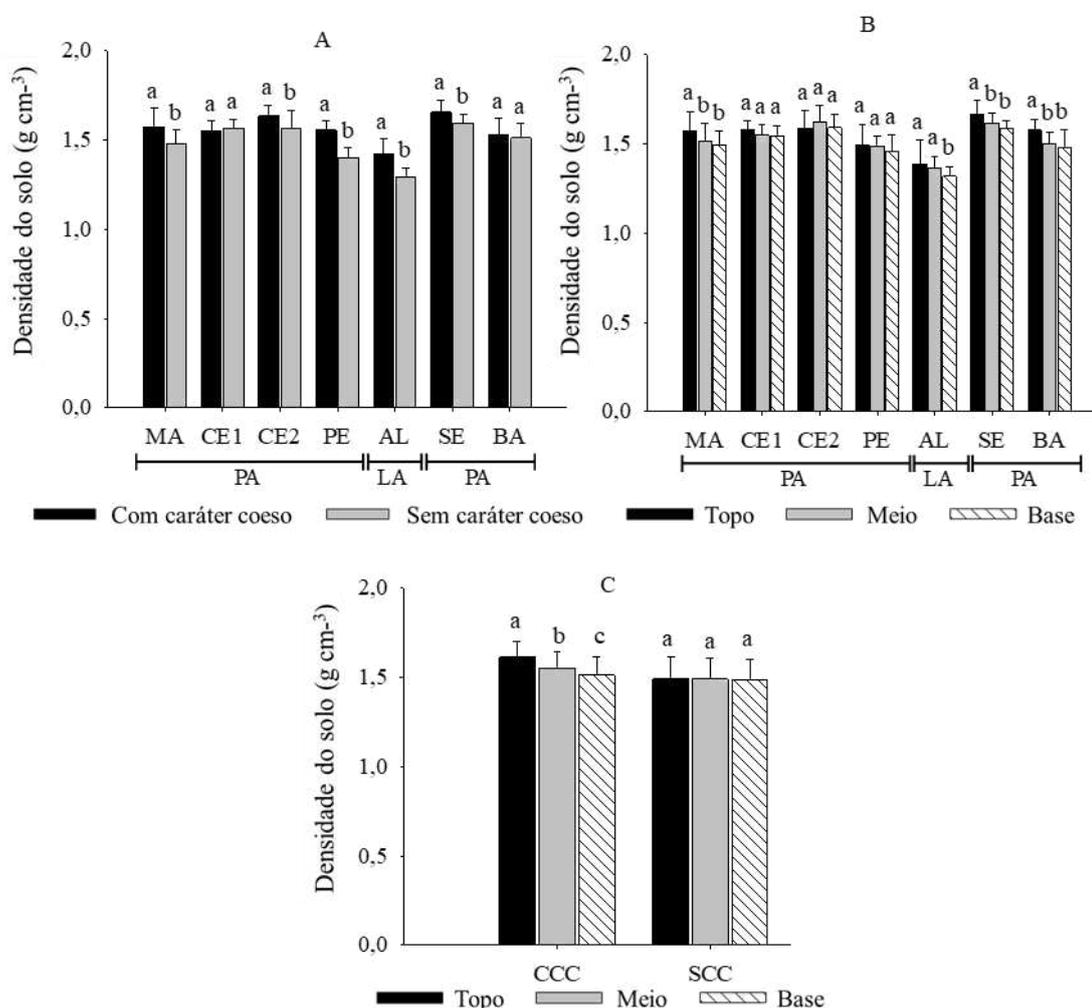
¹ Coeficiente de assimetria; ² Graus de liberdade; ³ Soma de quadrados; ⁴ Quadrados médios; ⁵ Teste F; *Significativo a 5%; **Não significativo.

Fonte: Elaborada pela autora.

Os horizontes com caráter coeso apresentaram valores de densidade significativamente maiores em relação àqueles sem o referido atributo diagnóstico (Figura 29 A). Resultado semelhante foi encontrado por Buss *et al.* (2019) ao evidenciarem 22,85% de aumento na densidade de um solo no horizonte com caráter coeso no estado do Maranhão.

As altas densidades encontradas nestes horizontes resultam de empacotamento mais fechado das partículas, favorecido em parte pela presença da fração areia mal selecionada e fina (SILVA *et al.*, 2020a). Ao ocupar os espaços entre as partículas maiores, a areia mais fina contribui para a redução do volume de poros, aumentando a densidade nos horizontes com caráter coeso (MENEZES *et al.*, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2018).

Figura 29 - Valores médios de densidade do solo nos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) de cada solo (A), nas posições topo, meio e base de cada solo (B), e nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso (C)



Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).

Fonte: Elaborada pela autora

Santana *et al.* (2006) apontaram que a densidade do solo, combinada com outros atributos, pode ser um importante indicador na avaliação da coesão de solos, embora a interferência da granulometria do solo dificulte o seu uso. Ao relacionar a densidade do solo com a RT, observou-se que o modelo de regressão foi significativo para os horizontes com caráter coeso (Tabela 21). Entretanto, cabe destacar que a densidade do solo isoladamente não permitiu separar adequadamente os horizontes com caráter coeso dos sem caráter coeso.

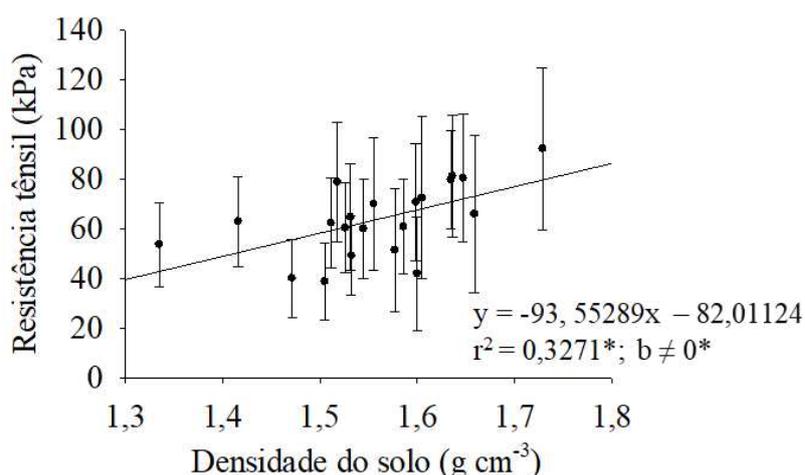
Tabela 21- Análise de regressão linear entre a densidade do solo e a RT nos horizontes com e sem caráter coeso nas posições topo, meio e base

Horizonte	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
Com caráter coeso	Tratamento	1	1371,085	1371,085	9,24*
	Resíduo	19	2820,249	148,434	
	Total	20	4191,334		
Sem caráter coeso	Tratamento	1	192,571	192,571	1,58 ^{ns}
	Resíduo	19	2313,760	121,776	
	Total	20	2506,332		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Fonte: Elaborada pela autora.

A análise de regressão entre RT e a densidade nos horizontes com caráter coeso (Figura 30) demonstrou que a relação é diretamente proporcional ($\hat{y} = 93,55x - 82,01$, com $r^2 = 0,33$ (significativo a 0,05 de probabilidade), ou seja, à medida que a densidade aumenta, a resistência do agregado também aumenta. Isso ocorre porque, para apresentar maior densidade, as partículas dos agregados apresentam organização mais adensada.

Figura 30 - Análise de regressão entre a densidade do solo e RT para os horizontes com caráter coeso



Fonte: Elaborada pela autora.

Isso ajuda a demonstrar que o empacotamento mais fechado das partículas provoca maior densidade e maior RT das amostras em horizontes com caráter coeso (ARAÚJO *et al.*, 2018). Esta associação entre atributos quantitativos na caracterização do caráter coeso foi apontada por Giarola e Silva (2002). Segundo estes autores, a combinação desses dois parâmetros (densidade e RT) pode auxiliar no estabelecimento de agrupamentos em níveis hierárquicos inferiores no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo.

4.2.5 Análise exploratória dos dados de densidade do solo

Para o atributo densidade do solo, o coeficiente de variação foi, em geral, baixo (<10%) (Tabela 22) para os horizontes com e sem caráter coeso nas posições topo, meio e base, segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980). Santana *et al.* (2006) encontraram variabilidade semelhante para este atributo em horizontes com caráter coeso. Os valores de densidade obtidos para os horizontes com caráter coeso variaram de 1,51 a 1,65 g cm⁻³ – portanto, na faixa da densidade média relatada na literatura em condições naturais para horizontes com caráter coeso (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2001; LIRA *et al.*, 2016).

Tabela 22 - Análise exploratória dos dados de densidade do solo para todos os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B)

(continua)

Local-Classe de solo	Grau de coesão	Densidade ± Desvio-padrão	CV (%)	Posição	Densidade ± Desvio-padrão	CV (%)
MA-PAdx	CCC	1,57 ± 0,10	6,61	T	1,63 ± 0,11	6,82
				M	1,56 ± 0,09	6,05
				B	1,53 ± 0,08	5,12
	SCC	1,48 ± 0,07	5,03	T	1,51 ± 0,06	3,80
				M	1,47 ± 0,09	5,97
				B	1,46 ± 0,07	4,68
CE1-PAex	CCC	1,55 ± 0,06	4,03	T	1,58 ± 0,06	3,52
				M	1,54 ± 0,07	4,61
				B	1,52 ± 0,05	3,16
	SCC	1,57 ± 0,05	3,10	T	1,57 ± 0,05	3,29
				M	1,55 ± 0,04	2,71
				B	1,57 ± 0,05	3,36

Tabela 22 - Análise exploratória dos dados de densidade do solo para todos os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B)

(conclusão)

Local-Classe de solo	Grau de coesão	Densidade ± Desvio-padrão	CV (%)	Posição	Densidade ± Desvio-padrão	CV (%)
CE2-PAex	CCC	1,63 ± 0,06	3,69	T	1,64 ± 0,07	4,54
				M	1,66 ± 0,04	2,39
				B	1,61 ± 0,05	3,34
	SCC	1,57 ± 0,10	6,26	T	1,54 ± 0,09	5,94
				M	1,59 ± 0,11	6,98
				B	1,58 ± 0,09	5,93
PE-PAdx	CCC	1,55 ± 0,05	3,34	T	1,60 ± 0,04	2,72
				M	1,53 ± 0,02	1,56
				B	1,53 ± 0,05	3,50
	SCC	1,40 ± 0,05	3,74	T	1,39 ± 0,05	3,55
				M	1,44 ± 0,04	3,07
				B	1,38 ± 0,05	3,49
AL-LAdx	CCC	1,42 ± 0,08	5,97	T	1,51 ± 0,05	3,03
				M	1,42 ± 0,03	2,20
				B	1,33 ± 0,05	3,97
	SCC	1,29 ± 0,05	3,90	T	1,26 ± 0,05	3,63
				M	1,31 ± 0,05	3,85
				B	1,30 ± 0,05	3,68
SE-PAdx	CCC	1,65 ± 0,07	4,14	T	1,73 ± 0,03	1,45
				M	1,65 ± 0,04	2,33
				B	1,59 ± 0,04	2,53
	SCC	1,59 ± 0,05	3,18	T	1,61 ± 0,05	3,14
				M	1,58 ± 0,06	3,73
				B	1,59 ± 0,04	2,73
BA-PAdx	CCC	1,53 ± 0,09	6,12	T	1,60 ± 0,07	4,16
				M	1,50 ± 0,07	4,39
				B	1,47 ± 0,10	6,54
	SCC	1,51 ± 0,08	5,22	T	1,55 ± 0,05	3,24
				M	1,49 ± 0,07	4,94
				B	1,49 ± 0,10	6,49

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.6 Granulometria nos horizontes com e sem caráter coeso e sua relação com a RT

Na análise de variância para os dados de areia, silte e argila nas posições topo, meio e base, foram observadas diferenças significativas para os tratamentos e interações (Tabela 23).

As interações entre solos e grau de coesão, e entre solos, posição e grau de coesão foram significativas para as três frações. No geral, a fração areia reduziu do topo para base (Figura 31B). Nas posições topo, meio e base, a areia foi maior no topo dos horizontes do PAex-CE1, PAdx-PE, LAdx-AL e PAdx-BA (Figura 31B), coincidindo com a posição apontada por Silva *et al.* (2020a) como de maior RT. Para os demais horizontes, não houve diferenças entre as posições.

Ao comparar os horizontes com e sem caráter coeso, houve diferenças significativas para a fração areia, com exceção do PAex-CE2 (Figura 31). Embora diferenças encontradas em relação à fração areia não expliquem isoladamente o aumento da coesão nos horizontes, a influência da fração areia na gênese do caráter coeso foi registrada por ARAÚJO *et al.* (2018).

Tabela 23 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de areia, silte e argila nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso

(continua)

Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Areia	0,47	Tratamento	41	5283413,177	128863,736	180,05*
		Resíduo	462	330663,583	715,722	
		Total	503	5614076,760		
		Solos	6	4446143,607	741023,935	1035,35*
		Posição	2	80122,766	40061,383	55,97*
		Solos*Posição	12	88603,262	7383,605	10,32*
		Grau de coesão	1	140100,018	140100,018	195,75*
		Solos*Grau de coesão	6	466447,718	77741,286	108,62*
		Posição*Grau de coesão	2	2918,893	1459,446	2,04 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	59076,913	4923,076	6,88*
Silte	0,49	Tratamento	41	308792,2480	7531,5182	5,74*
		Resíduo	462	606621,0833	1313,0326	
		Total	503	915413,3313		
		Solos	6	121006,4286	20167,7381	15,36*
		Posição	2	10603,7659	5301,8829	4,04*
		Solos*Posição	12	26638,4286	2219,8690	1,69 ^{ns}
		Grau de coesão	1	1020,0179	1020,0179	0,78 ^{ns}
		Solos*Grau de coesão	6	74493,8571	12415,6429	9,46*
		Posição*Grau de coesão	2	4956,2500	2478,1250	1,89 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	70073,5000	5839,4583	4,45*

Tabela 23 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de areia, silte e argila nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso

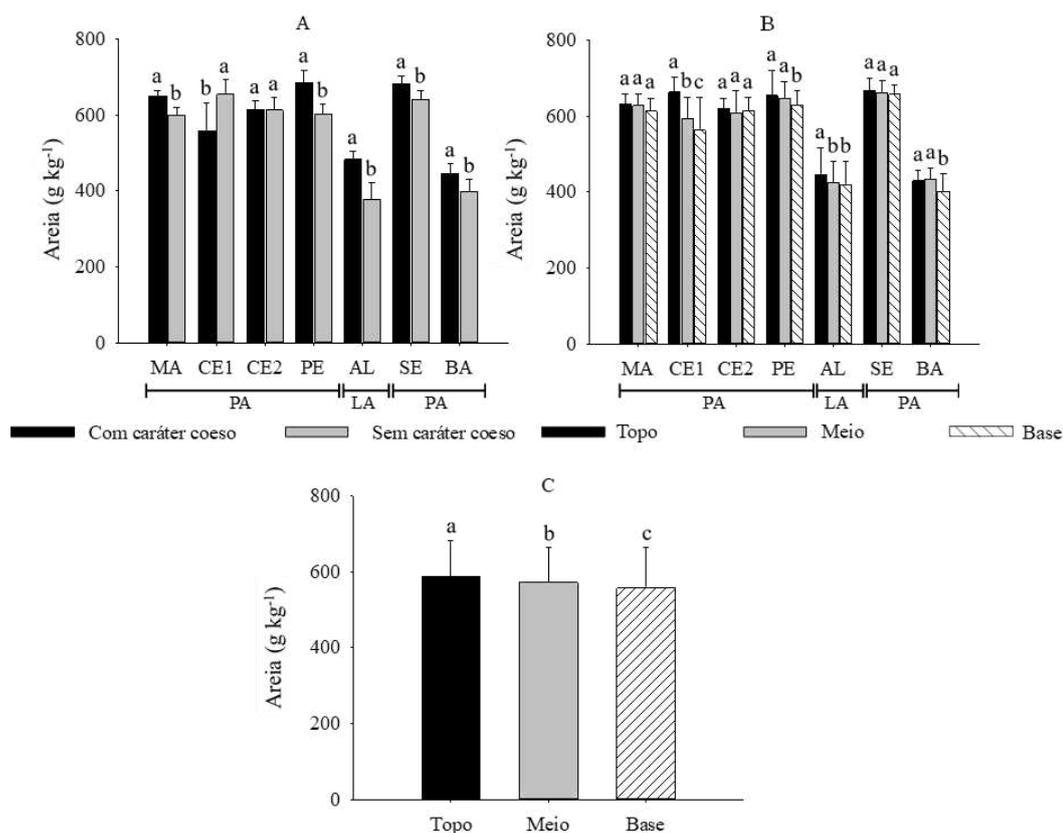
(conclusão)

Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Argila	-0,24	Tratamento	41	5858092,690	142880,310	90,40*
		Resíduo	462	730188,667	1580,495	
		Total	503	6588281,357		
		Solos	6	5157427,468	859571,245	543,86*
		Posição	2	36236,083	18118,042	11,46*
		Solos*Posição	12	91805,889	7650,491	4,84*
		Grau de coesão	1	165680,643	165680,643	104,83*
		Solos*Grau de coesão	6	354205,968	59034,328	37,35*
		Posição*Grau de coesão	2	324,798	162,399	0,10 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	52411,841	4367,653	2,76*

¹Coeficiente de assimetria; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrados; ⁴Quadrados médios; ⁵Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo.

Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 31 - Valores médios da fração areia nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A), nas posições topo, meio e base de cada solo (B), e nas posições topo, meio e base de todos os solos (C)



Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).

Fonte: Elaborada pela autora.

Na análise de regressão linear, considerando a RT e os teores médios das frações areia, silte e argila para os horizontes com caráter coeso nas posições topo, meio e base, apenas o modelo para o silte não foi significativo. Para os horizontes sem caráter coeso, os modelos não foram significativos para nenhuma das frações (Tabela 24).

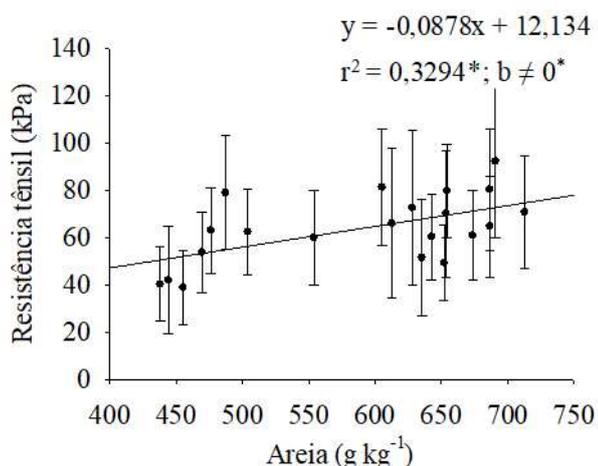
Tabela 24 - Análise de variância da regressão entre os dados médios de RT e das frações areia, silte e argila dos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo, meio e base

Horizonte	Variável	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
CCC	Areia	Tratamento	1	1380,610	1380,610	9,33*
		Resíduo	19	2810,724	147,93286	
		Total	20	4191,334		
	Silte	Tratamento	1	81,891	81,891	0,38 ^{ns}
		Resíduo	19	4109,443	216,28652	
		Total	20	4191,334		
	Argila	Tratamento	1	1488,973	1488,973	10,47*
		Resíduo	19	2702,361	142,22954	
		Total	20	4191,334		
SCC	Areia	Tratamento	1	48,085	48,085	0,37 ^{ns}
		Resíduo	19	2458,246	129,38138	
		Total	20	2506,332		
	Silte	Tratamento	1	163,048	163,048	1,32 ^{ns}
		Resíduo	19	2343,283	123,33071	
		Total	20	2506,332		
	Argila	Tratamento	1	81,508	81,508	0,64 ^{ns}
		Resíduo	19	2424,823	127,622	
		Total	20	2506,332		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da regressão entre RT e os teores médios de areia demonstraram que estes atributos são diretamente proporcionais ($\hat{y} = -0,088x + 91,873$, com $r^2 = 0,33$, significativo a 0,05 de probabilidade, e coeficiente angular diferente de zero), evidenciando que aumentos na fração areia resultam em aumento da RT das amostras (Figura 32). Este comportamento não foi identificado nos horizontes sem caráter coeso, para os quais o modelo de regressão não foi significativo (Tabela 24).

Figura 32 - Regressão entre a RT e areia nos horizontes com caráter coeso

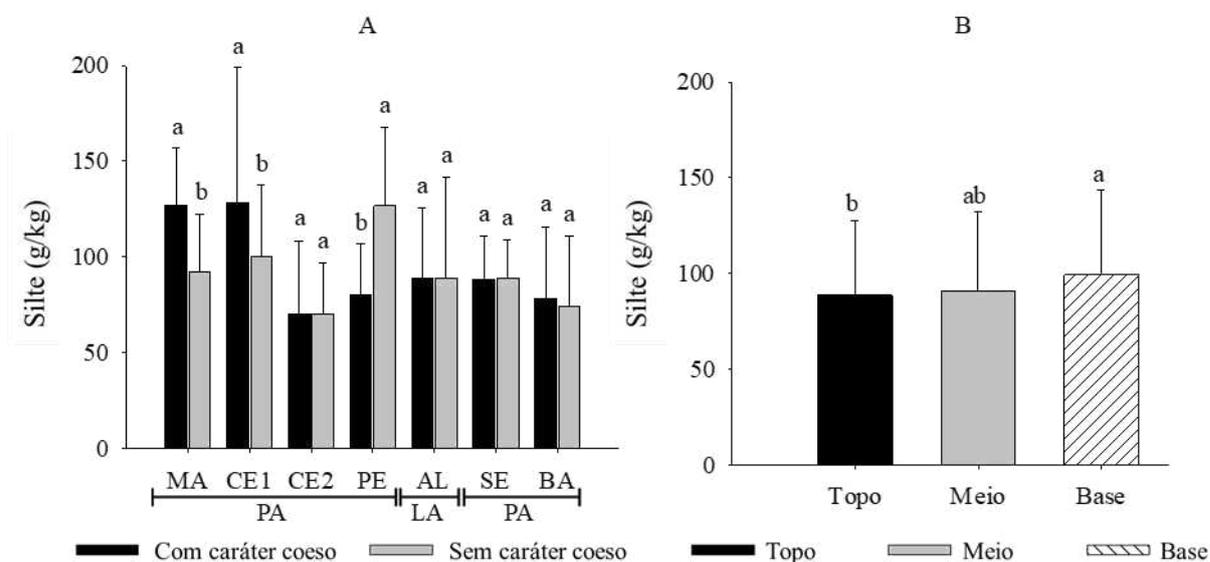


Fonte: Elaborada pela autora.

O silte foi a fração de menor ocorrência nos solos estudados. A baixa razão silte/argila destes solos pode ser relacionada ao material de origem e ao estágio de intemperismo mais avançado (MOREAU *et al.*, 2006; DANTAS *et al.*, 2014). Para a fração silte, não foram encontradas diferenças significativas para a maioria dos horizontes (Figura 33). Silva *et al.* (2020a) e Araújo *et al.* (2018) identificaram maior presença de silte nos horizontes sem caráter coeso de Argissolos nos estados do Ceará (CE) e Pernambuco (PE). Este comportamento também foi identificado no PAex-PE (Figura 33).

No entanto, para os outros dois solos (MA-PAdx e CE1-PAex) nos quais diferenças entre os teores de silte foram encontradas, o comportamento foi inverso. A maior ocorrência do silte nos horizontes com caráter coeso destes solos pode estar relacionada à sua movimentação de horizontes subjacentes ao horizonte com caráter coeso, de modo que a menor porosidade do horizonte com caráter coeso resulta em seu acúmulo neste horizonte (MOTA *et al.*, 2018).

Figura 33 - Valores médios da fração silte nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A) e para as posições topo, meio e base (B) de todos os solos.

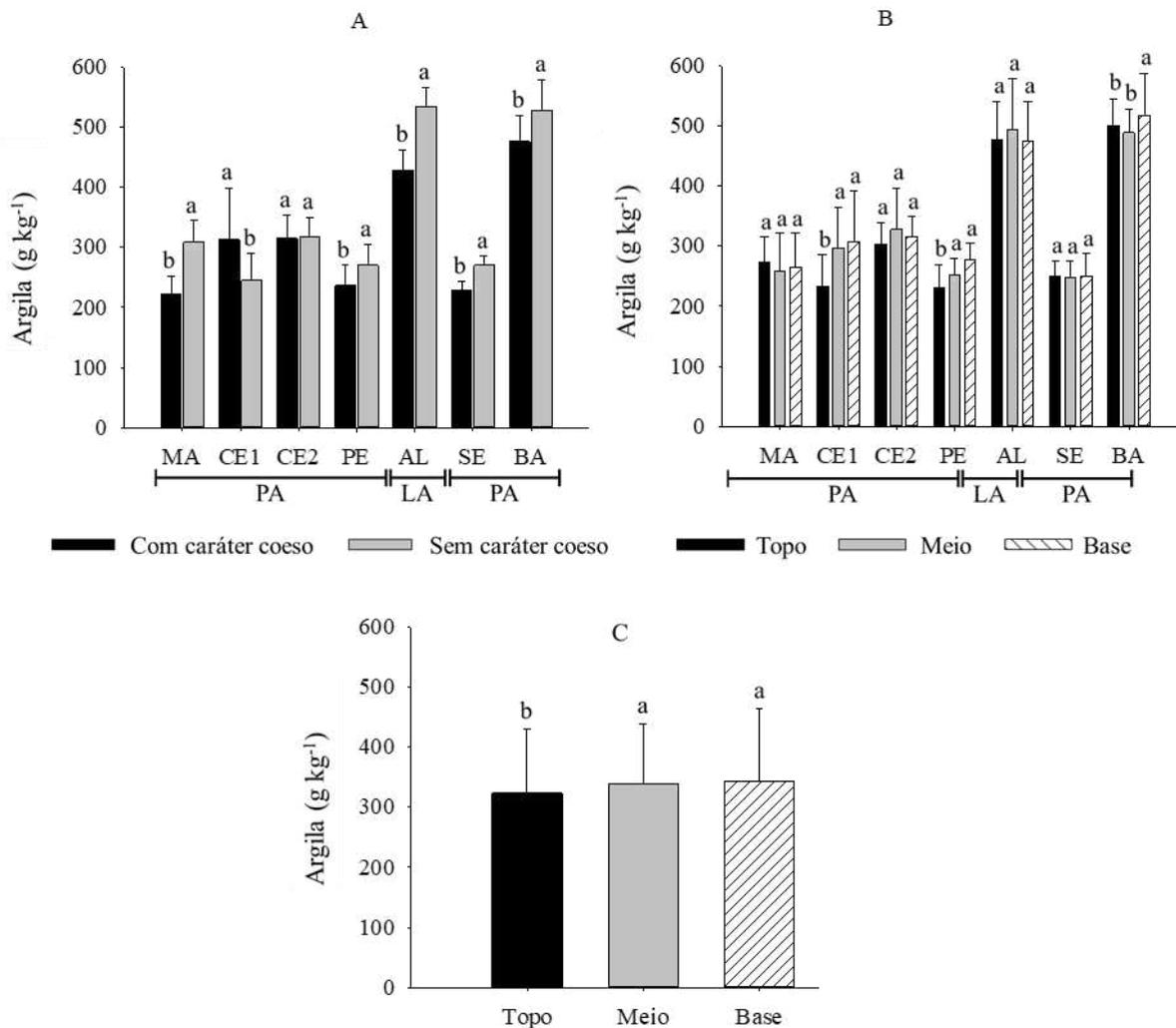


Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao comparar os horizontes com e sem caráter coeso, houve diferenças significativas para a fração argila (Figura 34A). Os maiores teores de argila foram constatados para a maioria dos horizontes sem caráter coeso, com exceção do PAex-CE2. Isso sugere que o teor de argila, isoladamente, não explica a coesão dos solos. A maior ocorrência da fração argila no horizonte com caráter coeso do PAex-CE2 pode ser associada à argiluviação; uma vez que a argila transcolada deposita-se entre os espaços porosos, há aumento do contato entre as partículas, provocando a redução da porosidade e, conseqüentemente, empacotamento mais denso (ARAÚJO *et al.*, 2018; MOREAU *et al.*, 2006).

Figura 34 - Valores médios da fração argila nos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (A) para cada solo, nas posições topo, meio e base (B) e para topo, meio e base de todos os horizontes (C)



Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).

Fonte: Elaborada pela autora.

Além disso, vale destacar que a menor ocorrência de argila na maioria dos horizontes com caráter coeso, em comparação aos horizontes sem caráter coeso, corrobora os achados de Ribeiro (2001), que afirma que o processo de argiluviação não explica sozinho a gênese do caráter coeso em solos.

Para Ribeiro (2001), grande parte da argila dos horizontes superficiais é eliminada dos solos por erosão diferencial, e apenas uma pequena parte dessas argilas pode ser iluviada para o topo do horizonte com caráter coeso – como visto, o topo é justamente a posição que apresenta maior RT nos horizontes com caráter coeso (SILVA *et al.*, 2020a), sugerindo relação

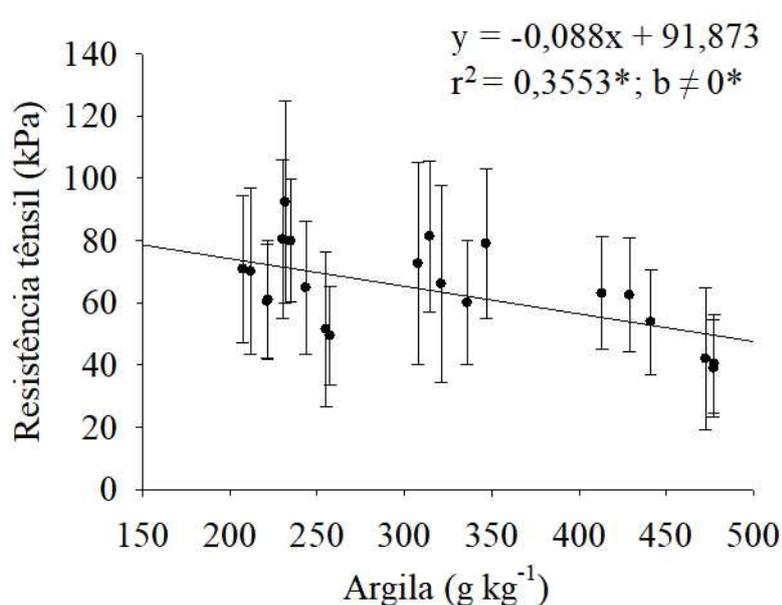
direta de causa e efeito entre argila e a RT das amostras. No entanto, a RT foi inversamente proporcional aos teores de argila (Figura 35), o que minimiza os efeitos da argila no aumento da coesão destes solos, provavelmente pela combinação de areias mal selecionadas e cimentantes, como a sílica, que também têm efeito sobre a RT (MOTA *et al.*, 2021).

Ainda com relação à fração argila, esta foi maior na posição base para o PAex-CE1, PAdx-PE e PAdx-BA (Figura 34B). Para os demais solos estudados, não houve diferenças significativas entre as posições topo, meio e base, indicando não ser a argila isoladamente a definir diferenças entre as médias de RT em horizontes com caráter coeso.

Embora a relação direta entre RT e argila seja apontada na literatura (IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002; SILVA *et al.*, 2020a), isso não foi confirmado ao relacionar tais atributos nos solos estudados. A análise de regressão entre a RT e a argila indicou que estes atributos são inversamente proporcionais ($\hat{y} = -0,0888x + 91,873$), com $r^2 = 0,36$ e coeficiente angular diferente de zero (ambos significativos a 0,05 de probabilidade), evidenciando que à medida que a fração argila aumenta, a RT diminui (Figura 35).

Ferreira *et al.* (2011) também encontraram relação linear significativa e inversamente proporcional entre ambas as variáveis. Especula-se que além da mineralogia caulínica (argilomineral do tipo 1:1) nestes solos, que resulta em menor RT (BARZEGAR *et al.*, 1995; CINTRA *et al.*, 2009; JACOMINE *et al.*, 1977), o tamanho da argila tenha contribuído para a relação inversa entre a RT e argila. Barzegar *et al.* 1995 encontraram diminuição da RT de agregados com o aumento do diâmetro da fração argila – isso se justifica pelo fato de argilas de menor tamanho preencherem poros, aumentando o contato e a coesão entre partículas. Ademais, à medida que o tamanho da argila aumenta, há redução de sua superfície específica, o que também contribui para menor área de contato e conseqüente redução da RT (BARZEGAR *et al.*, 1995; LIMA NETO *et al.*, 2009).

Figura 35 - Regressão entre a RT e os valores médios da argila dos horizontes com caráter coeso das posições topo, meio e base



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.7 Análise exploratória dos dados de areia, silte e argila

O coeficiente de variação (CV) para a fração areia nos horizontes com e sem caráter coeso foi de 2,29 a 13,27% (Tabela 25). Valores próximos a estes foram encontrados por Buss *et al.* (2018), em um Latossolo Vermelho com caráter coeso ($CV < 12\%$), e Araújo *et al.* (2018) em dois Argissolos que também apresentavam caráter coeso ($CV = 2,7\%$).

Nos horizontes com e sem caráter coeso, para o silte foram obtidos coeficientes de variação entre maiores que 23% e menores que 60% e, para a argila, esses valores foram maiores que 6% e menores que 20% (Tabela 25). De acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), o CV do silte foi considerado médio e o da argila de baixo a médio. O coeficiente de variação para as frações areia, silte e argila nas posições topo, meio e base foi similar nos horizontes com e sem caráter coeso (Tabela 26).

Tabela 25 - Análise exploratória dos dados de areia, silte e argila para todos os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) para diferentes locais

Local-Classe de solo	Tipo	Areia (g kg ⁻¹)	CV (%)	Silte (g kg ⁻¹)	CV (%)	Argila (g kg ⁻¹)	CV (%)
MA-PAdx	CCC	650 ± 14,91	2,29	127 ± 29,61	23,31	223 ± 22,63	10,16
	SCC	599 ± 21,02	3,51	93 ± 30,13	32,61	308 ± 16,21	5,26
CE1-PAex	CCC	559 ± 74,15	13,27	129 ± 70,35	54,73	312 ± 61,65	19,72
	SCC	655 ± 37,48	5,72	100 ± 37,39	37,30	245 ± 31,96	13,07
CE2-PAex	CCC	615 ± 23,88	3,88	71 ± 38,24	54,48	314 ± 34,47	10,96
	SCC	613 ± 31,97	5,21	71 ± 26,47	37,70	316 ± 35,69	11,28
PE-PAdx	CCC	684 ± 35,15	5,14	80 ± 26,71	33,39	236 ± 26,38	11,17
	SCC	603 ± 26,76	4,44	127 ± 41,24	32,55	270 ± 35,56	13,16
AL-LAdx	CCC	483 ± 20,63	4,27	89 ± 36,37	40,83	428 ± 33,59	7,85
	SCC	377 ± 43,22	11,45	89 ± 52,95	59,65	534 ± 51,50	9,64
SE-PAdx	CCC	684 ± 20,64	3,02	88 ± 22,47	25,44	228 ± 16,67	7,31
	SCC	641 ± 23,98	3,74	89 ± 19,97	22,45	270 ± 23,25	8,62
BA-PAdx	CCC	446 ± 25,02	5,61	78 ± 37,59	48,01	476 ± 31,30	6,58
	SCC	398 ± 32,08	8,06	74 ± 36,89	49,78	528 ± 38,74	7,34

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 26 - Análise exploratória dos valores médios (com desvio-padrão) de areia, silte e argila para todos os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B) para diferentes locais

(continua)

Local-Classe de solo	Posição-Grau de coesão	Areia (g kg ⁻¹)	CV (%)	Silte (g kg ⁻¹)	CV (%)	Argila (g kg ⁻¹)	CV (%)
MA-PAdx	T-CCC	654±17,36	2,65	111±26,70	24,10	235±22,63	9,63
	M-CCC	654±6,99	1,07	134±18,95	14,10	212±18,77	8,86
	B-CCC	643±16,24	2,53	136±35,84	26,36	221±39,56	17,87
	T-SCC	609±10,10	1,66	81±16,30	20,06	310±16,21	5,23
	M-SCC	604±25,34	4,20	91±41,53	45,81	305±54,56	17,86
	B-SCC	586±18,51	3,16	105±24,10	22,92	309±27,66	8,95

Tabela 26 - Análise exploratória dos valores médios (com desvio-padrão) de areia, silte e argila para todos os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) nas posições topo (T), meio (M) e base (B) para diferentes locais

(conclusão)

Local-Classe de solo	Posição-Grau de coesão	Areia (g kg ⁻¹)	CV (%)	Silte (g kg ⁻¹)	CV (%)	Argila (g kg ⁻¹)	CV (%)
CE1-PAex	T-CCC	635±26,25	4,13	110±63,87	58,27	255±61,65	24,17
	M-CCC	554±44,13	7,97	110±40,72	36,98	336±71,14	21,17
	B-CCC	487±53,51	10,98	166±87,90	52,98	347±95,63	27,57
	T-SCC	693±22,84	3,30	97±30,90	31,76	210±31,96	15,24
	M-SCC	635±34,94	5,50	109±39,98	36,57	256±37,12	14,51
	B-SCC	638±19,40	3,04	94±41,90	44,51	268±44,48	16,58
CE2-PAex	T-CCC	605±18,46	3,05	81±30,12	37,52	314±34,47	10,96
	M-CCC	613±19,30	3,15	66±44,85	67,61	321±42,55	13,25
	B-CCC	628±28,33	4,51	64±39,55	61,82	308±38,82	12,61
	T-SCC	636±26,84	4,22	72±18,91	26,11	292±35,69	12,23
	M-SCC	606±17,80	2,94	60±13,34	22,17	334±25,05	7,50
	B-SCC	598±36,99	6,18	79±38,87	49,79	323±24,70	7,64
PE-PAdx	T-CCC	713±35,26	4,95	80±25,75	32,36	207±26,38	12,71
	M-CCC	687±14,51	2,11	70±26,70	38,24	244±29,01	11,91
	B-CCC	652±21,12	3,24	91±25,67	28,35	257±26,27	10,21
	T-SCC	596±20,66	3,46	150±44,37	29,65	254±35,56	14,00
	M-SCC	608±21,37	3,52	130±34,31	26,27	262±22,91	8,76
	B-SCC	605±36,30	6,00	100±29,81	29,85	295±12,27	4,16
AL-LAdx	T-CCC	504±22,67	4,50	67±32,98	49,04	429±33,59	7,83
	M-CCC	476±8,56	1,80	111±21,89	19,79	413±23,70	5,74
	B-CCC	469±6,27	1,34	90±40,21	44,97	441±38,97	8,83
	T-SCC	386±54,57	14,13	91±34,90	38,44	523±51,50	9,84
	M-SCC	375±21,31	5,69	53±19,54	36,79	572±26,23	4,58
	B-SCC	371±48,74	13,14	122±68,52	55,97	507±71,52	14,11
SE-PAdx	T-CCC	691±26,71	3,87	77±24,70	31,95	232±16,67	7,19
	M-CCC	687±12,56	1,83	83±9,22	11,08	230±12,02	5,22
	B-CCC	674±17,58	2,61	105±21,53	20,60	221±15,76	7,10
	T-SCC	646±20,23	3,13	87±15,55	17,83	267±23,25	8,72
	M-SCC	637±29,52	4,64	100±24,26	24,28	264±30,07	11,41
	B-SCC	641±22,31	3,48	80±14,49	18,17	279±26,34	9,44
BA-PAdx	T-CCC	444±23,01	5,18	83±24,50	29,53	473±31,30	6,62
	M-CCC	455±22,01	4,83	67±31,05	46,08	478±34,19	7,17
	B-CCC	438±28,45	6,50	85±52,30	61,89	477±60,89	12,75
	T-SCC	415±22,61	5,45	57±31,34	54,96	528±38,74	7,34
	M-SCC	413±19,00	4,60	87±36,86	42,14	500±40,41	8,09
	B-SCC	365±26,11	7,15	78±38,21	49,11	557±54,34	9,76

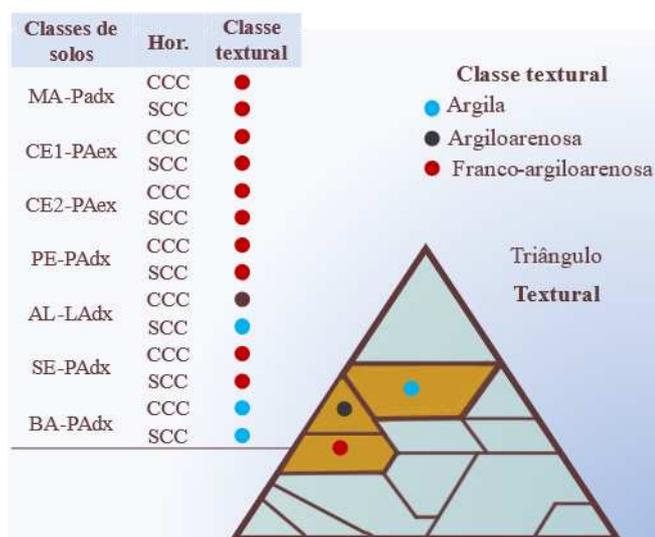
Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados da análise granulométrica demonstram que a fração areia prevaleceu para a maioria dos horizontes (com e sem caráter coeso), definindo com as frações silte e argila a textura franco-argiloarenosa, com exceção do LAdx-AL e do PAdx-BA (Tabela 25, Tabela 26 e Figura 36).

A classe textural franco-argiloarenosa também foi identificada nos trabalhos de Corrêa *et al.* (2008), Giarola *et al.* (2003), Moreau *et al.* (2006), e em trabalhos mais recentes em horizontes com caráter coeso (GOMES *et al.*, 2017; MENEZES *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2020a). Vale registrar que as diferenças nas quantidades de areia dos horizontes não foram suficientes para provocar alteração nas classes texturais dos horizontes com e sem caráter coeso para a maioria dos solos.

Figura 36 - Classes texturais para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC) dos solos estudados



Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.8 Fracionamento da areia

Na análise de variância para os dados do fracionamento da areia para as posições topo, meio e base, foram observadas diferenças para a interação entre solos e grau de coesão para todas as frações (Tabela 27).

Tabela 27 - Coeficiente de assimetria e análise de variância do fracionamento da areia (areia muito grossa, areia grossa, areia média, fina e areia muito fina) nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso dos sete solos estudados.

(continua)

Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Areia muito grossa	0,59	Tratamento	41	5,801	0,141	42,21*
		Resíduo	462	1,548	0,003	
		Total	503	7,350		
		Solos	6	4,921	0,820	244,65*
		Posição	2	0,018	0,009	2,79 ^{ns}
		Solos*Posição	12	0,096	0,008	2,40*
		Grau de coesão	1	0,167	0,167	49,88*
		Solos*Grau de coesão	6	0,102	0,017	5,10*
		Posição*Grau de coesão	2	0,131	0,065	19,58*
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	0,363	0,030	9,05*
Areia grossa	0,68	Tratamento	41	13,103	0,319	77,68*
		Resíduo	12	0,137	0,011	
		Total	503	15,003		
		Solos	6	11,637	1,939	471,46*
		Posição	2	0,052	0,026	6,36*
		Solos*Posição	12	0,137	0,011	2,78*
		Grau de coesão	1	0,287	0,287	69,80*
		Solos*Grau de coesão	6	0,751	0,125	30,43*
		Posição*Grau de coesão	6	0,751	0,125	30,43 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	0,216	0,0180	4,39*
Areia média	0,42	Tratamento	41	42,137	1,027	36,18*
		Resíduo	462	13,122	0,028	
		Total	503	55,260		
		Solos	6	32,493	5,415	190,66*
		Posição	2	0,648	0,324	11,41*
		Solos*Posição	12	0,236	0,0196	0,69 ^{ns}
		Grau de coesão	1	0,189	0,189	6,68*
		Solos*Grau de coesão	6	6,172	1,028	36,22*
		Posição*Grau de coesão	2	0,089	0,044	1,58 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	2,307	0,192	6,77*
Areia fina	-0,66	Tratamento	41	43,01680337	1,04919033	38,61*
		Resíduo	462	12,55432500	0,02717386	
		Total	503	55,57112837		
		Solos	6	36,05451587	6,00908598	221,13*
		Posição	2	0,12501944	0,06250972	2,30 ^{ns}
		Solos*Posição	12	2,48247222	0,20687269	7,61*
		Grau de coesão	1	0,63502401	0,63502401	23,37*
		Solos*Grau de coesão	6	2,35444127	0,39240688	14,44*
		Posição*Grau de coesão	2	0,02764325	0,01382163	0,51 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	1,33768730	0,11147394	4,10*

Tabela 27 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados do fracionamento da areia nas posições topo, meio e base dos horizontes com e sem caráter coeso

(conclusão)

Variável	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
Areia muito fina	0,78	Tratamento	41	2,083	0,050	6,55*
		Resíduo	462	3,584	0,007	
		Total	503	5,668		
		Solos	6	1,0346	0,172	22,22*
		Posição	2	0,098	0,049	6,34*
		Solos*Posição	12	0,223	0,018	2,40*
		Grau de coesão	1	0,009	0,009	1,25 ^{ns}
		Solos*Grau de coesão	6	0,430	0,071	9,26*
		Posição*Grau de coesão	2	0,011	0,005	0,71 ^{ns}
		Solos*Posição*Grau de coesão	12	0,275	0,022	2,96*

¹Coeficiente de assimetria; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrados; ⁴Quadrados médios; ⁵Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns} Não significativo.

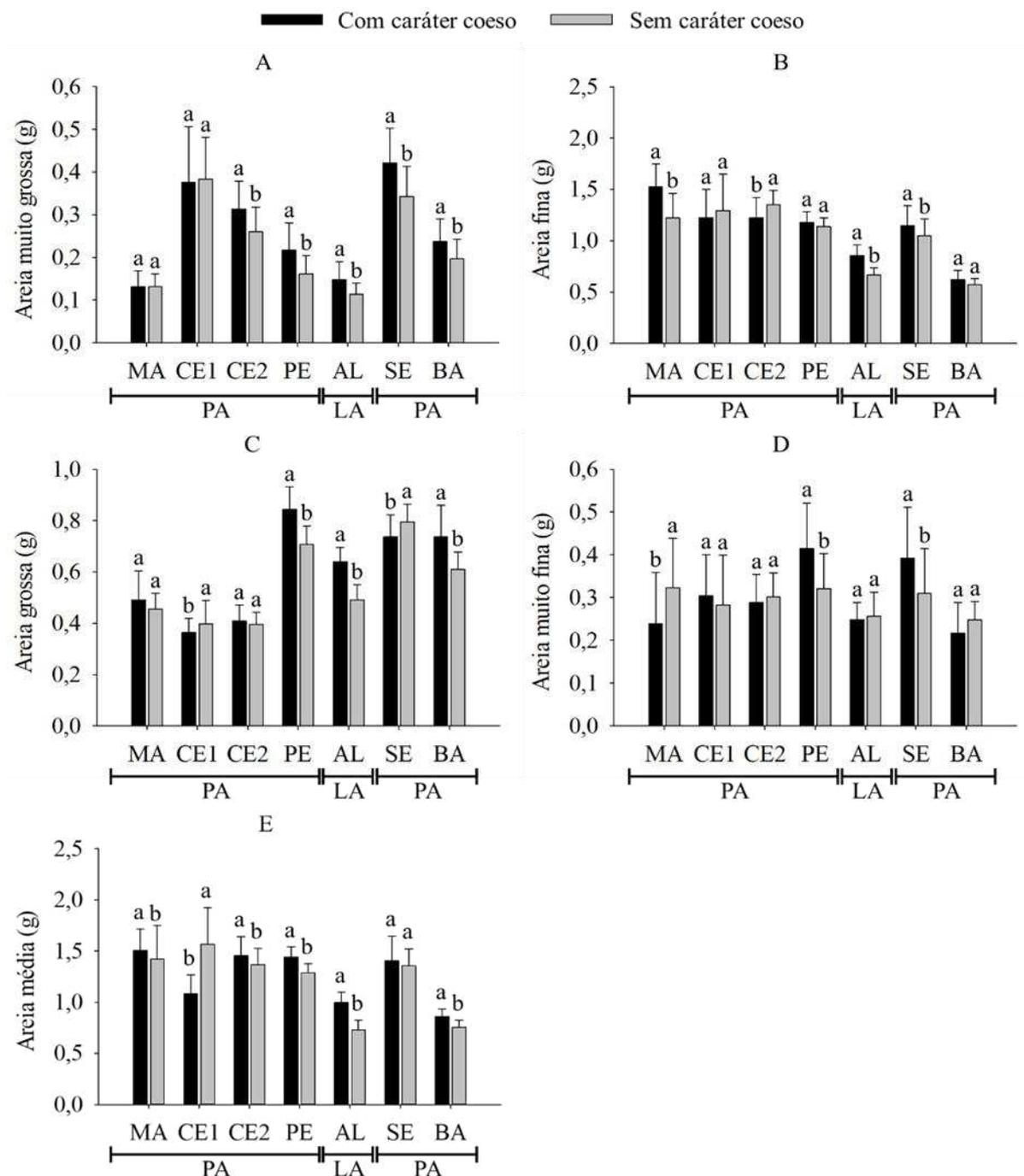
Fonte: Elaborada pela autora.

Ao avaliar o tamanho das areias nos horizontes com e sem caráter coeso, diferenças significativas foram encontradas para todos os tamanhos estudados (Figura 37). A fração areia muito grossa foi maior para a maioria dos horizontes com caráter coeso, com exceção do PAex-MA e Paex-CE1, enquanto a fração areia fina predominou para o MA- PAex, AL-LAdx-, SE-PAdx. A areia muito fina foi superior nos horizontes com caráter coeso no PE- PAdx e SE-PAdx). Ao analisar o grau de classificação de areia (Folk e Ward, 1957), a maioria dos horizontes (com e sem caráter coeso) apresentou predominância de areias pobremente selecionadas no topo, meio e base (Tabela 28).

A presença de materiais mal selecionados nos solos provoca empacotamento mais denso das partículas, o que resulta no aumento da densidade dos horizontes com caráter coeso, contribuindo significativamente para a maior RT das amostras (ARAÚJO *et al.*, 2018). Como visto anteriormente, elevados valores de densidade foram identificados nos solos, principalmente naqueles com caráter coeso.

Os horizontes com caráter coeso que apresentaram os maiores valores de RT (PAex-SE, PAex-CE e PAex-PE) foram, também, os que apresentam maiores valores de areia muito grossa e areia fina em comparação aos horizontes sem caráter coeso, com exceção do PAdx-MA (Figura 37). Apenas para o PAdx-MA, o grau de distribuição das areias, segundo a classificação de Folk e Ward (1957), foi moderadamente selecionado (Tabela 28).

Figura 37 - Valores médios de areia muito grossa (A), areia grossa (B), areia média (C), areia fina (D) e muito fina (E) para os horizontes dos solos com e sem caráter coeso



Argissolos Amarelos (PA) e Latossolos Amarelos (LA) dos estados do Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA).
Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar a distribuição das areias nos horizontes com e sem caráter coeso nas posições topo, meio e base, identificou-se o predomínio da areia média e areia fina para todos

os solos (Figura 38 e Figura 39). A presença de areias mal selecionadas, com predomínio de areia fina, em solos desenvolvidos a partir dos sedimentos da Formação Barreiras, tem influência no adensamento dos solos (ABRAHÃO *et al.*, 1998).

Silva *et al* (2020a), Araújo *et al.* (2018) e Bezerra *et al.* (2015), encontraram maior adensamento em solos com caráter coeso desenvolvidos dos sedimentos da Formação Barreiras. A predominância de areia média e fina, indicando areias pobremente selecionadas, foi apontada por estes autores como fator que contribui com a formação dos horizontes com caráter coeso, embora seja importante destacar que presença de areias mal selecionadas não explica isoladamente o aumento da coesão nos horizontes (ARAÚJO *et al.* (2018).

Tabela 28 - Parâmetros estatísticos para a distribuição da fração areia (média \pm desvio-padrão) e grau de seleção segundo Folk e Ward (1957) para horizontes com e sem caráter coeso

(continua)

Local-Classe de solo	Horizonte	Posição	Φ (média \pm desvio-padrão)	Grau de seleção da fração areia	
MA-PAdx	Com caráter coeso	Topo	1,90 \pm 0,91	Moderadamente selecionado	
		Meio	1,89 \pm 0,85	Moderadamente selecionado	
	Sem caráter coeso	Base	1,86 \pm 0,96	Moderadamente selecionado	
		Topo	1,85 \pm 0,95	Moderadamente selecionado	
			Meio	1,96 \pm 1,01	Pobremente selecionado
			Base	1,92 \pm 1,01	Pobremente selecionado
CE1-PAex	Com caráter coeso	Topo	1,73 \pm 1,27	Pobremente selecionado	
		Meio	1,75 \pm 1,14	Pobremente selecionado	
	Sem caráter coeso	Base	1,78 \pm 1,20	Pobremente selecionado	
		Topo	1,85 \pm 1,02	Pobremente selecionado	
			Meio	1,81 \pm 1,08	Pobremente selecionado
			Base	1,53 \pm 1,16	Pobremente selecionado
CE2-PAex	Com caráter coeso	Topo	1,73 \pm 1,12	Pobremente selecionado	
		Meio	1,78 \pm 1,08	Pobremente selecionado	
	Sem caráter coeso	Base	1,81 \pm 1,08	Pobremente selecionado	
		Topo	1,87 \pm 1,04	Pobremente selecionado	
			Meio	1,87 \pm 1,08	Pobremente selecionado
			Base	1,87 \pm 1,06	Pobremente selecionado
PE-PAdx	Com caráter coeso	Topo	1,74 \pm 1,15	Pobremente selecionado	
		Meio	1,75 \pm 1,18	Pobremente selecionado	
	Sem caráter coeso	Base	1,76 \pm 1,03	Pobremente selecionado	
		Topo	1,79 \pm 1,05	Pobremente selecionado	
			Meio	1,79 \pm 1,07	Pobremente selecionado
			Base	1,72 \pm 1,06	Pobremente selecionado

Tabela 28 - Parâmetros estatísticos para a distribuição da fração areia (média \pm desvio-padrão) e grau de seleção segundo Folk e Ward (1957) para horizontes com e sem caráter coeso

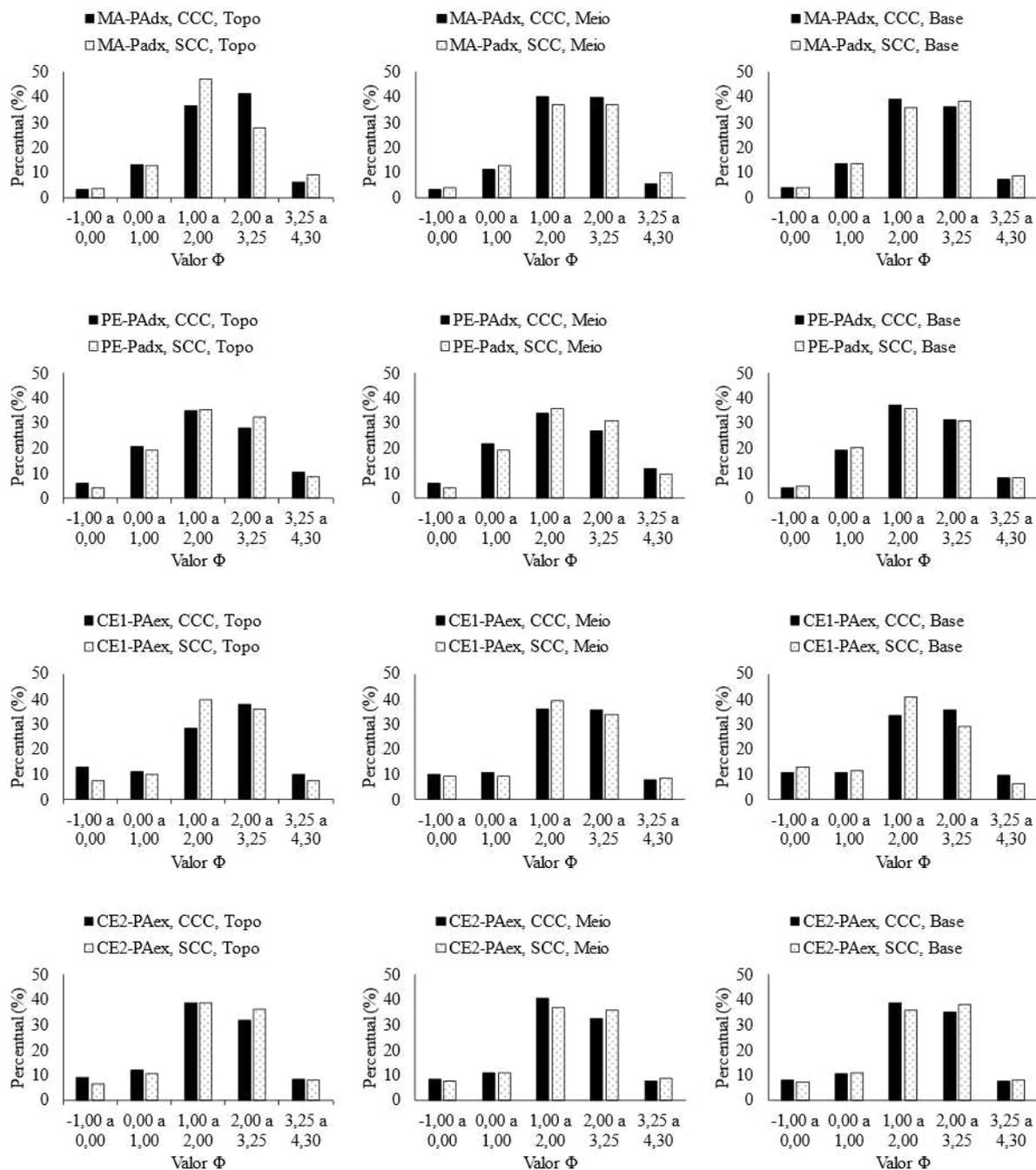
(conclusão)

Local-Classe de solo	Horizonte	Posição	Φ (média \pm desvio-padrão)	Grau de seleção da fração areia
AL-PAdx	Com	Topo	1,71 \pm 1,07	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,73 \pm 1,11	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,66 \pm 1,12	Pobrememente selecionado
	Sem	Topo	1,78 \pm 1,13	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,74 \pm 1,11	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,80 \pm 1,17	Pobrememente selecionado
SE-PAdx	Com	Topo	1,54 \pm 1,18	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,69 \pm 1,23	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,64 \pm 1,20	Pobrememente selecionado
	Sem	Topo	1,58 \pm 1,20	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,60 \pm 1,14	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,55 \pm 1,10	Pobrememente selecionado
BA-PAdx	Com	Topo	1,43 \pm 1,14	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,47 \pm 1,17	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,54 \pm 1,17	Pobrememente selecionado
	Sem	Topo	1,59 \pm 1,19	Pobrememente selecionado
	caráter	Meio	1,61 \pm 1,21	Pobrememente selecionado
	coeso	Base	1,57 \pm 1,21	Pobrememente selecionado

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-Ladx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

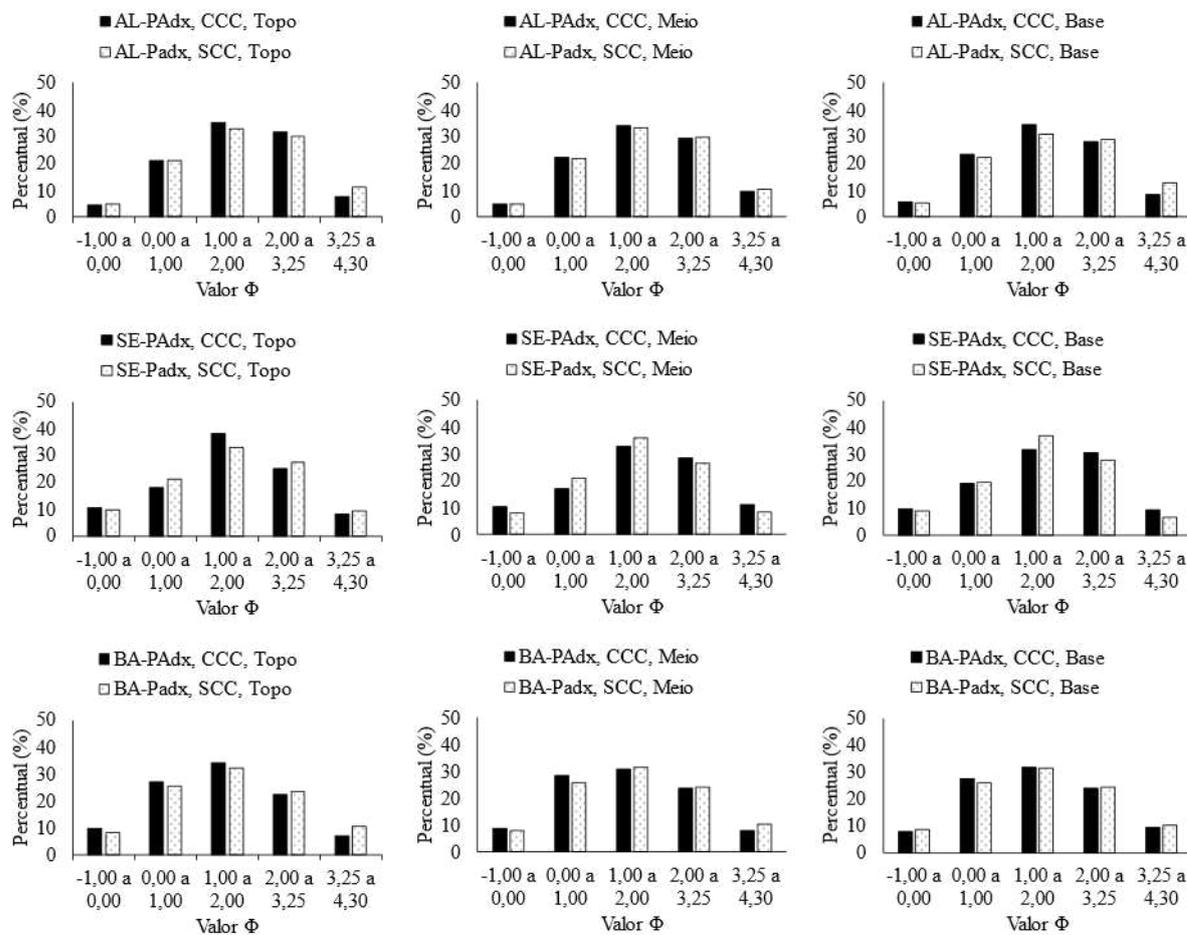
Figura 38 - Distribuição das areias para os horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Valor Phi (Φ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 3,25 (areia fina); e de 3,25 a 4,24 (muito fina)



Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex).

Fonte: Elaborada pela autora

Figura 39 - Distribuição das areias para os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC). Valor Phi (Φ) de -1,00 a 0 (areia muito grossa); de 0 a 1,00 (areia grossa); de 1,00 a 2,00 (areia média); de 2,00 a 3,25 (areia fina); e de 3,25 a 4,24 (muito fina)



Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-Lad_x); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAd_x); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAd_x).

Para a regressão entre os dados de RT e desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi, os modelos foram significativos apenas para o PAd_x-MA e PAex-CE (Tabela 29), apesar de areia mal selecionada ter sido constatada em todas as posições (topo, meio e base) em seis dos solos estudados.

Tabela 29 - Análise de regressão entre os dados de RT e o desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi [$\varphi = -\log_2 D_{(mm)}$] para os solos estudados

Local/Classes de solos	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
MA-PAdx	Tratamentos	1	1167,152	1167,152	9,87*
	Resíduo	4	472,985		
	Total	5	1640,137		
CE1-PAex	Tratamentos	1	329,283	329,283	1,63 ^{ns}
	Resíduo	4	807,494	201,873	
	Total	5	1136,777		
CE2-PAex	Tratamentos	1	1573,797	1573,797	15,33*
	Resíduo	4	410,580	102,645	
	Total	5	1984,377		
PE-PAdx	Tratamentos	1	1204,242	1204,242	4,05 ^{ns}
	Resíduo	4	1190,286	297,571	
	Total	5	2394,529		
AL-Ladx	Tratamentos	1	31,115	31,115	0,19 ^{ns}
	Resíduo	4	643,742	160,935	
	Total	5	674,858		
SE-PAdx	Tratamentos	1	1204,242	1204,242	4,05 ^{ns}
	Resíduo	4	1190,286	297,571	
	Total	5	2394,529		
BA-PAdx	Tratamentos	1	0,29421	0,294	0,01 ^{ns}
	Resíduo	4	161,086	40,271	
	Total	5	161,380		

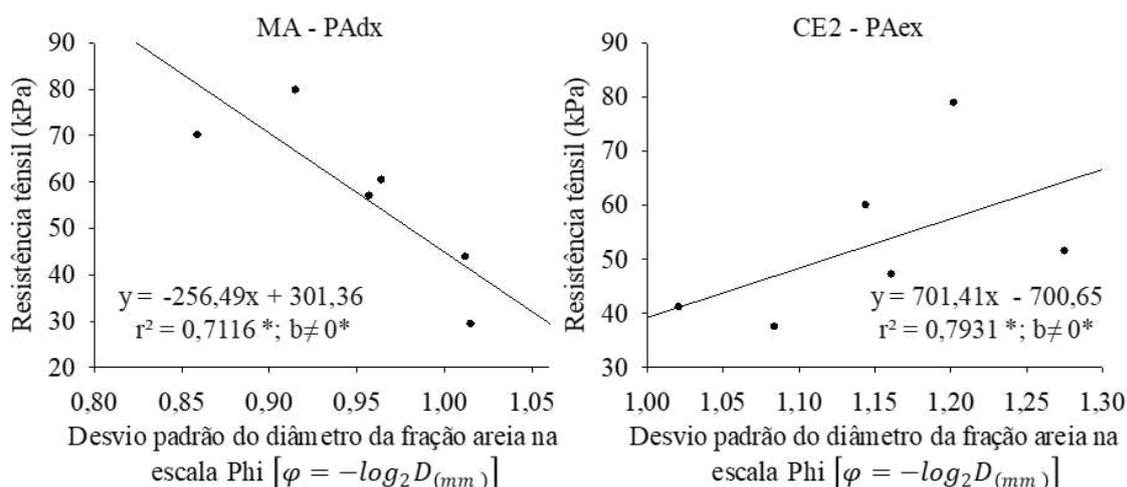
Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-Ladx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Em relação aos modelos significativos para o MA-PAdx e PAex-CE, o comportamento entre as variáveis correlacionadas foi contrastante. Para o solo MA-PAdx, a análise de regressão entre RT e desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi indicou que estes atributos são inversamente proporcionais ($\hat{y} = -256,49x + 301,36$), com $r^2 = 0,71$ e coeficiente angular diferente de zero (ambos significativos a 0,05 de probabilidade), isto é, à medida que desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi aumenta, a RT diminui (Figura 40). Segundo classificação de Folk e Ward (1957), as areias para o MA-PAdx foram classificadas como moderadamente selecionadas, o que possibilita empacotamento de partículas menos fechado em comparação àqueles que apresentam areias pobremente selecionadas, levando a que a expectativa de associação diretamente proporcional entre as variáveis não fosse confirmada.

Para o CE2-PAex, cujas areias foram classificadas como pobremente selecionadas, na análise da regressão entre RT e desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi, ficou demonstrado que estes atributos são diretamente proporcionais ($\hat{y} = 701,41 - 700,65$), com $r^2 = 0,79$ e coeficiente angular diferente de zero (ambos significativos a 0,05 probabilidade), indicando que à medida que desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi aumenta, a RT também aumenta (Figura 40). Em solos do estado do Ceará, Silva *et al.* (2020a) também demonstraram o aumento da RT seguindo aumento do desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi. A maior variabilidade do tamanho dos grãos provoca empacotamento mais denso das partículas, contribuindo significativamente para a maior coesão no solo. Isso corrobora a presença de áreas mais densas em horizontes com caráter coeso identificadas por Lima *et al.* (2006) e Giarola *et al.* (2003) em análises micromorfológicas.

Figura 40 - Relação entre a RT e o desvio-padrão do diâmetro da fração areia na escala Phi [$\varphi = -\log_2 D_{(mm)}$] para o Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx) e Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE2-PAex).



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.9 Análise exploratória dos dados de fracionamento da areia

Os coeficientes de variação para os diferentes tamanhos de areia (muito grossa a muito fina) para os horizontes com e sem caráter coeso, e nas posições topo, meio e base, foram de $> 6,62\%$ a $< 58,37\%$ (Tabelas 30 e 31), sendo classificados como baixos a médios (Warrick e Nielsen 1980).

Tabela 30 - Análise exploratória os dados do fracionamento da areia para os horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC) para os solos estudados.

Local- Classe de solo	Grau de coesão	Areia muito grossa (g)	CV (%)	Areia grossa (g)	CV (%)	Areia média (g)	CV (%)	Areia fina (g)	CV (%)	Areia muito fina (g)	CV (%)
MA-PAdx	CCC	0,13 ± 0,04	27,60	0,49 ± 0,11	23,05	1,51 ± 0,21	13,70	1,53 ± 0,22	14,35	0,24 ± 0,12	50,43
	SCC	0,13 ± 0,03	23,07	0,46 ± 0,06	13,31	1,42 ± 0,28	19,81	1,22 ± 0,24	19,72	0,32 ± 0,12	35,57
CE1-PVAe	CCC	0,37 ± 0,13	34,62	0,36 ± 0,06	15,22	1,08 ± 0,18	16,87	1,22 ± 0,28	22,88	0,30 ± 0,10	31,68
	SCC	0,38 ± 0,10	25,49	0,39 ± 0,09	22,92	1,56 ± 0,36	22,97	1,29 ± 0,36	27,55	0,28 ± 0,12	41,34
CE2- PAdx	CCC	0,31 ± 0,07	20,92	0,41 ± 0,06	15,05	1,45 ± 0,19	12,89	1,22 ± 0,20	16,35	0,29 ± 0,07	22,67
	SCC	0,260 ± 0,06	22,41	0,39 ± 0,05	11,87	1,37 ± 0,16	11,42	1,35 ± 0,14	10,59	0,30 ± 0,06	18,50
PE-PAdx	CCC	0,217 ± 0,06	29,38	0,84 ± 0,09	10,32	1,44 ± 0,10	6,62	1,18 ± 0,11	8,92	0,41 ± 0,11	25,70
	SCC	0,161 ± 0,04	26,77	0,70 ± 0,07	10,19	1,29 ± 0,09	6,77	1,14 ± 0,09	7,77	0,32 ± 0,08	25,55
AL-Ladx	CCC	0,148 ± 0,04	28,43	0,64 ± 0,06	8,74	1,00 ± 0,10	10,12	0,86 ± 0,10	12,10	0,25 ± 0,04	16,30
	SCC	0,114 ± 0,03	22,38	0,49 ± 0,06	12,12	0,73 ± 0,09	12,98	0,67 ± 0,07	10,29	0,26 ± 0,06	21,98
SE-PAdx	CCC	0,421 ± 0,08	19,35	0,73 ± 0,09	11,54	1,41 ± 0,24	17,12	1,15 ± 0,19	16,59	0,39 ± 0,12	30,51
	SCC	0,342 ± 0,07	20,78	0,79 ± 0,07	8,93	1,36 ± 0,17	12,26	1,05 ± 0,16	15,71	0,31 ± 0,10	33,83
BA-PAdx	CCC	0,237 ± 0,05	22,14	0,73 ± 0,12	16,69	0,86 ± 0,07	8,59	0,62 ± 0,09	14,10	0,22 ± 0,07	33,34
	SCC	0,197 ± 0,05	23,63	0,60 ± 0,07	11,22	0,75 ± 0,07	9,49	0,57 ± 0,06	10,32	0,25 ± 0,04	17,13

Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-Ladx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 31 - Análise exploratória os dados do fracionamento da areia para as posições topo, meio e base nos horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC)

(continua)

Local- Classe de solo	Grau de coesão	Posição	Areia muito grossa (g)	CV (%)	Areia grossa (g)	CV (%)	Areia média (g)	CV (%)	Areia fina (g)	CV (%)	Areia muito fina (g)	CV (%)
MA-PAdx	CCC	Topo	0,13 ± 0,04	27,57	0,51 ± 0,08	15,80	1,43±0,20	13,98	1,62 ± 0,21	13,12	0,23 ± 0,12	49,96
		Meio	0,12 ± 0,03	21,81	0,44 ± 0,03	7,21	1,58±0,13	8,26	1,57±0,12	7,40	0,21±0,07	32,18
		Base	0,15 ± 0,04	26,67	0,52 ± 0,17	32,06	1,51±0,25	16,67	1,40±0,25	17,79	0,27±0,16	58,37
	SCC	Topo	0,12 ± 0,03	27,78	0,45 ± 0,06	12,87	1,69±0,23	13,49	0,99±0,14	14,47	0,33±0,11	32,16
		Meio	0,14 ± 0,03	19,57	0,45 ± 0,04	9,62	1,32±0,19	14,44	1,33±0,21	16,15	0,35±0,13	37,96
		Base	0,13 ± 0,03	21,77	0,46 ± 0,08	16,80	1,25±0,19	15,46	1,34±0,21	14,04	0,30±0,11	36,53
CE1-PVAe	CCC	Topo	0,49 ± 0,11	22,99	0,41 ± 0,03	7,44	1,08±0,16	15,09	1,44±0,20	14,02	0,37±0,10	25,74
		Meio	0,33 ± 0,10	28,91	0,36 ± 0,05	14,75	1,20±0,21	17,77	1,19±0,19	15,77	0,26±0,08	33,12
		Base	0,31 ± 0,10	33,35	0,31 ± 0,02	6,09	0,97±0,06	6,07	1,03±0,28	26,74	0,28±0,06	22,17
	SCC	Topo	0,31 ± 0,08	25,76	0,41 ± 0,06	15,50	1,65±0,44	26,55	1,49±0,38	25,54	0,30±0,12	41,74
		Meio	0,35 ± 0,05	14,35	0,35 ± 0,07	18,63	1,49±0,35	23,22	1,29±0,30	23,60	0,32±0,13	42,25
		Base	0,49 ± 0,05	9,64	0,42 ± 0,12	27,56	1,55±0,28	18,21	1,10±0,28	25,37	0,23±0,09	36,78
CE2-PAdx	CCC	Topo	0,33 ± 0,06	18,16	0,43 ± 0,09	21,37	1,40±0,21	14,91	1,15±0,23	20,11	0,30±0,07	23,29
		Meio	0,30 ± 0,08	27,84	0,39 ± 0,04	10,42	1,50±0,20	13,60	1,19±0,18	14,73	0,28±0,07	25,66
		Base	0,31 ± 0,05	14,83	0,39 ± 0,02	5,10	1,46±0,14	9,56	1,32±0,15	11,28	0,29±0,06	19,81
	SCC	Topo	0,25 ± 0,05	22,11	0,40 ± 0,05	11,22	1,48±0,15	10,31	1,38±0,21	15,23	0,31±0,08	25,84
		Meio	0,27 ± 0,07	25,11	0,39 ± 0,05	12,43	1,34±0,14	10,62	1,31±0,11	8,12	0,32±0,03	10,23
		Base	0,26 ± 0,06	21,80	0,38 ± 0,05	12,08	1,28±0,10	7,68	1,37±0,07	5,38	0,29±0,05	16,69
PE-PAdx	CCC	Topo	0,25 ± 0,05	19,01	0,88 ± 0,07	7,66	1,49±0,12	7,96	1,20±0,13	10,50	0,45±0,09	19,27
		Meio	0,25 ± 0,06	22,66	0,89 ± 0,04	4,12	1,39±0,04	3,09	1,11±0,04	3,94	0,48±0,06	12,56
		Base	0,15 ± 0,03	21,86	0,75 ± 0,08	10,93	1,45±0,10	6,69	1,23±0,09	7,71	0,31±0,09	27,19

Tabela 31 - Análise exploratória os dados do fracionamento da areia para as posições topo, meio e base nos horizontes com (CCC) e sem caráter coeso (SCC)

(conclusão)

Local- Classe de solo	Grau de coesão	Posição	Areia muito grossa (g)	CV (%)	Areia grossa (g)	CV (%)	Areia média (g)	CV (%)	Areia fina (g)	CV (%)	Areia muito fina (g)	CV (%)
PE-PAdx	SCC	Topo	0,15 ± 0,06	38,19	0,68±0,07	9,87	1,27±0,09	7,07	1,16±0,10	9,08	0,31±0,07	24,18
		Meio	0,16 ± 0,03	21,52	0,69±0,06	8,26	1,30±0,10	8,00	1,13±0,08	7,08	0,36±0,11	29,89
		Base	0,18 ± 0,03	17,46	0,73±0,09	12,23	1,29±0,08	6,25	1,12±0,09	8,08	0,29±0,05	16,99
AL-Ladx	CCC	Topo	0,14 ± 0,05	37,10	0,63±0,07	11,66	1,06±0,14	13,61	0,95±0,11	11,63	0,23±0,05	20,51
		Meio	0,14 ± 0,04	25,82	0,63±0,05	7,32	0,96±0,05	5,20	0,83±0,05	5,99	0,27±0,03	12,24
		Base	0,16 ± 0,03	20,65	0,65±0,04	6,60	0,96±0,04	4,04	0,78±0,05	5,87	0,24±0,03	11,67
	SCC	Topo	0,12 ± 0,03	22,93	0,48±0,09	18,69	0,75±0,12	15,75	0,69±0,10	14,57	0,26±0,07	27,70
		Meio	0,11 ± 0,02	19,24	0,49±0,04	8,57	0,75±0,09	11,86	0,66±0,04	5,93	0,23±0,05	21,17
		Base	0,12 ± 0,05	38,82	0,49±0,04	7,28	0,68±0,05	7,78	0,64±0,04	5,75	0,28±0,16	56,60
SE-PAdx	CCC	Topo	0,44 ± 0,10	22,51	0,74±0,09	11,80	1,58±0,28	17,67	1,04±0,24	23,05	0,34±0,09	26,33
		Meio	0,43 ± 0,07	16,88	0,69±0,08	11,04	1,36±0,20	14,56	1,18±0,15	12,49	0,46±0,14	30,09
		Base	0,40 ± 0,07	17,22	0,76±0,08	10,14	1,28±0,10	7,57	1,23±0,11	9,02	0,38±0,10	26,12
	SCC	Topo	0,37 ± 0,06	15,47	0,81±0,06	7,26	1,27±0,10	7,81	1,05±0,10	9,88	0,36±0,12	34,90
		Base	0,35 ± 0,06	16,78	0,75±0,05	6,94	1,42±0,22	15,12	1,07±0,23	21,65	0,25±0,09	34,91
BA-PAdx	CCC	Topo	0,26 ± 0,05	19,54	0,71±0,07	9,24	0,91±0,08	8,59	0,59±0,08	13,85	0,19±0,06	32,89
		Meio	0,25 ± 0,06	23,45	0,77±0,07	8,46	0,84±0,06	7,44	0,65±0,06	9,86	0,22±0,08	34,60
		Base	0,21 ± 0,04	18,95	0,71±0,19	26,17	0,83±0,06	7,56	0,63±0,11	17,01	0,24±0,07	28,62
	SCC	Topo	0,20 ± 0,04	21,95	0,63±0,06	8,75	0,80±0,06	7,87	0,59±0,06	9,72	0,26±0,03	11,96
		Base	0,20 ± 0,04	20,34	0,63±0,06	9,41	0,78±0,05	5,97	0,60±0,05	8,66	0,26±0,04	15,73
		Base	0,19 ± 0,06	30,63	0,56±0,07	11,97	0,68±0,04	6,06	0,53±0,04	7,93	0,22±0,04	18,37

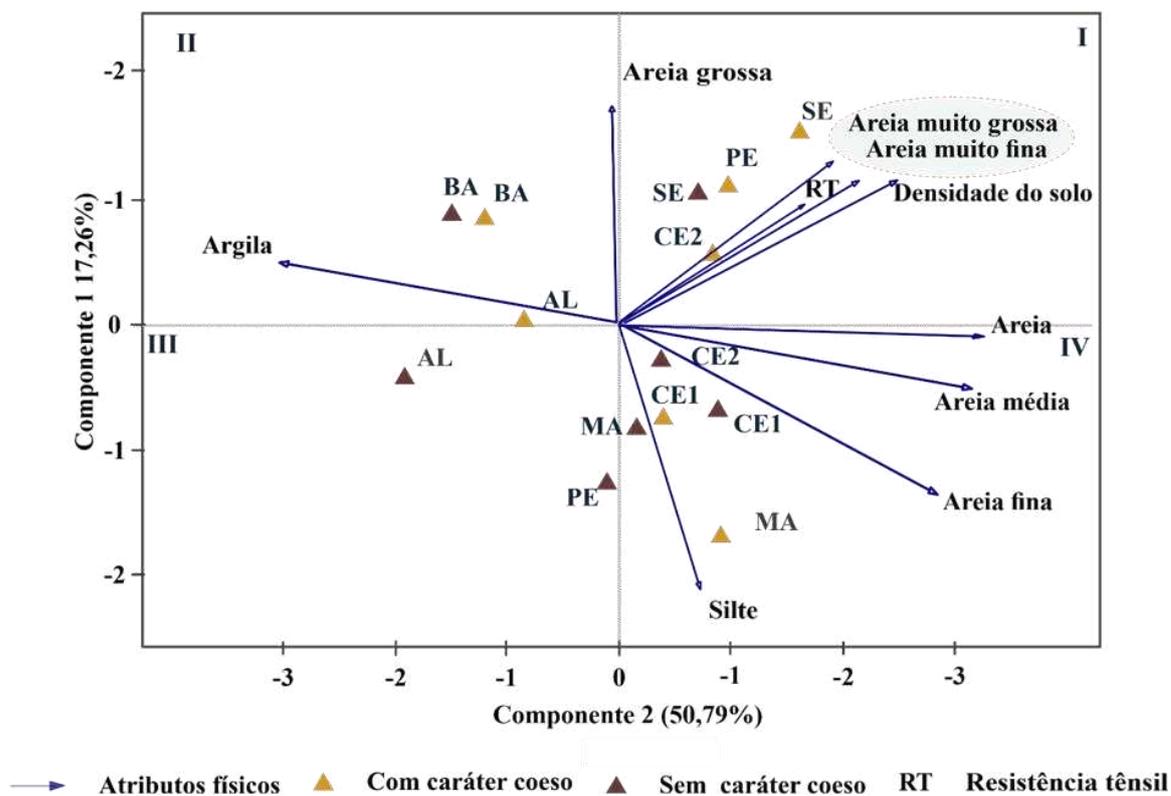
Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-Ladx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abráptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.10 Análise multivariada na avaliação de atributos físicos de horizontes com e sem caráter coeso

Na análise de componentes principais, buscou-se caracterizar as relações entre os atributos areia (incluindo o fracionamento), silte, argila, densidade do solo e RT, em horizontes com e sem caráter coeso dos solos estudados. Os componentes principais 1 e 2 explicaram a maior parte da variabilidade observada (68,05%) – Figura 41. É importante destacar que porcentagem de pelo menos 70% é útil para a definição de quantos componentes principais são necessários para explicar a variabilidade de um conjunto de dados (JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

Figura 41 - Análise de componentes principais para caracterizar as relações entre atributos físicos e horizontes com caráter coeso (CCC) e sem o caráter coeso (SCC), coletados no Maranhão (MA), Ceará (CE1 e CE2), Pernambuco (PE), Alagoas (AL), Sergipe (SE) e Bahia (BA)



Fonte: Elaborada pela autora.

No 1º quadrante da Figura 41, estão as variáveis densidade do solo, RT, areia muito fina e areia muito grossa. Para estas variáveis, os solos que se encontram no mesmo quadrante apresentaram valores acima da média, enquanto os solos presentes no quadrante oposto (3º quadrante) apresentaram valores abaixo da média para estas variáveis. Neste caso, no terceiro quadrante estão presentes justamente os horizontes sem caráter coeso com menores valores de RT e densidade do solo (Figura 24 e Figura 29).

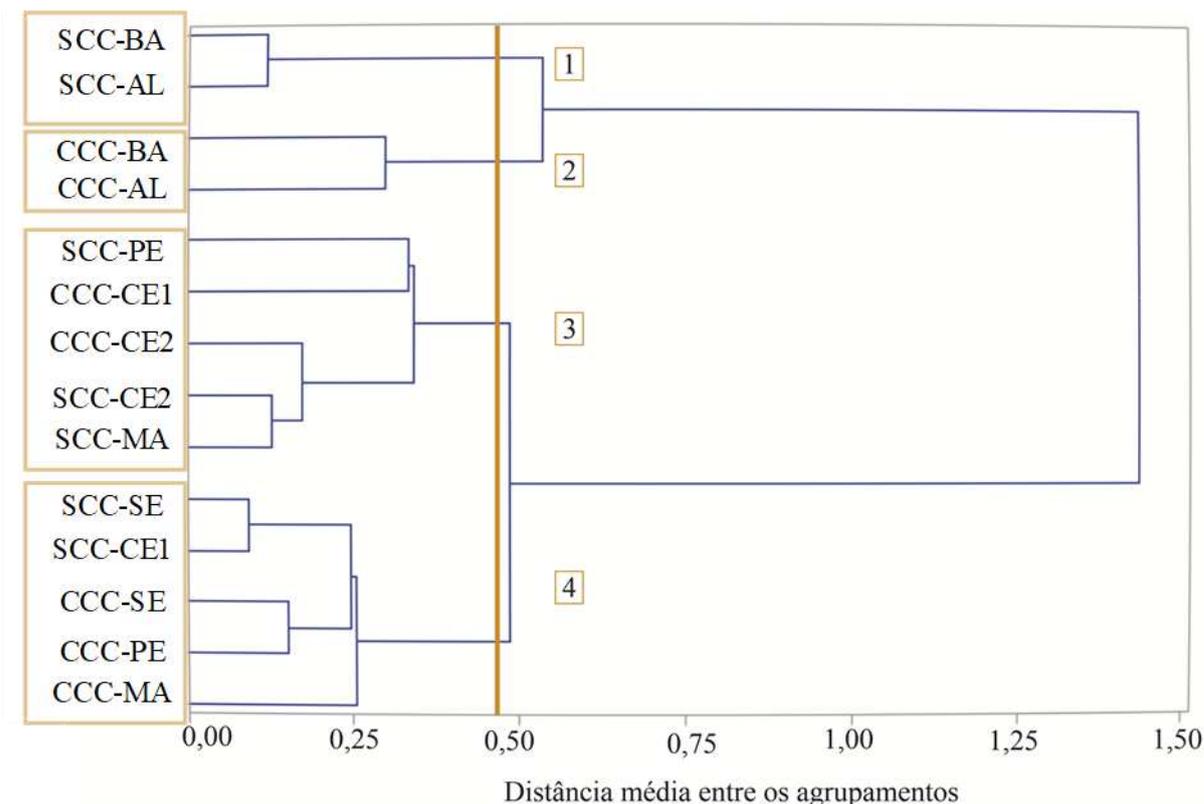
As setas da areia fina e areia muito grossa estão muito próximas, indicando elevada correlação entre estes dois atributos. É importante lembrar que o empacotamento denso dos horizontes é influenciado pela presença de materiais mal selecionados nos solos, de modo que, para a fração areia, os grãos menores são acomodados nos espaços entre os grãos maiores, onde também é depositada a argila transcolada, preenchendo assim os poros antes existentes (ARAÚJO *et al.*, 2018).

No 2º quadrante ficaram alocados os horizontes do PAdx-BA (com e sem caráter coeso) e LAdx-AL (com caráter coeso), caracterizados pelos maiores teores de argila. No quadrante oposto (4º quadrante) estão as variáveis areia, areia média, areia fina e silte caracterizando os horizontes sem caráter coeso do PAdx-CE2, PAdx-CE1 e PAdx-MA, e os horizontes com caráter coeso do PAdx-MA e PAdx-CE1.

Quanto à análise de agrupamento (Figura 42), o primeiro grupo foi formado pelos horizontes sem caráter coeso do PAdx-BA e o LAdx-AL, sendo responsáveis por promover este agrupamento os maiores valores de argila e valores similares de areia. O segundo grupo foi constituído pelos mesmos solos (PAdx-BA e o LAdx-AL), no entanto, segregados por horizontes com caráter coeso. As variáveis argila e areia foram essenciais para a formação deste grupo (o LAdx-AL e o PAdx-BA), uma vez que estes dois solos apresentaram areia com valores médios de 483 g kg^{-1} e 446 g kg^{-1} , respectivamente (Tabela 25), e, dentre os horizontes com caráter coeso, foram os que apresentaram menores valores de RT.

O terceiro grupo incluiu três horizontes sem caráter coeso e dois com caráter coeso. Os teores de areia e argila do CE2-PAex com e sem caráter coeso não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 31 e Figura 34). O horizonte PE-PAex sem caráter coeso apresentou teores de areia similares aos teores nos horizontes com e sem caráter coeso do CE2-PAex. O CE1-PAex com caráter coeso e o MA-PAdx sem caráter coeso apresentaram teores de argila próximos aos do CE-PAex com e sem caráter coeso. A combinação destes culminou no agrupamento 3.

Figura 42 - Análise de agrupamento dos horizontes com caráter coeso (CCC) e sem caráter coeso (SSC) dos solos estudados



Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupto (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

O quarto grupo foi composto por três horizontes com caráter coeso, a saber: MA-PAdx -MA, PE-PAdx e SE-PAdx – horizontes que apresentaram maiores valores de RT. Os horizontes sem caráter coeso do CE1-PAex e SE-PAdx também pertencem a este agrupamento e apresentaram teores similares de areia e argila. A análise de agrupamento não separou os horizontes somente em com e sem caráter coeso. No entanto, permitiu separar a maioria dos horizontes com e sem caráter coeso de cada solo (apenas os horizontes com e sem caráter coeso do SE-PAdx e CE2-PAex estão alocados no mesmo grupo).

5 CONCLUSÕES

Há percepção distinta, com variabilidade significativa, quando avaliadores humanos se valem da subjetividade para atribuir notas à consistência do solo e, conseqüentemente, diagnosticar o caráter coeso em solos.

Para os diferentes avaliadores humanos, o valor limiar de RT para o caráter coeso, associado à consistência em solo seco, foi semelhante. Isso demonstra que a associação da percepção qualitativa aos valores de RT é útil para dar mais robustez à percepção humana no diagnóstico do caráter coeso.

Ao considerar a consistência muito dura para solo seco como limiar para o diagnóstico do caráter coeso, o valor da RT das amostras para o horizonte ser considerado com caráter coeso é ≥ 66 kPa.

A ocorrência da consistência dura nos horizontes descritos com o caráter coeso desperta para a necessidade de os sistemas taxonômicos considerarem pelo menos a classe com grau de coesão moderada no diagnóstico do caráter coeso.

As frações areia e argila influenciam significativamente no grau de coesão das amostras, com efeito na identificação e quantificação do caráter coeso em solos.

A RT, por agregar informação quantitativa a respeito do caráter coeso, é um excelente indicador a ser considerado no diagnóstico do referido caráter em solos.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, W. A. P.; ABRAHÃO, W. A. P.; COSTA, L. M.; MELLO, J. W. V.; NEVES, J. C. L. Distribuição de frequência de tamanho da fração areia e compactidade relativa de solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico barreiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 1–9, mar. 1998. DOI: 10.1590/S0100-06831998000100001 Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831998000100001&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 17 ago. 2022.
- ANJOS, L. H. C. **Caracterização, gênese, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do terciário na região de Campos, RJ**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1985. Disponível em: <https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/tede/24>. Acesso em: 17 ago. 2022.
- ALMEIDA, B.G.; SILVA, A. P.; RAINE, S. R.; FIGUEIREDO, G. C. Evaluation of Automotive Varnish as a Coating for Density Measurements of Soil Clods. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 2, p. 449–452, 2009. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2008.0191>. Acesso em: 11 jun. 2022.
- AL-SHAMMARY, A. A. G., KOUZANI, A. Z., KAYNAK, A., KHOO, S. Y., NORTON, M., GATES, W. Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. **Pedosphere**, v. 28, n. 4, p. 581–596, 2018. DOI: 10.1016/S1002-0160(18)60034-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016018600347?via%3Dihub>. . Acesso em: 17 ago. 2022.
- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 01–06, 2006. DOI: 10.5327/s1519-874x2006000300002 Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/article/view/27419>. Acesso em: 13 fev. 2022.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, A. S. 2019. Descrição morfológica de um Argissolo Amarelo e de um Latossolo Amarelo. UFC, Fortaleza (Informação pessoal).
- ARAÚJO, A. L. DE. **Horizontes com caráter coeso e sua distribuição espacial em solos na formação barreira**. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em : <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/19282>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; ALMEIDA, B. G. DE.; ANDRADE, K. R. 2014. Descrição morfológica de um Argissolo Amarelo de Pernambuco (PE/Brasil). In Andrade, K.R., 2014. **Atributos físico-hídricos de solos coesos da Zona da Mata de Pernambuco sob ação de condicionadores químicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasileiro. In: CINTRA F. L. D.; ANJOS, J. L. DOS; IVO, W. M. P. DE. **Workshop coesão**

em solos dos tabuleiros costeiros. Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 123–142.

ARAÚJO, A. M. S. S.; MENEZES, A. S.; ALENCAR, T. L.; SILVA, C. P.; ASSIS JÚNIOR R. N.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, B. G.; MOTA, J. C. A. TS in horizons with and without cohesive character: Variability and relation with granulometry. **Catena**, v. 166, n. 1, p. 290–297, 2018. DOI: 10.1016/j.catena.2018.04.017

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816218301322?via%3Dihub>.

Acesso em: 10 jul. 2020.

BARBOSA, L. A. P.; FERRAZ, A. C. DE O. Which evidence attests for soil aggregate rupture? A new criterion to determine aggregate tensile strength. **Soil and Tillage Research**, v. 197, n. 104530, p. 1–9, 2020. DOI: 10.1016/j.still.2019.104530

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816218301322?via%3Dihub>.

Acesso em: 7 mai. 2022.

BARROS, H.C.; DRUMONT, J. L.; CAMARGO, M. N.; LEMOS, P. O. C.; LEMOS, R. C.; MENDES, W. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura: (SNPA-Boletim Técnico, 11), 1958. 350p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/330697/levantamento-de-reconhecimento-dos-solos-do-estado-do-rio-de-janeiro-e-distrito-federal-contribuicao-a-carta-de-solos-do-brasil>. Acesso em: 17 ago. 2022.

BARTOLI, F.; BURTIN, G.; GUERIF, J. Influence of organic matter on aggregation in Oxisols rich in gibbsite or in goethite. II. Clay dispersion, aggregate strength and water-stability. **Geoderma**, v. 54, n. 1–4, p. 259–274, 1992.

BARZEGAR, A.; OADES J.; RENGASAMY, P.; MURRAY, R. TS of dry, remoulded soils as affected by properties of the clay fraction. **Geoderma**, v. 65, n. 1–2, p. 93–108, 1995.

BEZERRA, C. E. E.; FERREIRA T. O.; ROMERO R. E.; MOTA J. C. A.; VIEIRA J. M.; DUARTE L. R. S.; COOPER M. Genesis of cohesive soil horizons from north-east Brazil: role of argilluviation and sorting of sand. **Soil Research**, v. 53, p. 93–108, 2015.

BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozoicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivos do Instituto Ciências da Terra**, n. 2, p. 2–14, 1964.

BLAKE, G. Bulk Density, in: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Eds.), **Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 374–390.

BUSS, R. N.; SILVA, R. A.; SIQUEIRA, G. M.; LEIVA, J. O. R.; OLIVEIRA, O. C.C. C.; FRANÇA, V. L. Spatial and multivariate analysis of soybean productivity and soil physical-chemical attributes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 446–453, 2019. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p446-453. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Vn5VkrqXBKvfj3Pz5Yq4TdG/?lang=en>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CANADA. **The Canada Soil Information System (CanSIS): Manual for describing soils in the field 1982, Revised**. Ottawa, Ontario: Land resource research Institute, 1985. 175p. Disponível em: <https://sis.agr.gc.ca/cansis/publications/manuals/1982-forms/index.html>. Acesso em: 10 ago. 2019.

CAUSARANO, H. Factors affecting the TSoF soil aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 28, n. 1, p. 15–25, nov. 1993. DOI: 10.1016/0167-1987(93)90052-Q. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879390052Q?via%3Dihp>. Acesso em: 17 abr. 2022.

CHADWICK, O. A.; HENDRICKS, D. M.; NETTLETON, W. D. Silica in Duric Soils: I. A Depositional Model. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 4, p. 975–982, jul. 1987. DOI: 10.2136/sssaj1987.03615995005100040028x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1987.03615995005100040028x>. Acesso em: 17 ago. de 2020.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S.; PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 33, p. 1041–1051, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400028>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/bXd7kxY5tW9GvQXDkNbGdPQ/?lang=pt>. Acesso em: 17 set. 2022.

CINTRA, F. L. D.; PORTELA, J. C.; NOGUEIRA, L. C. Caracterização física e hídrica em solos dos Tabuleiros Costeiros no Distrito de Irrigação Platô de Neópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 45–50, 2004. DOI: 10.1590/s1415-43662004000100007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/MncD6T9KByGMyL3m3zgZbZk/?lang=pt>. Acesso em: 9 mar. 2022.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23–28, abr. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BsKJY5CH7zFcFGKyNjzv9Qk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 9 ago. 2022.

CORRÊA; M. M.; KER; J. C.; BARRÓN; V.; TORRENT, J.; CURI, N.; TORRES, T. C. P. 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, n. 1, p. 297–313, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100028>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/jtDZHLmRnPNQZbXkFgfQSVr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 11 ago. 2022.

COSTA, O. D. V.; LIMA, A. V. 2019. Revisão da descrição do perfil da Reunião Técnica sobre solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, publicado no GUIA TÉCNICA SOBRE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS,, realizada em Cruz das Almas em 1996. Cruz das Almas: BA. (Informação pessoal).

DANIELLS, I. G. *Hardsetting* soils : a review. **Soil Research**, v. 50, n. 1, p. 349–359, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1071/SR11102>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR11102>. Acesso em: 5 ago 2021.

DANTAS, J. S.; JÚNIOR MARQUES, J.; MARTINS FILHO, M. V.; RESENDE, J. M. A. C.; BARBOSA, L. A.; SOBREIRA, R. Gênese de solos coesos do leste maranhense: relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1039–1050, 2014. DOI: 10.1590/s0100-06832014000400001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/9TdDgMkHVDhF5Wswcd55fGq/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 7 set. 2022.

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of TSoil soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 31, n. 2, p. 139–147, 1985. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90066-6](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90066-6). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0021863485900666?via%3Dihub>. Acesso em: 3 ago. 2020.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p.

FERREIRA, A. DE O.; SÁ, J. C. DE M.; GIAROLA, N. F. B.; HARMS, M. G.; MIARA, S.; BAVOSO, M. A.; BRIEDIS, C.; NETTO, C. Q. Variação na RT de amostras em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 437–446, abr. 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000200013&lng=pt&. Acesso em: 26 fev. 2022.

FIGUEIREDO, G. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; MORAES, S. O.; ALMEIDA, B. G. Desenvolvimento de um dinamômetro pneumático: modelagem da compactação, penetrometria e RT de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 389–409, 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000200009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000200009&lng=pt&tlng=. Acesso em: 9 abr. 2020.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p. 3–26, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D>. Disponível em: https://pubs.geoscienceworld.org/sepm/jsedres/article/27/1/3/95232/Brazos-River-bar-Texas-a-study-in-the-significance?casa_token=yAh5QOtH_TEAAAAA:0vue-l2-0ELuP_74P64QYJo6DjQEN__hdWolV6O2f7Q3nC6fmQBrHo9fXBLcyR2mUu9thdeO2w. Acesso em: 17 ago. 2022.

FRANZMEIER, D. P.; CHARTRES, C. J.; WOOD, J. T. *Hardsetting* Soils in Southeast Australia: Landscape and Profile Processes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, n. 4, p. 1178–1187, 1996. DOI: 10.2136/sssaj1996.03615995006000040032x Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1996.03615995006000040032x>. Acesso em: 6 set. 2021.

GIAROLA, N. F. B.; LIMA, H. V. DE .; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M.; SILVA, A. P. DA. Mineralogia e cristalografia da fração argila de horizontes coesos de solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 33–40, fev. 2009. DOI: 10.1590/s0100-06832009000100004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/JxNsV6CnGT53m8jsxRXSQRm/?lang=pt>. Acesso em: 11 ago. 2022.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; DEXTER, A. R. Contribution of natural soil compaction on *hardsetting* behavior. **Geoderma**, v. 113, n. 1–2, p. 95–108, abr. 2003. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00333-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016706102003336>. Acesso em: 9 out. 2022.

GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. DA. Conceitos sobre solos coesos e *hardsetting*. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 3, p. 613–620, set. 2002. DOI: 10.1590/S0103-90162002000300030. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162002000300030&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 16 set. 2022.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. DA.; TORMENA, C.; SOUZA, L. DA S.; RIBEIRO, L. DA P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 239–247, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100026>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/f5xnFFqm9WLNsgbz6cQVMfr/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 17 ago. 2022.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico – geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / IBGE, 1993. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295523>. Acesso em: 21 abr. 2019.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; ALVES, S.J.; FIDALSKI, J.; BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbon in an oxisol under a crop-livestock system. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 4, p. 499–505, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000400011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162009000400011&lng=en&tlng=en. Acesso em: 21 abr. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2022. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/188>. Acesso em: 21 fev. 2023.

IMHOFF, S.; DA SILVA, A. P.; DEXTER, A. Factors Contributing to the TSand Friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 5, p. 1656–1661, 2002. DOI: 10.2136/sssaj2002.1656. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2002.1656>. Acesso em: 19 abr. 2019.

IUSS Working Group WRB. 2022. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria.

IGWE C. A.; ZAREI M.; STAHR, K. Colloidal stability in some tropical soils of southeastern Nigeria as affected by iron and aluminium oxides. **Catena**, v. 77, n 3, p. 232-237, 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.01.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816209000125>. Acesso em: 21 abr. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; SILVA, F. B. R. E.; FERREIRA, R. C.; PESSOA, S. C. P.; BELTRÃO, V. DE A. Almeida, J. C.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte**. Divisão de Pesquisa Pedológica. MA/DNPEA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 21 - Série Pedologia, 9), 1971. 531p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330796>. Acesso em: 17 ago 2022.

JACOMINE, P. K. T.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J. O.; SILVA, A. P. DA.; MELO FILHO, H. F. R. DE. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba**. MA. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 15 - Série Pedologia, 8), 1972. 683p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330784>. Acesso em: 17 ago.2022.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. DA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Vol. II (Descrições de perfis de solos e análises). Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. MA/DNPEA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 26 - Série Pedologia, 14), 1972. 354p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331168>. Acesso em: 21 abr. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. DA. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Vol. I. Divisão de Pesquisa Pedológica. MA/DNPEA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 26 - Série Pedologia, 14), 1973 a. 359p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331168>. Acesso em: 21 abr. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará. Volume I**. Divisão de Pesquisa Pedológica. MA/DNPEA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 28 - Série Pedologia, 16), 1973 b. 879p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/331170/levantamento-exploratorio---reconhecimento-de-solos-do-estado-do-ceara>. Acesso em: 21 abr. 2019.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; SILVEIRA, C. O. DA.; PESSÔA, S. C. P. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas**. Centro de Pesquisas Pedológicas. EMBRAPA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 35 - Série Recursos de Solos, 5), 1975. 532p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331178>. Acesso em: 17 ago. 2022.

JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Sergipe**. Centro de Pesquisas Pedológicas. EMBRAPA-SUDENE/DRN. (Boletim técnico n° 36 - Série Recursos de Solos, 6), 1975. 506p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331179>. Acesso em: 17 ago. 2022.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. B. R. E.; MONTENEGRO, J. O.;

FORMIGA, R. A.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R. DE. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do rio São Francisco do Estado da Bahia**. Vol. I. EMBRAPA/SNLCS-SUDENE/DRN. (Boletim técnico nº 52 - Série Recursos de Solos, 10), 1977. 38p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/335822/levantamento-exploratorio---reconhecimento-de-solos-da-margem-direita-do-rio-sao-francisco-estado-da-bahia>. Acesso em: 17 ago. 2022.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. (L. R. Q. Nogueira, L. C. Nogueira, Eds.). In ANAIS DA REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais [...]**. Cruz das Almas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ EMBRAPA - CPATC & CNPMF/ EAUFA/IGUFBA, 1996. p. 13- 25.

JACOMINE, P. K. T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. (F. L. D. Cintra, J. L. dos Anjos, W. M. P. Melo Ivo, Eds.). In WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Empresa de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros, 2001.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 13 abr. 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2015.0202>. Acesso em: 10 abr. 2019.

JONG VAN LIER, Q. DE; VIDAL - TORRADO, P. Phi: programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos (1992). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, n. 2, p. 277–281, 1992.

LEÓN, H. N.; ALMEIDA, B. G.; ALMEIDA, C. D. G. C.; FREIRE, F. J.; SOUZA, E. R.; OLIVEIRA, E. C. A.; SILVA, E. P. Medium-term influence of conventional tillage on the physical quality of a Typic Fragiudult with *hardsetting* behavior cultivated with sugarcane under rainfed conditions. **Catena**, v. 175, n. April 2018, p. 37–46, 2019.

LIMA, H. V. DE. **Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Ciência do Solo, Universidade Estadual de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-25052004-172247/pt-br.php>. Acesso em: 5 ago. 2020

LIMA, H. V. DE.; SILVA, A. P. DA.; ROMERO, R. E.; JACOMINE, P. K.T. Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado coeso no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 33–40, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/7Pvg5wQ8nnnW3Lv3PMxCzTS/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2020.

LIMA, H. V.; SILVA, A. P.; SANTOS, M. C.; COOPER, M.; ROMERO, R. E. Micromorphology and image analysis of a *hardsetting* Ultisol (Argissolo) in the state of Ceará (Brazil). **Geoderma**, v. 132, n. 3–4, p. 416–426, 2006. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.06.006. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706105001941>. Acesso em: 06 nov. 2022.

LIMA NETO, J. A.; RIBEIRO, M. R.; CORRÊA, M. M.; SOUZA JÚNIOR, V. S. DE; LIMA, J. F. W. F.; LIMA FERREIRA, R. F DE A. Caracterização e gênese do caráter coeso em Latossolos Amarelos e Argissolos dos Tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 1, p. 1001–1011, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000400024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/hx7NfBqwyWwRyP8pRx5w6Xs/?lang=pt>. Acesso em: 9 jan. 2022.

LIRA, R. DE A.; ARAÚJO, M. DO S. B. DE; ALMEIDA, B. G. DE; MARCELO, V. F. Uso agrícola e atributos físico-hídricos de solo coeso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 7, p. 2277–2289, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234103/27489>. Acesso em: 5 set. 2022.

MABESOONE, J. M.; CAMPOS E SILVA, A.; BEURLLEN, K. Estratigrafia e origem do grupo barreiras em Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 2, p. 173–188, 1972. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12512>. Acesso em: 4 jun. 2022.

MARQUES, E. DA S.; MOTA, J. C. A.; LACERDA, C. F. DE.; SILVA, F. G. DA.; ROMERO, R. E. Gas exchange in maize as a function of aeration porosity in a cohesive soil. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 52, n. 2, p. 1–8, 2021. DOI: 10.5935/1806-6690.20210035 Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/hFDjtcqnvs8TBLnCrKHLNkt/abstract/?lang=pt> Acesso em: 4 dez. 2022.

MATERECHERA, S. A. Aggregation in a surface layer of a *hardsetting* and crusting soil as influenced by the application of amendments and grass mulch in a South African semi-arid environment. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n 2, p.251-259, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.07.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198709001457> Acesso em: 4 jun. 2022.

MELO FILHO, H. F. R.; ARAÚJO FILHO, J. O. 1984. Descrição de perfil. (L. R. Q. Nogueira, L. C. Nogueira, Eds.). In GUIA DE EXCURSÃO DA REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais [...]**. Cruz das Almas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ EMBRAPA -CPATC & CNPMF/ EAUFA/IGUFBA, 1996. p. 7- 10. Acesso em: 4 jun. 2022.

MILLER, W. P.; MILLER, D. M. A micro-pipette method for soil mechanical analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 18, p. 1–15, 1987. DOI: 10.1080/00103628709367799 Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103628709367799>. Acesso em: 14 mai. 2022.

MOREAU, A. M. S. S.; KER, J. C.; COSTA, L. M.; GOMES, F. H. Caracterização de solos de duas topossequências em Tabuleiros Costeiros do Sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1007–1019, 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000600010 Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-

06832006000600010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 12 jun. 2022.

MOTA, J. C. A.; FEITOSA, C. E. L.; OLIVEIRA, L.S DE.; PINHEIRO, J. I.; SOUSA, A.M. DE.; ALENCAR, T.L. DE.; LOBATO, M. G. R.; QUEIROZ, A. S.; NASCIMENTO, I. V. Pipette Method: Errors Resulting From Aliquot Collection Depth in Soil Clay Quantification. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 244, 2019. DOI: 10.5539/jas.v11n2p244 Disponível em: <https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/0/38098>. Acesso em: 5 jun. 2022.

MOTA, J. C. A.; MENEZES, A. S.; NASCIMENTO, C. D. V DO; ALENCAR, T. L. DE; ASSIS JÚNIOR, R N DE; TOMA, R. S.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; COOPER, M. Pore shape, size distribution and orientation in Bt horizons of two Alfisols with and without cohesive character from Brazil. **Geoderma Regional**, v. 15, p. e00197, 2018. DOI: 10.1016/j.geodrs.2018.e00197 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009418302189>. Acesso em: 15 jun. 2022.

MOTA, J. C. A.; SILVA, C. P. DA.; ALMEIDA, B. G. DE.; ROMERO, R. E.; ALENCAR, T. L. DE.; LOBATO, M. G. R.; OLIVEIRA, L. DE S.; SOUZA, L. DA S.; COSTA, M. C. G. Cohesive character in Alfisols, Ultisol and Oxisols in Northeast of Brazil: Relationship of TSwith silicon, aluminum and iron from poorly crystalline compounds. **Geoderma Regional**, v. 24, p. e00361, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00361>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009421000067>. Acesso em: 10 jun. 2022.

MOURA-FÉ, M. M. DE. Barreiras: Série, Grupo ou Formação? **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1055–1061, 2014. DOI: Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/233079/26996>. Acesso em: 5 mar. 2022.

MUNKHOLM, L. J.; KAY, B. D. Effect of Water Regime on Aggregate-tensile Strength, Rupture Energy, and Friability. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 702–709, 2002. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.7020>. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaj2002.7020>. Acesso em: 5 set. 2022.

NASCIMENTO, G, B. **Atributos diferenciais de Latossolos Argissolos Amarelos: Uma contribuição para o SiBCs**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - 2005. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=29496. Acesso em: 25 jun. 2021.

NASCIMENTO G. B.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos na região norte Fluminense (RJ): identificação de atributos para diferenciação em níveis categóricos inferiores. **Magistra**, v. 17, n. 1, p. 45-52, 2005.

NUNES, F. C.; SILVA, E. F. DA; VILAS BOAS, G. DA S. **Grupo Barreiras : Características, Gênese e evidências de Neotctonismo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. v. 194. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/937565/grupo-barreiras-caracteristicas-genese-e-evidencias-de-neotectonismo>.

Acesso em: 24 maio 2019.

NUNES, V. DE J.; LEITE, E. DA S.; LIMA, J. M. DE; BARBOSA, R. S.; SANTOS, D. N.; DIAS, F. P. M.; NÓBREGA, J. C. A. Soil preparation systems and type of fertilization as affecting physical attributes of cohesive soil under eucalyptus in Northeastern Brazil. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 45, p. 1–11, 2023. DOI: 10.4025/actasciagron.v45i1.58010 Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asagr/a/NT64X43PRK4DWG4XWdDT3Qd/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 20 dez. 2023.

OLIVEIRA, L.B.; DANTAS, H.S.; CAMPELO.; A.B.; GALVÃO, S.J.;GOMES, I.F. Caracterização de adensamento em subsolo de uma área de Tabueiro Costeiro da estação experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, p. 207-214, 1968.

OLIVEIRA, L. DE S.; MAIA, R. N.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; COSTA, M. C. G.; ALENCAR, T. L. DE.; MOTA, J. C. A. TSvalues for the degrees of soil consistency using human perception and TS-Soil device. **Catena**, v. 190, p. 104541, 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104541 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104541>. Acesso em: 20 dez. 2021.

OLIVEIRA, L. S., QUEIROZ, A. S., LOPES, A. S., SILVA, F. G., MOTA, J. C. A. Forma e diâmetro de agregados do solo como fontes de variação na RT. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 1, p. 117–121, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i1.7825>

ÖZTAŞ, T.; SÖNMEZ, K.; CANBOLAT, M. Y. Strength of Individual Soil Aggregates Against Crushing Forces I. Influence of Aggregate Characteristics. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 23, p. 567–572, 1999. DOI: Disponível em: <https://journals.tubitak.gov.tr/cgi/viewcontent.cgi?article=2454&context=agriculture>. Acesso em: 20 dez. 2019.

PANOSO, L. A. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. EMBRAPA/SNLCS. Boletim técnico nº 45, 1978. 461p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/335800>. Acesso em: 17 ago. 2022.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, L. A. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 25, p. 521–529, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000300001>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/khhQFBhW6WkLrJkDQTTK53c/?lang=pt>. Acesso em: 17 ago. 2022.

PEK, J.; WONG, O.; WONG, A. C. M. How to address non-normality: A taxonomy of approaches, reviewed, and illustrated. **Frontiers in Psychology**, v. 9, p. 1–17, 2018. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02104. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30459683/>. Acesso em: 17 ago. 2022.

QUEIROZ, A. S.; DIAS, C. T. DOS S.; LOPES, A. DA S.; NASCIMENTO, Í.V. DO.; OLIVEIRA, L. DE S.; ALMEIDA, B. G. DE.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE.; SOUZA, L. DA S.; SILVA, M. B. E.; ROMERO, R. E.; TOMA, R. S.; SOUSA, H. H. DE F.; MOTA, J. C. A.

Water content as a deterministic factor in the assessment of cohesive character in soils of Coastal Tablelands (Northeast, Brazil). **Geoderma Regional**, v. 32, n. August 2022, 2023. DOI: 10.1016/j.geodrs.2022.e00600. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009422001201>. Acesso em: 17 dec. 2023.

QUEIROZ, A. S.; NASCIMENTO JUNIOR, F. R. P.; OLIVEIRA, L. S.; LOPES, A. S.; NASCIMENTO, I. V.; ALENCAR, T. L.; ASSIS JUNIOR, R. N. DE; MOTA, J. C. A. A Elementary mass for the particle-size analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 6, p. 752–758, 2022. DOI: 10.1080/00103624.2022.2028813. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2022.2028813>. Acesso em: 17 ago. 2023.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on TSoF aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 54, n. 3–4, p. 145–153, abr. 2000. DOI: 10.1016/S0167-1987(00)00086-6. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167198700000866>. Acesso em: 13 ago. 2023.

REGO, R. S.; SOARES, A. F. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos da área do polo Altamira, Pará**. EMBRAPA/SNLCS. Boletim técnico nº 77, 1981. 183p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336016/levantamento-de-reconhecimento-de-media-intensidade-e-aptidao-agricola-dos-solos-da-area-do-polo-altamira-pa>. Acesso em: 17 ago. de 2022.

RIBEIRO, L. P. Sílica em horizontes coesos de solo da Bahia. **Universitas**, n. 38, p. 59–80, 1986. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/universitas/article/view/1177/27222>. Acesso em: 17 ago. 2023.

RIBEIRO, L. P. Gênese, evolução e degradação dos solos amarelos coesos dos Tabuleiros Costeiros. (L. R. Q. Nogueira, L. C. Nogueira, Eds.) In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas. **Anais [...]**. Cruz das Almas. Anais: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ EMBRAPA -CPATC & CNPMP/ EAUFA/IGUFBA, 1996.

RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. (F. L. D. Cintra, J. L. dos Anjos, W. M. P. Melo Ivo, Eds.). In WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Empresa de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros, 2001.

RIBEIRO, L. O.; COSTA, D. P.; LEDO, C A.S.; CARVALHO, L. M.; CARVALHO, H. W. L.; SOARES FILHO, W S.; GIRARDI, E. A. ‘Tropical Sunki’ mandarin and hybrid citrus rootstocks under ‘Pera’ sweet orange in cohesive soil and As climate without irrigation. **Bragantia**, v. 80, p. 1–14, 2021.

RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. (F. L. D. Cintra, J. L. dos Anjos, W. M. P. Melo Ivo, Eds.). In WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Empresa de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - Tabuleiros Costeiros, 2001.

ROMERO, R. E.; LIMA, H. V. Solos dos Tabuleiros Costeiros, compostos amorfos e parâmetros de ordem estrutural da Caulinita em um horizonte coeso. In: OLIVEIRA, T. S. (Ed.). **Solo e água: aspectos de uso e manejo**. 1. ed. Fortaleza: Departamento de Ciências do Solo, UFC, 2004. p. 219–241.

ROSSETTI, D. DE F. Evolução sedimentar Miocênica nos estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 7–18, 2006. DOI: 10.5327/s1519-874x2006000300003 Disponível em: www.igc.usp.br/geologiausp. Acesso em: 17 ago. 2023.

ROSSETTI, D. F.; BEZERRA, F. H. R.; DOMINGUEZ, J. M. L. Earth-Science Reviews Late Oligocene – Miocene transgressions along the equatorial and eastern margins of Brazil. **Earth Science Reviews**, v. 123, p. 87–112, 2013. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.04.005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.04.005>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SANTANA, M. B.; SOUZA, L. DA S.; SOUZA, L. D.; FONTES, L. E. F. Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 1–12, fev. 2006. DOI: 10.1590/S0100-06832006000100001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000100001&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 7 ago. 2023.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, A. DE O.; COELHO M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, A.; LUMBRERAS, J. F.; 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, 2018. 353 p.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H.G. DOS.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS, R. D. DOS. **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras de área piloto no município de Barreirinha, Estado do Amazonas**. EMBRAPA/SNLCS-SEPROR/CEPA-AM. Boletim técnico nº9, 1982. 101p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336037/levantamento-de-reconhecimento-de-baixa-intensidade-dos-solos-e-avaliacao-da-aptidao-agricola-das-terras-de-area-piloto-no-municipio-de-barreirinha---estado-do-amazonas>. Acesso em: 17 ago. 2022.

SAS STUDIO, 2012-2018. Versão universitária. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

SILVA, A. A. G. DA.; BARRETO, A. C.; NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; CUENCA, M. A. G.; FERNANDES, M. F.; GALINA, M. H.; SILVA, M. A. S. DA; CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; MELLO IVO, W. M. P DE. **Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros - Relatório Final**. Aracaju: Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária/EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2014. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/documents/1355017/1529340/Delimitação+dos+Tabuleiros+Costeiros+e+Áreas+Adjacentes/63259782-07e4-451e-aeef-2262fc92f676>>. Acesso em: 17 ago. 2022.

SILVA, C. P. DA.; ALMEIDA, B. G. DE.; ROMERO, R. E.; ALENCAR, T. L. DE.; LOBATO, M. G. R.; OLIVEIRA, L. DE S.; SOUZA, L. DA S.; COSTA, M. C. G.; MOTA, J. C. A. Cohesive character in Alfisols, Ultisol and Oxisols in northeast of Brazil: Relationship with TSand particle size. **Geoderma Regional**, v. 23, p. e00341, dez. 2020a. DOI: 10.1016/j.geodrs.2020.e00341. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009420300900?via%3Dihub>. Acesso em: 5 ago. 2023.

SILVA, M. B., LUMBRERAS, J. F., COELHO, M. R., OLIVEIRA, V. A. (Eds.), 2020b. Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC o Maranhão. Embrapa, Brasília.

SOBUCKI, V.; HOLTHUSEN, D.; BATISTÃO, A. C.; MOTA, J. C. A.; REICHERT, J. M. Potential of rheometry in detecting cohesive soils in Brazil as an additional tool to morphological field description and tensile resistance quantification. **Geoderma Regional**, v. 30, n. June, 2022. DOI: 10.1016/j.geodrs.2022.e00553. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352009422000736>. Acesso em: 5 ago. 2022.

SOIL SCIENCE DIVISION STAFF (USDA-NRCS). **Soil Survey Manual, USDA**. United States Department of Agriculture Handbook 18, 2017. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>

SOIL SURVEY STAFF. **Illustrated guide to soil taxonomy**. version 2. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, Nebraska, 2015. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/Illustrated_Guide_to_Soil_Taxonomy.pdf

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. S.; LEDO, C. A. DA S.; CARDOSO, C. E. L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 12, p. 1937–1947, 2016.

SUGUIO, K.; LOUIS, M.; DOMINGUEZ, J. M. L. Evolução da planície costeira do rio Doce (ES) durante o quaternário: influência das flutuações do nível do mar. In IV SIMPÓSIO DO QUATERNÁRIO NO BRASIL, 1982, **Anais** [...]. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1982. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002160849>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SUGUIO, K; MARTIN, L; BITTENCOURT, A. C. S. P; DOMINGUEZ, J. M. L; FLEXOR, J. M. Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, p. 273–286, 1985. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12026>. Acesso em: 10 ago. 2023.

SUGUIO, K.; NOGUEIRA, A. C. R. Revisão crítica dos conhecimentos geológicos sobre a Formação (ou Grupo?) Barreiras do Neógeno e o seu possível significado como testemunho

de alguns eventos geológicos mundiais. **Geociências**, v. 18, n. 2, p. 461–479, 1999. DOI: Disponível em: https://repositorio.usp.br/single.php?_id=001189413. Acesso em: 10 ago. 2021.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER, J. J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18–22, jul. 1966. DOI: 10.1097/00010694-196607000-00002 Disponível em: <http://journals.lww.com/00010694-196607000-00002>. Acesso em: 10 ago. 2019.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A. Quantificação da RT e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 943–952, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/FTVwPwqJKmPtRGDhrkdrvjL/?lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2023.

VIEIRA, J. M.; ROMERO, R. E.; OSÓRIO, T. F.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 623–632, dez. 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000400002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-66902012000400002&lng=pt&nrm=iso&tln. Acesso em: 5 set 2023.

VIEIRA, J. M. **Contribuição de compostos de baixa cristalinidade e ciclos de umedecimento e secagem na gênese do caráter coeso em solos do Ceará**. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/9148>. Acesso em: 6 mai. 2023.

VIEIRA, J. M. **Fatores físicos e agentes químicos envolvidos na gênese de solos com caráter coeso**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60465>. Acesso em: 3 mar. 2023.

VILAS BOAS, G. DA S.; BITTENCOURT, A. C. DA S P.; MARTIN, L. Leques aluviais pleistocênicos da região costeira da Bahia: implicações paleoclimáticas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 15, n. 3, p. 255–258, 1985. Disponível em: <https://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/12076>. Acesso em: 16 mai. 2023.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial Variability of Soil Physical Properties in the Field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of Soil Physics**. Ney York: Academic, 1980. p. 319–344. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-348580-9.50018-3>. Acesso em: 16 mai. 2023.

WEBSTER, R.; LARK, R. M. Analysis of variance in soil research: Examining the assumptions. **European Journal of Soil Science**, v. 70, n. 5, p. 990–1000, 2019. DOI: 10.1111/ejss.12804. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.12804>. Acesso em: 16 mai. 2020.

WEST, D. C.; MELLO, C. L. Distribution of barreiras formation in southern of Espírito Santo state (southeastern Brazil) and its relationship to neotectonic deformation. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, p. 155–170, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i1.1667. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1667>. Acesso em: 5 abr. 2021.

WATTS, C.W. & DEXTER, A.R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, v 49, p.73-84, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-2389.1998.00129.x. Disponível em: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2389.1998.00129.x>. Acesso em: 11 mai. 2023.

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS DE SOLO

I - DESCRIÇÃO GERAL

CLASSIFICAÇÃO - ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS: Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici. Coordenadas: UTM 24 547044 958629.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira aberta em área plana e com cobertura vegetal de pequeno porte.

ALTITUDE: 20 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos areno-argilosos.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado.

DRENAGEM: Moderada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Composta pelo Complexo Vegetacional da Zona Litorânea.

CLIMA: Tropical chuvoso com chuvas de verão (Aw).

USO ATUAL: Mata secundária.

DESCRIÇÃO E COLETA: Juliana Matos Vieira e Ricardo Espíndola Romero.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0-8cm; bruno acizentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno – acizentado escuro (10YR 4/2 seca); fraca média a grande granular; macia, solta, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara.
- AE 8-15 cm; bruno acizentado muito escuro (10YR 3/2 úmida), bruno – acizentado escuro (10YR 4/2 seca); fraca média a grande granular e fraca média blocos subangulares; macia, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- E 15-32 cm; bruno (10YR 4/3 úmida), bruno (10YR 5/3 seca); fraca a moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual.
- EB 32-62 cm; bruno (10YR 4/3 úmida), bruno (10YR 5/3 seca); moderada média a grande blocos subangulares; ligeiramente dura, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.
- BE 62-96 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 5/6 úmida), bruno-amarelado-claro (10YR 6/4 seca); moderada a forte média a grande blocos subangulares; dura, muito friável, plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
- Bt₁ 96- 145cm; bruno forte (7,5YR 5/8 úmida), amarelo- avermelhado (7,5YR 7/6 seca); mosqueado comum médio proeminentes 2,5YR 5/8 (úmida), maciça com tendência a formação de blocos subangulares; extremamente duro, friável a firme,

plástica e pegajosa; transição irregular e gradual.

Bt₂ 145-190 cm+; vermelho- amarelado (5YR 5/8 úmida), amarelo- avermelhado (5YR 6/8 seca); moderada média blocos subangulares; muito duro a extremamente duro, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES: Muitas finas e médias no horizonte Ap; comuns finas em AE; poucas finas em E; raras finas em EB e BE.

OBSERVAÇÕES: O horizonte Bt₁ apresenta caráter coeso; horizontes Bt₁ e Bt₂ apresentam mosqueados médios comuns proeminentes; as cores foram revisadas em dezembro de 2022 por Ana Maria Vieira da Silva, Angélica Lopes e Ricardo Romero. As cores do horizonte Bt₂ não foram revisadas.

Figura 43 - Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Eutrocoeso típico coletado no Ceará (CE1)



II - DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 30/09/2019.

CLASSIFICAÇÃO: LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS: Estrada Rio Largo-Maceió. A partir do entroncamento da 104 percorrem-se 3 km, depois vira-se à direita e percorre-se 1 km pela antiga estação do PLANALSUCAR, atual Campus de Ciências Agrárias da UFAL. Coordenadas: 25 L 18914788/UTM 8952524.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo plano de Tabuleiro com 0,2 % de declive, sob cobertura de floresta tropical subperenifolia.

ALTITUDE: 136 m.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos areno-argilosos.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado.

DRENAGEM: Moderada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Vegetação tropical subperenifolia.

CLIMA: Tropical litorâneo úmido (As).

USO ATUAL: Mata secundária.

DESCRIÇÃO E COLETA: José Coelho, Angélica Lopes.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- O₀ 4-0; camada orgânica constituída por folhas e raízes parcialmente decompostas, as estruturas dos tecidos vegetais conservadas, presença de raízes com diferentes espessuras. Na interface com o horizonte mineral apresenta uma fina camada de matéria orgânica bem decomposta; transição plana e clara.
- A₁ 0-8 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); franco-arenosa; moderada a forte pequena a média bloco subangular e granular; muitos poros pequenos e poros comuns médios; muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição plana e clara.
- A₂ 8-22 cm; bruno-acinzentado muito escuro (10YR 3/2, úmido); franco-argiloarenosa; fraca pequena a média bloco angular a subangular; muitos poros pequenos e poros comuns médios; friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
- AB 22-35 cm, bruno (10YR 4/3, úmido); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco angular a subangular; poros comuns pequenos e poucos poros médios; friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
- BA 35-60 cm; bruno-amarelado (10YR 5/6, úmido); mosquedo pouco, pequeno a médio e difuso bruno forte (7,5YR 5/6); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco angular a

subangular e parte maciça; poucos poros pequenos; friável a firme, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.

B_{w1} 60-115 cm; amarelo-brumado (10YR 6/6, úmido); mosqueado pouco, pequeno a médio e difuso bruno forte (7,5YR 5/6); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco subangular; muitos poros pequenos; friável, plástico e pegajoso; transição plana e difusa.

B_{w2} 115-170 cm+, amarelo-brumado 10YR 6/8 (úmido); argiloarenosa; fraca pequena a média bloco subangular; muitos poros pequenos; friável, plástico e pegajoso.

RAÍZES: A₁: presença de raízes muitas finas e muitas grossas; A₂: raízes comuns finas e poucas médias; AB, BA: raízes raras finas e raras médias; B_{w1}: raras finas, médias e grossas; B_{w2}: raras finas.

OBSERVAÇÕES: Presença de carvão; o horizonte de máxima coesão é o BA (coeso); B_{w2} sem caráter coeso. Presença de mosqueado no horizonte AB e no BA. Os mosqueados presentes nestes horizontes indicam que nestes horizontes ocorrem condições de oxirredução, sugerindo restrições de permeabilidade nestes horizontes. O solo estava úmido, não sendo possível obter a cor e a consistência do solo seco.

Tabela 32- Análise granulométrica para os horizontes do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila
		-----%-----		
O ₀	4-0 cm	-	-	-
A ₁	0-8 cm	70	5	25
A ₂	8-22 cm	63	5	32
AB	22-35 cm	60	5	35
BA	35-60 cm	50	5	45
B _{w1}	60-115 cm	46	4	50
B _{w2}	115-170 cm+	38	7	55

Figura 44 - Foto do perfil do LATOSSOLO AMARELO Distrocoeso argissólico coletado em Alagoas



III - DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 01/10/2019.

CLASSIFICAÇÃO: ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abrupático.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS: Rodovia 335 que liga Neópolis à BR 101, a 15,5 km do trevo de Neópolis, percorre-se 1 km pela direita no sentido de Aracaju. Sergifrut Sergipe Fruticultura Ltda, Platô Neópolis, S/N, Lote 23 | Neópolis - SE, CEP: 49980-000. Coordenadas: 24 L 74962400/UTM 8855333.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA E LITOLOGIA: Sedimentos do Grupo Barreiras do período Terciário.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos areno-argilosos.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a suave ondulado.

ALTITUDE: 110 m.

DRENAGEM: Boa a moderada.

PEDREGOSIDADE: Não pedregoso.

ROCHOSIDADE: Não Rochoso.

EROSÃO: Laminar ligeira.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Vegetação Topical Subperenifólia e Cerrado.

CLIMA: Tropical chuvoso com verão seco (As).

USO ATUAL: Cultivo de banana.

DESCRIÇÃO E COLETA: José Coelho, Angélica Lopes.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A_{p1} 0-10 cm; bruno (7,5YR 5/3, seco), bruno-escuro (7,5YR 3/3, úmido); areia franca; fraca a moderada, grão simples pequena a média bloco subangular e granular; muitos poros pequenos a médios; ligeiramente duro a duro, muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e clara.
- A_{p2} 10-25 cm; bruno (7,5YR 5/3, seco), bruno (7,5YR 4/3, úmido); francoarenosa; fraca e partes maciças, pequena e média blocos angulares e subangulares; poros comuns e pequenos e poucos poros médios; muito duro a extremamente duro, muito friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição plana e abrupta.
- B_{t1} 25-50 cm; amarelo-avermelhado (7,5YR 6/6, seco), bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); franco-argiloarenosa; fraca e partes maciças, pequena e média blocos angulares e

subangulares; poros comuns pequenos; muito duro a extremamente duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.

- B_{t2} 50-95 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6, úmido); mosqueado comum, grande e distinto vermelho-amarelado (5YR 5/6); francoargilosa; fraca e partes maciças, pequena e média blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e poucos poros médios; muito duro, friável com partes firmes (mosqueados), plástico e pegajoso; transição plana e difusa.
- B_{t3} 95-160 cm+; amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmido) mosqueado comum, grande e distinto vermelho-amarelado (5YR 5/6); francoargilosa; fraca pequena a média blocos subangulares; poros comuns pequenos; friável com partes firmes (mosqueados), plástico e pegajoso.

RAÍZES: A_{p1}: raízes muitas finas; A_{p2}: raízes poucas finas; B_{t1}, B_{t2} e B_{t3}: raízes raras e finas.

OBSERVAÇÕES: O perfil estava parcialmente seco. O solo estava úmido a partir de 80 cm de profundidade. Os horizontes B_{t1} e B_{t2} apresentam uma parte firme indicando o início de formação de uma fragipã incipiente. A maior coesão está presente no horizonte B_{t1}.

Tabela 33 - Análise granulométrica para os horizontes do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico

Horizonte	Profundidade	Areia	Silte	Argila
		-----%-----		
A _{p1}	0-10 cm	81	9	10
A _{p2}	10-25 cm	82	8	10
B _{t1}	25-50 cm	68	11	21
B _{t2}	50-95 cm	63	12	25
B _{t3}	95-160 cm+	63	10	27

Figura 45 - Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico coletado em Sergipe



IV- DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 23/10/1984

CLASSIFICAÇÃO: Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico a moderado; textura argilosa; fase floresta subperenifólia; relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTRADA E COORDENADAS: Mata da prefeitura de Cruz das Almas, Bahia. 24 L 0490548/UTM 8597830.

LITOLOGIA E CRONOLOGIA: Formação Barreiras terciária.

MATERIAL ORIGINÁRIO: Sedimentos argilo-arenoso.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano.

ALTITUDE: 200 m.

DRENAGEM: Bem drenado.

PEDREGOSIDADE: Ausente.

ROCHOSIDADE: Ausente.

EROSÃO: Não aparente.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA: Floresta Subpenifólia.

CLIMA: Clima tropical quente e úmido (Aw a Am).

USO ATUAL: Cobertura florestal primária.

DESCRIÇÃO E COLETA: Melo Filho, H. F. R e Araújo Filho, J. C. O. SNLCS/EMBRAPA (não publicado).

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A₁ 0-16 cm; bruno (10YR 5/3; seco); bruno amarelado escuro (10YR 4/4, seco triturado), bruno acinzentado muito escuro (10YR 3,5/2, úmido); bruno- escuro (10YR 4/3, úmido amassado); franco-argilo-arenoso; moderada a média a grande granular e grão simples; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana.
- A₂ 16-30 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco e seco triturado); bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido e úmido amassado); franco argilo-arenoso; fraca a moderada pequena e média granular; ligeiramente duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso, transição ondulada (16- 26 cm) e clara.
- AB 30-51 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); franco argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
- BA 51-114 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca pequena e média blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e gradual.

- B_{t1} 114-148 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco) e bruno amarelado-escuro (10YR 4/4, úmido); argilo-arenoso; fraca pequena e média maciça a blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
- B_{t2} 148-190 cm+; bruno amarelado (10YR 5/8, úmido); argila; fraca pequena e média em blocos subangulares; friável, plástico e pegajoso.

RAÍZES: Muitas raízes finas e poucas médias no A₁, comuns finas e médias no A₂, poucas finas e médias no BA.

OBSERVAÇÕES: Poros comuns e poucos grandes e pequenos no A₁; poros comuns pequenos e médios e poucos grandes no A₂; poros comuns muito pequenos e pequenos, poucos médios, no AB₁, AB₂ e BA; muitos poros muito pequenos e pequenos, e poucos médios no B_{w1} e B_{w2}. Solo úmido a partir de AB₁. Esse descritivo foi realizado durante a reunião técnica sobre os solos dos Tabuleiros Costeiros. Referência: Guia de excursão – Reunião Técnica sobre solos dos Tabuleiros Costeiros. Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiro. Realização: Universidade Federal da Bahia: EAUFBFA e IGUFBA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: CBPMF e CPATC. Cruz das Almas (BA)/Aracaju (SE), maio de 1996. Este descritivo foi revisado pelo professor Oldair Del'Arco Vinhas Costa, juntamente com a orientada de Mestrado Avete Vieira Lima, em uma trincheira ao lado da usada na reunião técnica sobre os solos dos Tabuleiros Costeiros. A descrição permaneceu similar à realizada em 1984 na Reunião Técnica sobre solos dos Tabuleiros Costeiros, com pequenas alterações nas profundidades e a união dos horizontes AB₁ e AB₂.

Figura 46 - Foto do perfil do ARGISSOLO AMARELO Distrocoeso abruptico coletado na Bahia



APÊNDICE B - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DADOS

Tabela 34 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes com caráter coeso

Local-Classe de solo	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
MA-PAdx	0,28	Tratamentos	3	8341,320	2780,440	4,04*
		Resíduo	140	96462,243	689,0160	
		Total	143	104803,564		
CE1-PAex	0,19	Tratamentos	3	2157,408	719,136	1,06 ^{ns}
		Resíduo	140	94886,976	677,764	
		Total	143	97044,385		
CE2-PAex	-0,14	Tratamentos	3	6469,092	2156,364	2,81*
		Resíduo	140	107248,750	766,062	
		Total	143	113717,842		
PE-PAdx	0,15	Tratamentos	3	10235,451	3411,817	8,36*
		Resíduo	140	57128,475	408,060	
		Total	143	67363,926		
AL-LAdx	0,25	Tratamentos	3	4118,730	1372,910	2,84*
		Resíduo	140	67793,058	484,236	
		Total	143	71911,789		
SE-PAdx	0,25	Tratamentos	3	5389,377	1796,459	2,77*
		Resíduo	140	90677,725	647,698	
		Total	143	96067,102		
BA-PAdx	0,55	Tratamentos	3	4471,517	1490,505	4,81*
		Resíduo	140	43374,794	309,819	
		Total	143	47846,311		

¹Coeficiente de assimetria; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrados; ⁴Quadrados médios; ⁵Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 35 - Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes sem caráter coeso

(continua)

Local-Classe de solo	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
MA-PAdx	0,76	Tratamentos	3	3832,047	1277,349	3,14*
		Resíduo	140	56907,776	406,484	
		Total	143	60739,824		
CE1PAex	0,58	Tratamentos	3	3431,835	1143,945	3,96*
		Resíduo	140	40402,601	288,590	
		Total	143	43834,436		

Tabela 35- Coeficiente de assimetria e análise de variância dos dados de RT mensurada no dinamômetro e por avaliadores humanos no TS-Soil para os horizontes sem caráter coeso

(conclusão)

Local-Classe de solo	CA ¹	Fonte de variação	GL ²	SQ ³	QM ⁴	F ⁵
CE2-PAex	0,25	Tratamentos	3	8735,458	2911,819	4,27*
		Resíduo	140	95408,523	681,489	
		Total	143	104143,981		
PE-PAdx	0,72	Tratamentos	3	580,089	193,363	1,47 ^{ns}
		Resíduo	140	18360,370	131,145	
		Total	143	18940,459		
AL-LAdx	0,59	Tratamentos	3	5513,942	1837,980	4,14*
		Resíduo	140	62122,093	443,729	
		Total	143	67636,035		
SE-PAdx	0,57	Tratamentos	3	4135,506	1378,502	2,41 ^{ns}
		Resíduo	140	80168,064	572,629	140
		Total	143	84303,570		
BA-PAdx	0,41	Tratamentos	3	6103,300	2034,433	3,37*
		Resíduo	140	84449,873	603,213	
		Total	143	90553,174		

¹Coeficiente de assimetria; ²Graus de liberdade; ³Soma de quadrados; ⁴Quadrados médios; ⁵Teste F; *Significativo a 5%; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex); Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abruptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 36 - Análise de variância da regressão entre a RT e umidade das amostras dos solos estudados

(continua)

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
MA-PAdx	Tratamentos	1	2878,268	2878,268	3,58 ^{ns}
	Resíduo	286	229791	803,466	
	Total	287	232670		
CE1-PAex	Tratamentos	1	1294,944	1294,944	2,26 ^{ns}
	Resíduo	286	164233	574,240	
	Total	287	165528		
CE2-PAex	Tratamentos	1	538,236	538,236	0,53 ^{ns}
	Resíduo	286	289672	1012,840	
	Total	287	290211		
PE-PAdx	Tratamentos	1	144,898	144,898	0,17 ^{ns}
	Resíduo	286	244599	855,242	
	Total	287	244744		
AL-LAdx	Tratamentos	1	3,838	3,838	0,01 ^{ns}
	Resíduo	286	152496	533,204	
	Total	287	152500		

Tabela 36 - Análise de variância da regressão entre a RT e umidade das amostras dos solos estudados

(conclusão)

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
SE-PAdx	Tratamentos	1	1197,399	1197,399	1,49 ^{ns}
	Resíduo	286	229104	801,064	
	Total	287	230302		
BA-PAdx	Tratamentos	1	354,497	354,497	0,69 ^{ns}
	Resíduo	286	145931	510,248	
	Total	287	146286		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 37 - Análise de variância da regressão entre a fração areia e a RT das amostras dos solos estudados

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
MA-PAdx	Tratamentos	1	7953,977	7953,977	16,26 [*]
	Resíduo	70	34234	489,059	
	Total	71	42188		
CE1-PAex	Tratamentos	1	10745	10745	29,35 [*]
	Resíduo	70	25627	366,106	
	Total	71	36373		
CE2-PAex	Tratamentos	1	27,165	27,165	0,03 ^{ns}
	Resíduo	70	64687	924,094	
	Total	71	64714		
PE-PAdx	Tratamentos	1	16817	16817	40,49 [*]
	Resíduo	70	29075	415,359	
	Total	71	45892		
AL-LAdx	Tratamentos	1	2195,142	2195,142	5,60 [*]
	Resíduo	70	27448	392,110	
	Total	71	29643		
SE-PAdx	Tratamentos	1	6354,88109	6354,88109	9,05 [*]
	Resíduo	70	49154	702,20268	
	Total	71	55509		
BA-PAdx	Tratamentos	1	669,155	669,155	2,10 ^{ns}
	Resíduo	70	22329	318,979	
	Total	71	22998		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; ^{*}Significativo a 5%. ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abrupático (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 38 - Análise de variância da regressão entre a fração silte e a RT das amostras dos solos estudados

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
MA-PAdx	Tratamentos	1	932,953	932,953	1,58 ^{ns}
	Resíduo	70	41255	589,359	
	Total	71	42188		
CE1-PAex	Tratamentos	1	945,221	945,221	1,87 ^{ns}
	Resíduo	70	35427	506,104	
	Total	71	36373		
CE2-PAex	Tratamentos	1	1497,565	1497,565	1,66 ^{ns}
	Resíduo	70	63216	903,088	
	Total	71	64714		
PE-PAdx	Tratamentos	1	5895,182	5895,182	10,32*
	Resíduo	70	39997	571,384	
	Total	71	45892		
AL-LAdx	Tratamentos	1	740,019	740,019	1,79 ^{ns}
	Resíduo	70	28903	412,897	
	Total	71	29643		
SE-PAdx	Tratamentos	1	47,76786	47,76786	0,06 ^{ns}
	Resíduo	70	55461	792,30430	
	Total	71	55509		
BA-PAdx	Tratamentos	1	54,394	54,394	0,17 ^{ns}
	Resíduo	70	22943	327,761	
	Total	71	22998		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; *Significativo a 5%. ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abráptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 39 - Análise de regressão simples entre a fração argila e a RT das amostras dos solos estudados

(continua)

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
MA-PAdx	Tratamentos	1	5138,642	5138,642	9,71*
	Resíduo	70	37050	529,278	
	Total	71	42188		
CE1-PAex	Tratamentos	1	6351,664	6351,664	14,81*
	Resíduo	70	30021	428,869	
	Total	71	36373		
CE2-PAex	Tratamentos	1	1560,720	1560,720	1,73 ^{ns}
	Resíduo	70	63153	902,186	
	Total	71	64714		
PE-PAdx	Tratamentos	1	8799,189	8799,189	16,61*
	Resíduo	70	37093	529,898	
	Total	71	45892		

Tabela 39 - Análise de regressão simples entre a fração argila e a RT das amostras dos solos estudados

(conclusão)

Local-Classe de solo	Fonte de variação	GL¹	SQ²	QM³	F⁴
AL-LAdx	Tratamentos	1	3428,410	3428,410	9,15*
	Resíduo	70	26214	374,492	
	Total	71	29643		
SE-PAdx	Tratamentos	1	5861,01375	5861,013	8,26*
	Resíduo	70	49648	709,257	
	Total	71	55509		
BA-PAdx	Tratamentos	1	564,468	564,468	1,76 ^{ns}
	Resíduo	70	22433	320,474	
	Total	71	22998		

¹Graus de liberdade; ²Soma de quadrados; ³Quadrados médios; ⁴Teste F; ^{ns}Não significativo. Argissolo Amarelo Distrocoeso plintossólico (MA-PAdx); Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (CE1-PAex e CE2-PAex), Argissolo Amarelo Distrocoeso epiáquico (PE-PAdx); Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico (AL-LAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso abráptico (SE-PAdx); Argissolo Amarelo Distrocoeso típico (BA-PAdx).

Fonte: Elaborada pela autora.