



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
CURSO DE AGRONOMIA**

ALEXANDRE DOS SANTOS QUEIROZ

**ESTIMATIVA DA FRIABILIDADE DE SOLOS COM DADOS DE RESISTÊNCIA
TÊNซิล**

FORTALEZA

2018

ALEXANDRE DOS SANTOS QUEIROZ

ESTIMATIVA DA FRIABILIDADE DE SOLOS COM DADOS DE RESISTÊNCIA TÊNIL

Monografia apresentada ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota

Coorientador: Ms. Sc. Cillas Pollicarto da Silva

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Q42e Queiroz, Alexandre dos Santos.
Estimativa da friabilidade de solos com dados de resistência tênsil / Alexandre dos Santos Queiroz. –
2018.
31 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências
Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota.
Coorientação: Prof. Me. Cillas Pollicarto da Silva.

1. Trabalhabilidade do solo. 2. Horizonte com caráter coeso. 3. Estrutura do solo. I. Título.

CDD 630

ALEXANDRE DOS SANTOS QUEIROZ

ESTIMATIVA DA FRIABILIDADE DE SOLOS COM DADOS DE RESISTÊNCIA TÊNSEL

Monografia apresentada ao curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 14/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Bel. Ícaro Vasconcelos do Nascimento
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Adalberto e Valdenir.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar nas escolhas, pelo fôlego de vida e por todas as bênçãos a mim concedidas durante toda a minha vida.

Ao meu pai, Francisco Adalberto, e à minha mãe, Maria Valdenir, pela amizade, amor, apoio e todo esforço realizado para que eu pudesse ter uma educação diferenciada. Para mim, são verdadeiros exemplos de força e perseverança, certamente, devo essa conquista a eles.

Aos meus irmãos, Juliane e Geovani, por todo o amor e força e inúmeros momentos de alegrias durante esses anos, os quais me asseguraram firme na caminhada.

Ao Prof. Jaedson Cláudio Anunciato Mota pela amizade, a boa convivência diária, disponibilidade e ótima orientação. Um excelente profissional que não hesita em ajudar seus próximos, certamente desejo que essa parceria perdure por muito tempo.

Ao Ms. Sc. Cillas Pollicarto da Silva, pela coorientação, conselhos, a divertida amizade e o apoio na execução deste trabalho.

Ao Ms. Sc. Lucas de Sousa Oliveira pela amizade, ajuda nas análises e desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos da graduação, em especial, Pedro Igor, Julyanne Braga, Bruna Aires e Mayara Gama, pela amizade valorosa que me apoiou em um dos momentos mais difíceis da minha jornada, a vocês, a minha eterna gratidão.

Aos amigos Caio Sampaio, Leonardo Jorge, Vitor da Silveira e Luana Melo pelos inúmeros momentos juntos, a caminhada acadêmica se tornou mais fácil com apoio de vocês.

Aos demais colegas de curso, pela amizade e vivência durante toda esta etapa acadêmica.

Ao meu amigo Ícaro Vasconcelos, pela amizade, pela ajuda na elaboração deste trabalho e pelas suas contribuições.

Ao Prof. Dr. Helon Hébano de Freitas Sousa pela amizade e pela disponibilidade de participação na banca avaliadora.

Ao amigo Francisco José da Silva (Franzé), pela amizade, pelos momentos de descontração e pelo aprendizado no período do estágio no laboratório de física do solo.

À minha amiga Alessandra Fragoso, a quem devo muito pela amizade valorosa e por todo carinho e esforço em sempre me ajudar.

A todos os demais amigos que de alguma forma tenham me ajudado nessa jornada e execução deste trabalho.

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar; que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas, que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição. O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição, pois a sua essência é a natureza; a sua origem e o seu fim.”

Elizabeth Jhin.

RESUMO

O solo é considerado um recurso natural frágil e não renovável devido seu longo período de formação. Sabe-se que os maiores danos causados à sua estrutura ocorre no momento do preparo para o cultivo, principalmente quando não se observa a umidade adequada de trabalho. Assim posto, indicadores para a avaliação estrutural do solo são necessário no protocolo de monitoramento do solo quando de seu uso e manejo. Um dos indicadores físicos mais utilizados para essa finalidade é a resistência tênsil de agregados, uma vez que, conhecido o desvio-padrão dos dados, é possível estimar valores de friabilidade e, em seguida, fazer inferências acerca da trabalhabilidade, especialmente para os solos que manifestam o caráter coeso, em que o horizonte adensado acarreta impedimentos físicos ao crescimento de raízes quando vai ficando mais seco. Partindo da hipótese de que horizontes de solos com caráter coeso, apesar de apresentarem sérias restrições ao seu uso agrícola quando secos, por serem muito resistentes à ruptura, são de fácil trabalhabilidade mecânica quando úmidos, objetivou-se com nessa pesquisa: i) mensurar valores de resistência tênsil e, com os desvios-padrão dos dados, estimar a friabilidade em solos com e sem a manifestação do caráter coeso; e ii) fazer inferências quanto ao manejo e preparo dos solos. Para isso, foram coletadas amostras de solo em seis classes distintas de solos, em horizontes Bt com e sem caráter coeso, localizados nos estados do CE, PE e BA. Em seguida, foi mensurada a resistência tênsil dos agregados e estimada a friabilidade. Concluiu-se que os solos descritos com caráter coeso apresentam maiores valores de resistência tênsil; apesar dos maiores valores de resistência tênsil, os solos com caráter coeso foram classificados desde friáveis a muito friáveis, não apresentando impedimentos mecânicos ao preparo para o cultivo quando respeitada a umidade adequada.

Palavras-chave: Trabalhabilidade do solo. Horizonte com caráter coeso. Estrutura do solo.

ABSTRACT

Soil is considered a fragile and non-renewable natural resource due to its long period of formation. It is known that the greatest damage to soil structure occurs at the time of preparation for cultivation, especially when adequate moisture is not observed. Thus, indicators for soil structural assessment (are) required in the soil monitoring protocol when used and managed. One of the most used physical indicators for this purpose is the tensile strength of aggregates, since, given the standard deviation of the data, it is possible to estimate friability values and then make inferences about the workability, especially for soils that they manifest the cohesive horizons, in which the thickened horizon entails physical impediments to root growth as it gets drier. Starting from the hypothesis that soil horizons with cohesive character, although they present serious restrictions to their agricultural use when dry, being very resistant to the rupture, are of easy mechanical workability when moist, the objective of this study was to: i) measure tensile strength values and, with the standard deviations of the data, estimate the friability in soils with and without the cohesive horizon; and ii) make inferences about the management and preparation of soils. For this, soil samples were collected in six soils, in Bt horizons with and without cohesive character, located in the CE, PE and BA states. Then, the tensile strength of the aggregates was measured, and the friability was estimated. It was concluded that soils with cohesive character have higher values of tensile strength; Despite the higher values of tensile strength, cohesive soils were classified from friable to very friable, and did not present mechanical impediments to the preparation for cultivation when the adequate humidity was respected.

Keywords: Soil workability. Soil horizons with cohesive character. Soil structure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Detalhe das forças atuantes e a consequente ruptura do agregado	16
Figura 2 – Localização dos pontos de coleta dos solos	21

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Médias dos valores de resistência tênsil e comparações de médias	26
Gráfico 2 - Classificação da friabilidade dos solos	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria e classes texturais dos solos	22
Tabela 2 – Descrição morfológica dos horizontes dos solos	22
Tabela 3 - Classificação do solo quanto à friabilidade (F) pelo método do coeficiente de variação	24
Tabela 4 – Análise descritiva dos valores de resistência tênsil obtidos nos solos avaliados	25
Tabela 5 – Análise de variância para os tratamentos estudados	26

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Resistência Tênsil: Definição e importância agrícola	15
2.2	Resistência tênsil e Friabilidade: a trabalhabilidade do solo	17
2.3	O caráter coeso em solos	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Local de coleta	21
3.2	Trabalhos de campo e laboratório	22
3.3	Análise dos dados	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÕES	29
	REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

O solo é tido como um recurso natural frágil e não renovável quando se considera o seu longo período de formação que pode durar além de centenas de anos. Em vista disso, nas últimas décadas houve aumento nos estudos relacionados ao seu uso racional a fim de que sejam conservadas as suas propriedades físicas e químicas.

Ao se considerar a extensão territorial do planeta terra, estima-se que cerca de 13% dos solos são ditos agricultáveis; desses, ainda são excluídos aqueles que apresentam algum tipo de limitação à agricultura, como por exemplo, áreas declivosas, solos rasos, localização distante dos centros de comercialização entre outras limitações, ou seja, os solos realmente favoráveis à agricultura estão cada vez mais escassos. Dessa forma, são necessárias práticas de manejo e conservação desse recurso limitado e de extrema importância para a sobrevivência dos entes que dele dependem.

Acredita-se que um dos principais problemas à conservação da estrutura dos solos deve-se ao seu preparo para o cultivo, que por muitas vezes é realizado de forma errônea, sem levar em consideração o seu estado de umidade quando da introdução do maquinário e implemento agrícola em campo. Uma vez comprometida a estrutura do solo, aumenta-se a probabilidade de danos tais como erosão, compactação, perda da capacidade produtiva e, em casos mais extremos, a desertificação.

Nessa vertente, grande parte dos solos do litoral brasileiro apresenta horizontes minerais subsuperficiais muito adensados, muito resistentes à penetração da faca ou martelo pedológico, de consistência em solo seco variando de muito dura a extremamente dura e em solo úmido de friável a firme, sendo classificados tecnicamente como horizontes com caráter coeso. Tal caráter pode prejudicar a dinâmica da água no solo, a penetração e desenvolvimento radicular, além de dificultar o preparo do solo quando não realizado na faixa de umidade adequada.

O cultivo contínuo e demasiado dos solos de Tabuleiros Costeiros pode levá-los à degradação, removendo a parte superficial (horizonte A, por exemplo) via processos erosivos. Isso faz com que o horizonte com caráter coeso se torne aparente ou mais superficial, dificultando o desenvolvimento das raízes das plantas e reduzindo substancialmente a produtividade das culturas.

Assim posto, indicadores para a avaliação estrutural do solo são necessário no protocolo de monitoramento do solo quando de seu uso e manejo. Neste caso, a resistência tênsil de agregados mostra-se sensível a mudanças causadas à estrutura, indicando ser um

indicador com potencial de avaliação da qualidade física do solo. Além disso, com valores de resistência tênsil é possível estimar a friabilidade do solo, que por sua vez é considerada também um parâmetro a ser levado em conta no momento de seu preparo para o cultivo agrícola.

Nesta perspectiva, considerou-se a hipótese de que horizontes de solos com caráter coeso, apesar de apresentarem sérias restrições ao seu uso agrícola quando secos, por serem muito resistentes à ruptura, são de fácil trabalhabilidade mecânica quando úmidos. Objetivou-se com esta pesquisa: i) mensurar valores de resistência tênsil e, com os desvios-padrão, estimar a friabilidade em solos com e sem a manifestação do caráter coeso; e ii) fazer inferências quanto ao manejo e preparo dos solos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Resistência tênsil: definição e importância agrícola

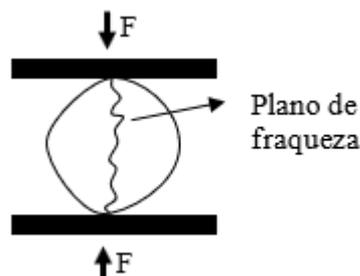
O conceito de qualidade física do solo envolve o conhecimento de propriedades e processos relativos à capacidade do solo em executar os serviços ambientais essenciais à saúde do ecossistema (MEA, 2005), cujo estudo é realizado utilizando indicadores físicos da qualidade do solo suficientemente sensíveis às alterações na estrutura.

Sabe-se que a qualidade física do solo está ligada a uma série de atributos físicos que regem o seu comportamento no meio, dentre os quais podem ser citados a densidade, a porosidade, a resistência à penetração, bem como a estabilidade de agregados em água (HILL, 1990; TORMENA et al., 1998).

Em adição aos atributos citados, Singer e Ewing (2000) sugeriram a utilização de indicadores que consideram a profundidade efetiva de enraizamento, distribuição e tamanho dos poros, distribuição do tamanho das partículas, intervalo hídrico ótimo e índice de compressão para uma melhor representação da qualidade física do solo. Tais atributos têm em comum o fato de serem avaliados por meio das suas características quanto à forma ou estabilidade estrutural do solo.

Partindo disso, outro atributo que pode ser utilizado para fins de avaliação da qualidade física do solo é a resistência tênsil dos agregados (RT), definida por Dexter e Watts (2000) como o estresse ou força por unidade de área requerida para fraturar os agregados do solo (Figura 1).

Figura 1- Detalhe das forças atuantes e a conseqüente ruptura do agregado (Adaptado de DEXTER e WATTS, 1998).



Como o comportamento do solo depende diretamente de atributos da estrutura, a RT mostra-se um potencial indicador da influência do manejo na qualidade física do solo, em resposta aos processos mecânicos que ocorrem no uso da terra, principalmente no meio agrícola

moderno, o qual caracteriza-se pela utilização de maior número de maquinário e implementos mais potentes e pesados. Além disso, a RT mostra-se indiretamente ligada com aspectos agronômicos desejáveis, a saber, emergência de plântulas e penetração radicular. Dessa forma, evidencia-se ainda mais a importância do conhecimento deste atributo físico.

Sabe-se que a RT é influenciada por vários fatores. Imhoff (2002) relatou um aumento na RT decorrente do aumento do teor de argila, que proporciona incremento no número de cargas elétricas aptas à formação ligações com partículas minerais e/ou orgânicas. Tormena et al. (2008) observaram aumento da RT proporcional à redução dos teores de carbono orgânico sob sistemas distintos de uso da terra, no quais em áreas de mata e pousio, com maiores teores de carbono orgânico, apresentaram menores valores de RT quando comparados a uma área com histórico de preparo convencional cultivada com milho. Os autores sugeriram que a degradação do carbono orgânico possa ter concorrido para os maiores valores de RT.

Bavoso *et al.* (2010), analisando a influência dos sistemas de produção e tipos de preparo do solo sobre atributos físicos do solo, verificaram valores de RT menores em solos sob pastejo, ao contrário dos solos utilizados em sistemas de plantio direto, os quais apresentaram maiores valores de RT. Os autores explicam que tal fato é decorrente do tráfego de maquinário no sistema plantio direto associado ao não revolvimento do solo; no caso do pastejo, acredita-se que o consumo da forragem estimula o perfilhamento da planta e, conseqüentemente, promove maior atividade e crescimento radicular no solo.

2.2 Resistência tênsil e Friabilidade: a trabalhabilidade do solo.

Para o estabelecimento de uma cultura agrícola, sabe-se que o solo deve apresentar condições físicas adequadas para o cultivo. Como já citado no tópico anterior, uma série de atributos podem ser utilizados para a avaliação da qualidade física do solo.

No meio agrícola moderno, cada vez mais se faz necessário o uso de maquinários e implementos desde o preparo do solo até a colheita e transporte da produção. Com isso, tornou-se necessário o acompanhamento de parâmetros que verifiquem a capacidade do solo em receber mecanização, tendo em vista problemas oriundos desse tipo de processo, tais como a compactação e pé de arado ou de grade, que são camadas subsuperficiais adensadas formadas por consecutivas arações na mesma profundidade.

O termo trabalhabilidade do solo está relacionado com a condição estrutural ótima para preparo do solo e melhor desenvolvimento das culturas. A trabalhabilidade resulta da interação implemento agrícola-solo e determina a capacidade do solo para reagir à ação do

implemento, ou seja, para adquirir a condição estrutural ótima citada (GUERIF, 1994).

A trabalhabilidade do solo é influenciada pela textura, teor de matéria orgânica e umidade do solo e pode ser facilmente alterada na condição de campo, desde uma mudança no teor de água no solo a alterações estruturais em horizontes distintos no perfil do solo (IMHOFF, 2002).

O principal aspecto relacionado a permissão do solo para o preparo e cultivo é a sua friabilidade, definida como à faixa de umidade entre os limites de contração e plasticidade. Um solo é dito como friável quando seus agregados maiores não estão pegajosos ou duros e podem ser facilmente desfeitos em agregados de tamanhos menores sob aplicação de um estresse ou carga. Ela é resultante da heterogeneidade da RT, devido aos planos de fraqueza ou zonas de falhas entre os agregados na estrutura do solo, podendo ser estimada dividindo o desvio padrão dos valores de RT pela média dos seus valores (WATTS E DEXTER, 1998).

Dessa maneira, as atividades agrícolas devem, preferencialmente, serem realizadas com o solo na condição de friabilidade, em que o solo está úmido, apresentando melhores condições para os diversos tipos de manejos; portanto, a faixa de friabilidade é definida como a faixa adequada de trabalhabilidade do solo. Logo, práticas de manejo do solo em áreas com condições de umidade inadequadas, ou fora da faixa de friabilidade, provocam deformações nele, formando zonas de compactação ao longo de seu perfil, levando à redução de sua qualidade física em decorrência principalmente da redução da macroporosidade.

A compactação do solo pode ter como consequências a redução da produtividade das culturas, principalmente em safras caracterizadas por excesso ou deficiência hídrica. Isso porque a degradação da qualidade física do solo diminui o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes às plantas. Além disso, a compactação exerce efeitos negativos sobre o ambiente, aumentando as perdas de água e nutrientes. Adicionalmente, o preparo do solo em uma faixa fora da friabilidade, tende a requerer maior energia dos maquinários agrícolas, promovendo maior desgaste dos mesmos e maior impacto na estrutura do solo.

Cada solo apresenta sua faixa de friabilidade ideal; em geral, solos argilosos apresentam uma faixa menor quando comparados a solos arenosos. Deste modo, nos solos argilosos o planejamento da melhor época para o tráfego de maquinário é mais complexo, pois esses solos perdem mais lentamente a água presente, porém, quando secos, se tornam duros e inadequados para o trabalho com máquinas e implementos agrícolas (BRADY e WEIL, 2013).

2.3 O caráter coeso em solos

O caráter coeso faz referência a solos que apresentam horizontes minerais subsuperficiais adensados, muito resistentes à penetração da faca ou martelo pedológico, e de consistência em solo seco variando de muito dura a extremamente dura e em solo úmido de friável a firme (EMBRAPA, 2018).

Os solos que apresentam o caráter coeso estão distribuídos, principalmente, por uma grande extensão da costa brasileira, englobando as regiões Norte, Nordeste e Sudeste, em locais com precipitação pluviométrica regular. Sua ocorrência é, a priori, associada à Formação Barreiras, depósitos sedimentares datados do período terciário, com predomínio de materiais argilosos, argiloarenosos e arenosos; tipicamente caulínicos, pobres em ferro e em avançado estágio de intemperismo. A Formação Barreiras está relacionada à unidade geomorfológica denominada Tabuleiros Costeiros, que se estende desde o estado do Amapá até o do Rio de Janeiro (JACOMINE, 2001).

Os Tabuleiros Costeiros apresentam grande importância econômica e social, pois correspondem a uma área de alta densidade populacional e potencial de produção de alimentos (Souza et al., 2008). No referente ao Nordeste, estima-se que os solos dos Tabuleiros Costeiros ocupem uma área equivalente a 10.000.000 ha (LIMA et al., 2004), o que confere a estes, por conseguinte, importância no âmbito da exploração agropecuária, com destaque para a cultura da cana-de-açúcar, fruticultura e pecuária, atividades que ocupam expressiva parcela desses solos (FONSÊCA et al., 2007).

No tocante à gênese, estudos atribuem à sílica e outros aluminossilicatos, por exercerem papel cimentante, contribuição para o endurecimento do horizonte com caráter coeso, de acordo com o conteúdo de água do solo. A condição reversível de polimerização e precipitação desses compostos no período seco, com despolimerização no período úmido, provavelmente é um importante mecanismo de funcionamento do caráter coeso, assim como o adensamento por acúmulo de materiais mais finos e arranjo massivo entre as partículas do solo (ARAÚJO FILHO; CARVALHO; SILVA, 2001). Lima Neto et al. (2010) sugerem que a gênese do horizonte com caráter coeso se dá em duas fases: primeiramente, sua base é formada por iluviação de argila fina, causando entupimento dos poros; posteriormente, perda de ferro na parte superior, colapsando a estrutura. Em adição, cita-se o arranjo face a face das partículas de caulinita, favorecendo o aumento da densidade do solo (AJAYI et al., 2008).

A presença do horizonte com caráter coeso implica restrições à movimentação de água e ar no solo, o que resulta no surgimento de uma zona saturada com condições limitantes

à respiração radicular, afetando negativamente o desenvolvimento das plantas. Tais solos também apresentam baixa capacidade de troca de cátions e baixa saturação por bases (LIBARDI E MELO FILHO, 2001). Saliente-se ainda que tais horizontes, por apresentarem-se muito duros a extremamente duros quando secos, implicam impedimento físico ao crescimento de raízes (VIEIRA, 2012). No interior de um horizonte com caráter coeso são raras as raízes observadas, e destas a grande maioria encontra-se morta (GIAROLA, 2002).

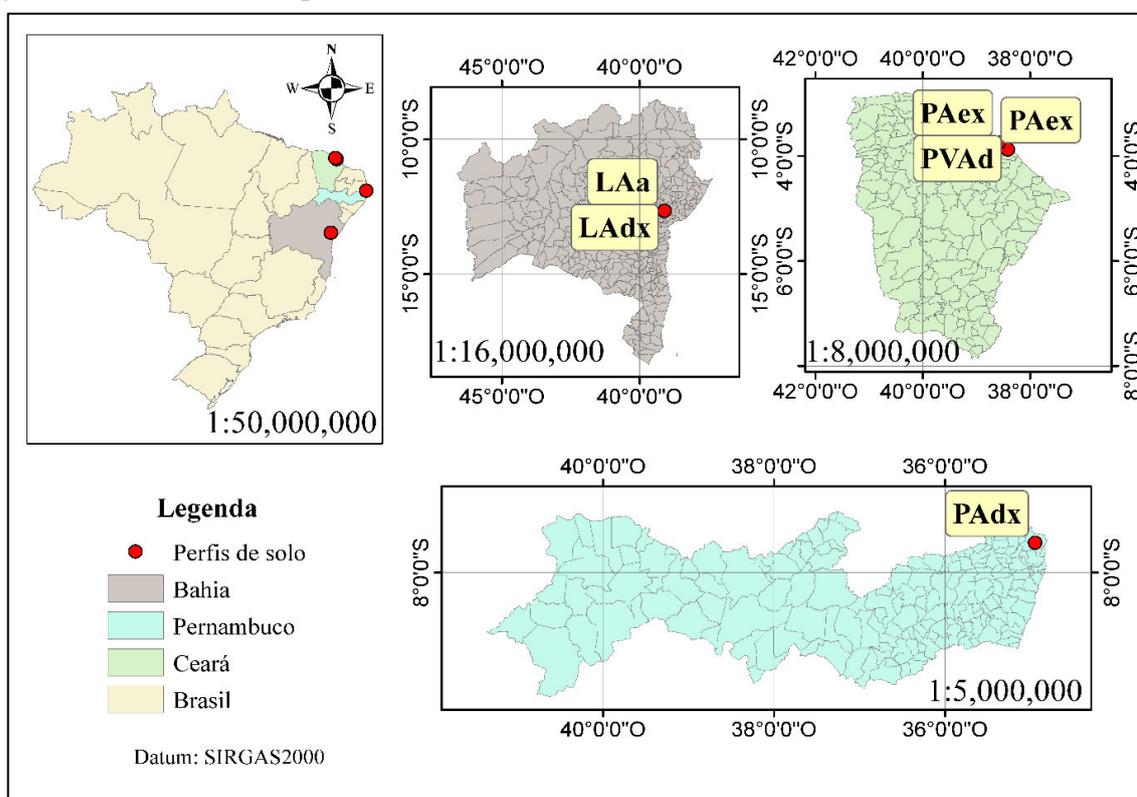
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de coleta

A coleta de agregados/torrões foi realizada em Argissolos e Latossolos localizados nos estados do Ceará, Pernambuco e Bahia (Figura 2). O critério para a escolha dos solos se deu pela ocorrência do caráter coeso em pelo menos um horizonte dos referidos solos.

Foram coletadas amostras de seis solos, a saber: em Aquiraz-CE, um Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico – PVAd (UTM 24 S 565155.1 9570780.0) e um Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto – PAex (UTM 24 S 564998.0 9570840.0); em Fortaleza-CE, um Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico – PAex (UTM 24 S 547034.0 9586291.0); em Goiana-PE, um Argissolo Amarelo Distrocoeso epirredoxico – PAdx (UTM 25 S 285384 9154451); e em Cruz das Almas-BA, um Latossolo Amarelo Alumínico argissólico – LAa (UTM 24 S 488544 8599669) e um Latossolo Amarelo Distrocoeso típico – LAdx (24 S 490401 8600977).

Figura 2 – Localização dos pontos de coleta dos solos.



Concernente à granulometria, as percentagens das frações areia, silte e argila com as respectivas classes texturais dos solos estudados estão na Tabela 1. Quanto à descrição morfológica, as informações estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 – Granulometria e classes texturais dos solos.

Local	Solo	Horizonte Bt Caráter	Granulometria (%)			Classe textural
			Areia	Silte	Argila	
Aquiraz-CE	PVAd	coesos	63	5	32	Franco argiloarenosa
		não coesos	63	4	33	Franco argiloarenosa
	PAex	coesos	73	2	25	Franco argiloarenosa
		não coesos	75	5	20	Franco argiloarenosa
Fortaleza-CE	PAex	coesos	59	7	34	Franco argiloarenosa
		não coesos	58	8	34	Franco argiloarenosa
Goiana-PE	PAdx	coesos	65	6	29	Franco argiloarenosa
		não coesos	63	7	30	Franco argiloarenosa
Cruz das Almas-BA	LAa	coesos	49	2	49	Argiloarenosa
		não coesos	61	2	37	Argiloarenosa
	LAdx	coesos	70	2	28	Franco argiloarenosa
		não coesos	60	6	34	Franco argiloarenosa

Tabela 2 – Descrição morfológica dos horizontes dos solos.

Local	Solo	Horizonte	Descritivo morfológico
Aquiraz-CE (Menezes, 2016)	PVAd	Bt1 CCC ¹	81-129 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/6, seco); maciça com tendência à formação de blocos subangulares; extremamente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
		Bt2 SCC ²	129-171 cm; vermelho-amarelo (5YR 5/8, seco); moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
	PAex	Bt1 CCC	107-153 cm; amarelo-brunado (10YR 6/8, seco); maciça; muito dura, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
		Bt2 SCC	153-184 cm; amarelo-brunado (10YR 6/6, seco); moderada média e grande blocos subangulares; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
Fortaleza-CE (Vieira, 2012)	PAex	Bt1 SCC	63-79 cm; bruno amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, seco); moderada média a grandes blocos subangulares; dura, muito friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.
		Bt2 CCC	79- 112 cm; amarelo-avermelhado (7,5 YR 6/6, seco); maciça com tendência à formação de blocos subangulares; extremamente dura, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e difusa.
Goiana-PE (Andrade, 2014)	PAdx	Bt CCC	43-70 cm; bruno amarelado-claro (10YR 6/4, seco); maciça em partes, fraca pequena e média blocos subangulares; muito duro, friável com partes firmes, plástica e pegajosa, transição plana e gradual.
		Bw SCC	135-190+ cm; amarelo (10YR 7/8, seco), mosqueado pouco, médio e proeminente, vermelho (2,5 YR 4/6, seco); fraca pequenas e média blocos subangulares com aspecto maciço poroso; duro, muito friável, plástico e pegajoso.
Cruz das Almas-BA (Melo Filho e Araújo Filho, 1984; Mota, 2016)	LAa ³	AB2 CCC	38-56 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco); fraca pequena e média blocos subangulares; duro a muito duro, friável, plástico e pegajoso, transição plana e difusa.
		BA SCC	56-85 cm; bruno amarelado (10YR 5/4, seco); fraca pequena e média em blocos subangulares; duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.
	LAdx ⁴	B1 CCC	49-71 cm; bruno oliváceo-claro (2,5Y 5/3, seco); maciça com tendência à formação de blocos subangulares; muito duro, friável, plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.
		B3 SCC	96-130+ cm; bruno amarelado-claro (2,5Y 6/3, seco); fraca, grandes blocos subangulares; ligeiramente duro a duro, muito friável, plástico e pegajoso.

¹CCC – com caráter coeso; ²SCC – sem caráter coeso; ³Descrição complementada por Mota (2016); ⁴Descrição feita por Mota (2016).

3.2 Trabalhos de campo e laboratório

Foram selecionados em cada solo os horizontes Bt com e sem caráter coeso, nos quais foram coletadas amostras de solo em forma de bloco com dimensão de 15 x 20 x 10 cm de largura, comprimento e altura, respectivamente. Os blocos, ainda em campo, foram envoltos em filmes plásticos. Logo após, em laboratório, os blocos foram postos em bandejas com água e forradas com esponja (2 cm de espessura) para que se pudesse atingir até aproximadamente a capacidade de campo por capilaridade. A partir daí os blocos foram destorroados em seus agregados/torrões naturais pela aplicação de uma força mínima, contudo suficiente para separá-los pelos seus pontos de fraqueza.

Foram utilizados agregados/torrões com diâmetro entre 19 mm e 25 mm (ALMEIDA, 2008). Em seguida, para secagem e homogeneização do teor de água, os agregados/torrões foram postos ao ar por 36 horas e, posteriormente, postos em estufa a 60 °C por 24 horas (FIGUEIREDO *et al.*, 2011).

Quando da avaliação no dinamômetro cada agregado/torrão de solo teve sua massa medida em balança analítica. Terminado este procedimento, foram realizados os ensaios de resistência tênsil utilizando um atuador eletrônico linear a uma velocidade constante de 0,03 mm s⁻¹ (TORMENA *et al.*, 2008). Cada agregado/torrão foi individualmente colocado na posição mais estável entre duas placas metálicas: uma inferior, fixa à base do equipamento, e outra superior móvel que liga à extremidade da célula de carga do atuador eletrônico linear, com capacidade de 20 kgf. Para visualizar o momento da ruptura foi utilizado um espelho por trás do agregado, como sugerido por Young e Mullins (1991). O valor da carga empregado para a ruptura tênsil foi registrado por um sistema eletrônico de aquisição de dados.

Depois de cada procedimento de ruptura, uma porção da amostra do agregado/torrão teve sua massa mensurada em balança analítica e, posteriormente, foi submetida à secagem em estufa a 105 °C por 48 horas, para cálculo do teor de água no agregado/torrão de solo.

A resistência tênsil (RT) foi estimada, segundo Dexter e Kroesbergen (1985), por

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

em que RT é a resistência tênsil de agregados/torrões (kPa), 0,576 a constante de proporcionalidade da relação entre o estresse compressivo aplicados e o estresse tênsil gerado

no interior do agregado/torrão, P a força aplicada (N), e D o diâmetro efetivo do agregado/torrão (m). O diâmetro efetivo do agregado torrão foi estimado pela equação 2 (WATTS e DEXTER, 1998),

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

uma vez que, D_m o diâmetro médio dos agregados/torrões [(19 + 25)/2, em mm], explicado pela média dos tamanhos da abertura das peneiras, M a massa do agregado/torrão individual seco a 105 °C (g), e M_o a massa média dos agregados/torrões secos a 105 °C (g).

Em seguida, foi estimada a friabilidade para cada classe de solo e em cada grau de coesão pelo método do coeficiente de variação de Watts e Dexter (1998),

$$F = \frac{\sigma Y}{Y} \pm \frac{\sigma Y}{Y\sqrt{2n}}, \quad (3)$$

em que F é friabilidade do solo; σY , o desvio padrão dos valores obtidos RT; Y é a média dos valores obtidos de RT; e n é o número de repetições. O segundo termo é o erro padrão do coeficiente de variação. A classificação dos solos estudados quanto a sua friabilidade foi baseada segundo Imhoff (2002), conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do solo quanto à friabilidade (F) pelo método do coeficiente de variação (IMHOFF, 2002).

Categoria	Valor de F
Solo não friável	< 0,05
Solo ligeiramente friável	0,05 – 0,10
Solo friável	0,10 – 0,25
Solo muito friável	0,25 – 0,40
Solo instável mecanicamente	> 0,40

3.3 Análise dos dados

Para cada solo, os dados obtidos no dinamômetro foram analisados pela estatística descritiva e experimental, utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 2 x 30 (seis classes de solo; dois graus de coesão; 30 repetições). Em todas as situações os dados foram submetidos à análise de normalidade dos dados pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, à análise de variância (teste F) e de comparação de médias (teste de Tukey), todos com significância de 5%, com auxílio do software ASSISTAT 7.7 (SILVA e AZEVEDO, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos dados de resistência tênsil encontra-se na Tabela 4. Constatou-se que, em geral, os solos com a manifestação do caráter coeso apresentam maiores valores de resistência tênsil (RT) quando comparados aos horizontes sem caráter coeso. Considerando Warrick e Nielsen (1980), para classificar os coeficientes de variação (baixo: < 12 %; médio; de 12 a < 60 %; alto: ≥ 60 %), constatou-se média variabilidade dos dados em todos os horizontes avaliados.

Aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância, verificou-se que todos os dados seguiram distribuição normal – exceto para o horizonte Bt do Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto (PAex) com caráter coeso, em Fortaleza-CE – e, portanto, considera-se que os desvios são aleatórios e que a média aritmética pode ser adotada como representante da tendência central dos valores da população.

Tabela 4 – Análise descritiva dos valores de resistência tênsil obtidos nos solos avaliados.

Parâmetros estatísticos	Solos avaliados nos estados do Ceará (CE), Pernambuco (PE) e Bahia (BA)											
	PVAd (CE)		PAex (CE)		PAex (CE)		PAdx (PE)		LAa (BA)		LAdx (BA)	
	----- Caráter no horizonte Bt ¹ -----											
	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC	C	NC
Nº dados	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Mínimo (kPa)	45,52	14,96	22,7	8,75	56,65	48,59	39,94	11,05	22,87	20,02	12,92	17,23
Máximo (kPa)	75,5	58,17	55,54	34,32	120,50	99,31	80,17	24,59	44,64	57,63	38,35	28,39
Média (kPa)	59,09	38,45	32,57	18,91	92,19	69,06	60,87	18,51	33,39	37,05	21,07	22,52
Mediana (kPa)	57,15	41,53	33,02	19,09	102,01	66,86	62,44	18,88	32,66	36,16	19,26	21,91
Desvio-Padrão	9,89	12,93	8,37	7,31	21,76	13,66	13,18	3,86	6,47	12,10	6,57	3,68
CV (%)	16,74	33,64	25,7	38,64	23,60	19,78	21,65	20,87	19,38	32,67	31,15	16,34
Assimetria	0,36	-0,59	1,43	0,53	-0,77	0,59	0,02	-0,34	0,42	0,41	1,31	0,30
Curtose	-1,23	-0,35	3,14	-0,44	-0,92	0,44	-1,17	-0,68	0,51	-0,89	2,17	-1,16
Normalidade ²	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

¹ C = Com caráter coeso; NC = Sem caráter coeso; ² Teste Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.

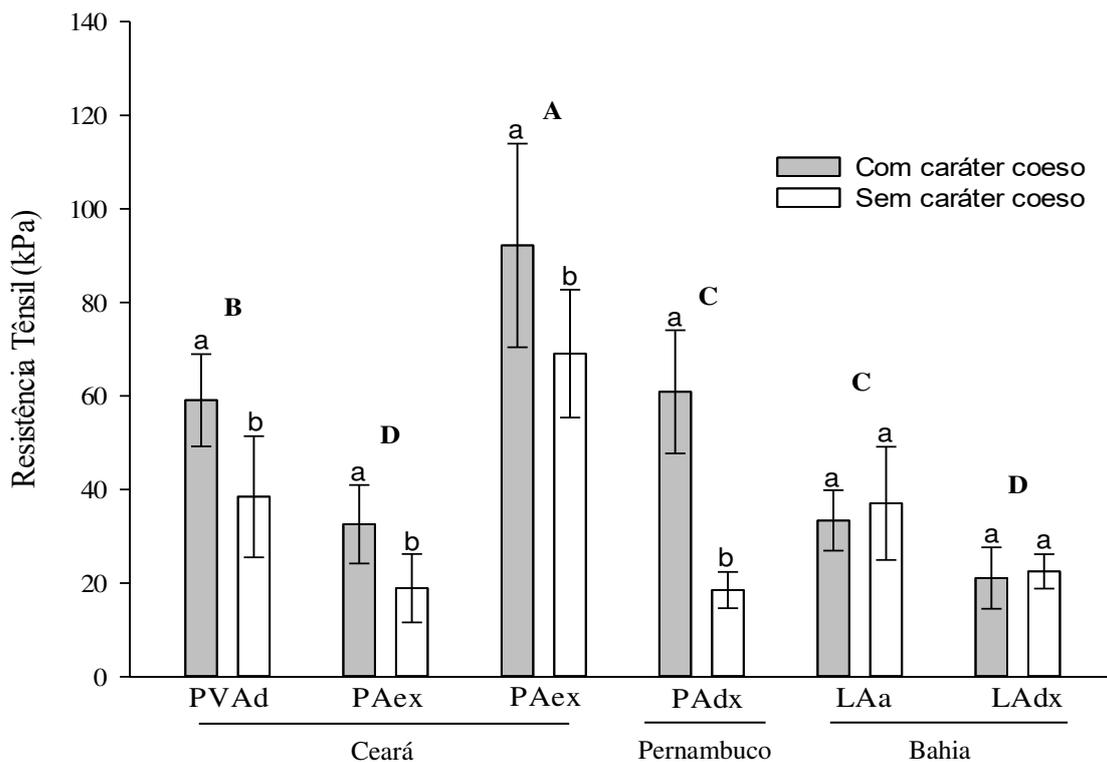
Com a análise de variância (Tabela 5) foi possível observar diferença estatística significativa pelo teste F a 5% de probabilidade entre as classes de solo, os graus de coesão, além de haver efeito significativo na interação desses dois tratamentos.

Tabela 5 – Análise de variância para os tratamentos estudados.

FV	GL	SQ	QM	F
Solos	5	67845,1	13569,0	109,8*
Graus de coesão	1	11209,8	11209,8	90,7*
Solos x Graus de coesão	5	10978,1	2195,6	17,8*
Erro	168	20754,5	123,54	
Total	179	110787		
Coeficiente de variação (%)		26,5		

Aplicado o teste de Tukey a 5% de significância para a comparação de médias (Gráfico 1), constatou-se que dos solos avaliados o que apresentou maior coesão foi o Argissolo Amarelo Eutrocoeso abrupto (PAex) localizado no Campus do Pici/UFC, em Fortaleza-CE, enquanto que o Argissolo Amarelo Eutrocoeso típico (PAex), de Aquiraz-CE, e o Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, em Cruz das Almas-BA, foram os que apresentam menores valores de coesão de seus agregados.

Gráfico 1 – Médias dos valores de resistência tênsil e comparações de médias.



Comparando as médias de RT dentro de cada classe de solo, constata-se diferença estatística significativa, sendo os horizontes Bt que manifestam o caráter coeso os que apresentam maior resistência à ruptura dos agregados, exceto para os solos da Bahia, evidenciando que, de fato, a presença desses horizontes adensados constitui restrição física ao rompimento por raízes de plantas quando secos. Quanto aos solos da Bahia, Queiroz *et al.* (2018) propuseram uma escala de RT na qual consideram um valor limiar de 50 kPa para que ocorra a manifestação do caráter coeso e, assim, ambos os solos não se enquadram na manifestação do caráter coeso.

É importante destacar que embora os solos e seus horizontes, em geral, tenham sido classificados com a mesma textura (franco argiloarenosa) – exceção apenas para o Latossolo Amarelo Alumínico argissólico, com textura argiloarenosa – a manifestação dos graus de coesão não foi a mesma, indicando que outros fatores estão envolvidos na diferenciação da coesão dos agregados.

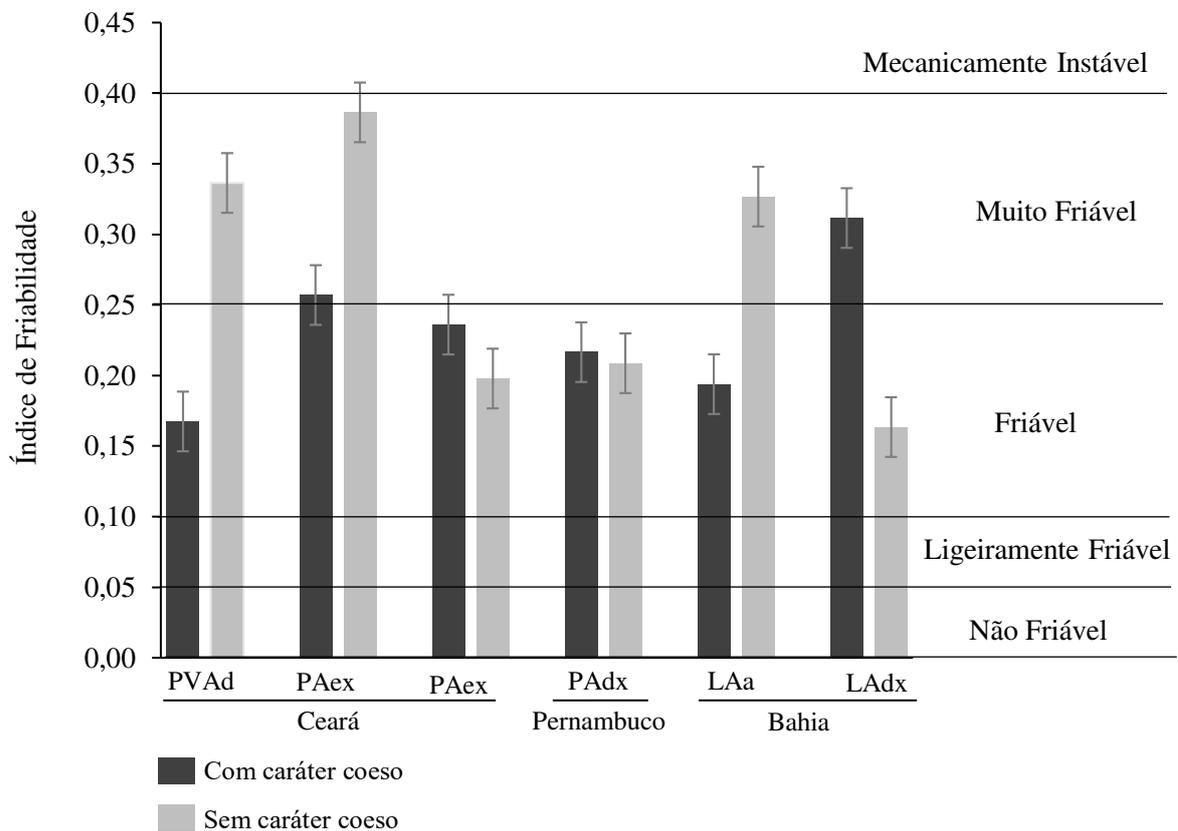
Imhoff (2002) atribuiu as diferenças na coesão entre materiais com e sem caráter coeso, em parte, ao significativo incremento na percentagem de silte + argila, onde estão concentrados os óxidos de Ferro responsáveis pela maior resistência dos agregados. Araújo *et al.* (2018), estudando a influência da granulometria na gênese da coesão de agregados, concluíram que as frações areia e argila, apesar de não serem os únicos fatores determinantes, influenciaram a gênese do caráter coeso nos solos. Em relação à fração areia, o baixo grau de seleção da areia levou a um maior empacotamento das partículas, contribuindo significativamente para a coesão dos agregados, desde que haja um agente cimentante mesmo em pequena quantidade. Os resultados obtidos por ambos os autores corroboram os observados nesta pesquisa – de que solos com mesma textura podem apresentar graus de coesão distintos. Ressalte-se ainda, que na mensuração da RT alguns fatores concorrem para discrepâncias nos resultados, como o carbono orgânico (FERREIRA *et al.*, 2011).

Considerando a dispersão dos dados de RT, medida pelo desvio-padrão, foi possível estimar o índice de friabilidade dos solos avaliados, e em seguida, classificá-los em função desse parâmetro (Gráfico 2). Todos os solos e os seus horizontes com e sem caráter coeso foram classificados desde friáveis a muito friáveis, coerente com inclusive com o descrito morfológico da consistência em solo úmido feito pelos pedólogos em campo (Tabela 2), indicando que do ponto de vista agrícola, mesmo aqueles que manifestam o caráter coeso não apresentam restrição à mecanização quando do preparo para o cultivo, desde que estejam úmidos.

É importante destacar que solos não friáveis a ligeiramente friáveis apresentam sérias restrições ao preparo, visto que, mesmo úmidos, seus agregados oferecem resistência ao

rompimento em planos naturais de clivagem – seja por não possuírem ou apresentarem poucos planos de ruptura. Conseqüentemente, os danos à estrutura do solo são asseverados quando tais solos são submetidos ao preparo, uma vez que a tendência é de pulverização do material, individualizando as partículas que compõem o solo, com as de menor tamanho, particularmente as argilas, vulneráveis ao arraste pelo vento ou por solução aquosa. Os solos mecanicamente instáveis são muito frágeis e tendem à estrutura em grãos simples, o que do ponto de vista de conservação do solo é ruim, pois são mais propícios à erosão e degradação. De modo geral, os solos com o caráter coeso tenderam a diminuir o valor de friabilidade, porém longe de serem classificados como não friáveis.

Gráfico 2 – Classificação da friabilidade dos solos.



Valores mais elevados de friabilidade indicam que agregados de maior tamanho possuem menor RT e, deste modo, no momento do preparo as forças de movimentação do maquinário agrícola destorroam mais facilmente os agregados maiores, deixando-os estáveis em agregados menores, gerando assim uma adequada distribuição de agregados por tamanho com poucas passagens das máquinas e dos implementos de cultivo (WATTS E DEXTER, 1997).

5 CONCLUSÕES

Em geral, os solos descritos com caráter coeso apresentam maiores valores de resistência tênsil.

Apesar dos maiores valores de resistência tênsil, os solos com caráter coeso foram classificados desde friáveis a muito friáveis, não apresentando impedimentos mecânicos ao preparo para o cultivo quando respeitada a umidade adequada.

REFERÊNCIAS

- AJAYI, A.E.; DIAS JUNIOR, M.S.; CURTI, N.; GONTIJO, I.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; INDA JUNIOR, A.V. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian Latosols. **Soil Tillage Research**. v. 102, p. 14-18, 2009.
- ANDRADE, K.R. Atributos físico-hídricos de solos coesos da zona da mata de Pernambuco sob ação de condicionadores químicos. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014.
- ARAUJO FILHO, J.C.; CARVALHO, A.; SILVA, F.B.R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS**, 2001, Aracaju, EMBRAPA. p. 123-142, 2001.
- 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. Tensile strength in horizons with and without cohesive character: variability and relation with granulometry. *Catena*, v. 166, p. 290-297, 2018.
- ALMEIDA, B.G. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. Piracicaba: ESALQ, 2008. 103p.
- BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; FABIOLA, N.; TORMENA, C.A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: Efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 227- 234, 2010.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 716 p
- DEXTER, A.R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v. 31, p. 139-147, 1985.
- DEXTER, A.R.; WATTS, C.W. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed.). **Soil and environmental analysis: Physical Methods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2000. p. 401-430.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2018. 353p.
- 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 resistência tênsil de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 389-409, 2011.
- FONSÊCA, M.H.P.; GUERRA, H.O.C.; LACERDA, R.D.; BARRETO, A.N. Uso de propriedades físico-hídricas do solo na identificação de camadas adensadas nos Tabuleiros Costeiros, Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 11, n. 4, p.

368-373, 2007.

GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e *hardsetting*. **Scientia Agrícola**, v. 59, n. 3, p. 613-620, 2002.

GUÉRIF, J. Effects of compaction on soil strength parameters. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERK, C. (Ed.) **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 191-214.

HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, n. 1, p. 161-166, 1990.

IMHOFF, S.C.; **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de Latossolos e Argissolos Vermelhos. 2002. 104p.** 2002. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001**, Anais. Aracaju, EMBRAPA. p. 19-46, 2001

LIBARDI, P.L.; MELO FILHO, J.F. Influência dos horizontes coesos na dinâmica da água no solo. In: **WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001**, Aracaju, EMBRAPA. p. 193-207, 2001.

LIMA, H.V.; SILVA, A.P.; JACOMINE, P.K.T.; ROMERO, R.E.; LIBARDI, P.L. Identificação e caracterização de solos coesos no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 467-476, 2004.

LIMA NETO, J.A.; RIBEIRO, M.R.; CORRÊA, M.M.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; ARAÚJO FILHO, J.S.; LIMA, J.F.W. Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos de horizontes coesos de Latossolos e Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 473-486, 2010.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystem and human well-being: Synthesis. Washington: Island Press, 2005. 137p

MENEZES, A.S.; Morfologia e funcionalidade da rede porosa de horizontes com e sem caráter coeso em solos de Tabuleiro Costeiro / Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Fortaleza, 2016.

MOTA, J.C.A. Descrição morfológica de um Latossolo Amarelo Alumínico argissólico. Fortaleza: UFC, 2016 (informação pessoal).

QUEIROZ, A.S.; SILVA, C.P.; ALENCAR, T.L.; ROMERO, R.E.; MOTA, J.C.A. Resistência tênsil: variabilidade no horizonte e valor limiar para o caráter coeso em Argissolos do Ceará. XXXVII Encontro de Iniciação Científica. Anais dos Encontros Universitários da UFC, 2018.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39,

p.3733-3740, 2016.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M.E. (Ed.) **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V.; RIBEIRO, L.S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topossequência de solos de Tabuleiro Costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 503-513, 2008.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A.P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 943-952, 2008.

VIEIRA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JUNIOR, R.N. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 4, p. 623-632, 2012.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL D. ed. 1. Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. Cap 13, p. 319-344.

WATTS, C.W.; DEXTER, A.R. The influence of organic matter in reducing the destabilization of soil by simulated tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 42, n. 4, p. 253-275, 1997.

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.

YOUNG, I.M.; MULLINS, C.E. Factors affecting the strength of undisturbed cores from soils with low structural stability. **Journal of Soil Science**, v. 42, n. 2, p. 205-217, 1991.