

Análise granulométrica em solos de diferentes classes por agitação horizontal¹

Granulometric analysis of different soils by horizontal shaking

Wanderlucia Silva Rodrigues², Nilda Braga de Lacerda³ e Teogenes Senna de Oliveira^{4*}

Resumo - Para testar a hipótese de que a análise granulométrica utilizando a agitação horizontal proporciona resultados semelhantes à agitação rápida, objetivou-se comparar os métodos de agitação rápida e horizontal em três tempos (6; 12 e 18h), assim como a eficiência de NaOH e $(\text{NaPO}_3)_6$ como dispersantes químicos na análise granulométrica, utilizando solos de diferentes classes e profundidades dos estados do Ceará e Rio Grande do Sul. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas considerando-se o desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos em contrastes e a significância avaliada pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade. Concluiu-se que o NaOH foi o mais eficiente na dispersão química dos solos analisados, independente do método de agitação. A agitação horizontal pode ser utilizada em qualquer dos tempos testado por proporcionar resultados semelhantes a metodologia padrão recomendada. A coleta adicional da suspensão (silte + argila) aumenta a precisão dos resultados destas frações na análise textural do solo.

Palavras-chave - Textura do solo. Dispersão química. Dispersão física.

Abstract - To test the hypothesis that the particle-size analysis using slow horizontal agitation provides similar results to fast agitation, both methods, fast and slow agitation, were made at three times (6; 12 and 18 h), as well as the use of sodium hydroxide (NaOH) and sodium hexametaphosphate $(\text{NaPO}_3)_6$. Soil samples from different classes and depth from Ceará and Rio Grande do Sul were used in this study. The statistical analysis was done by non-orthogonal contrasts from the degrees of freedom of the treatments deriving contrasts of interest. The significance was tested by the F test at 5 and 1% of probability. The results permit to conclude that NaOH was more efficient in the chemical dispersion of soils. The slow agitation can be used to all the tested times. The additional collection of suspension showed better results for the textural analysis, dividing the experimental error within the four granulometric fractions.

Key words - Soil texture. Chemical dispersion. Mechanical dispersion.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 23/09/2008; aprovado em 04/09/2009

Parte da monografia de graduação apresentada pelo primeiro autor ao Curso de Agronomia da UFC

²Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC, Campus do PICI, Bloco 807, Fortaleza-CE, Brasil, 60455-970

³Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC, Campus do PICI, Bloco 807, Fortaleza-CE, Brasil, 60455-970, lacerdanb@yahoo.com.br

⁴Departamento de Ciências do Solo, CCA/UFC, Campus do PICI, Bloco 807, Fortaleza-CE, Brasil, 60455-970, teo@ufc.br

Introdução

A textura é uma das principais características dos solos, dada a sua estreita relação com a fixação de íons e moléculas, retenção de água, manifestação de forças físicas de adesão e coesão e troca catiônica (AZEVEDO; BONOUMÁ, 2004; RESENDE et al., 2007). O seu estudo, nos últimos anos, tem sido voltado para o entendimento da sua variabilidade natural (CAMPOS et al., 2007; MENDES et al., 2008; RÜTH; LENNARTZ, 2008). Resultados confiáveis são obtidos na análise textural quando há uma completa dispersão da amostra de solo e a manutenção da estabilidade da fase dispersa, necessitando-se para tal, a neutralização de qualquer agente que interfira na dispersão, principalmente aqueles componentes ligados a fração argila. As partículas do solo estão agregadas por substâncias cimentantes tais como matéria orgânica, óxidos de ferro e alumínio e íons flocculantes como Ca, Mg e H (MEURER, 2006; VITORINO et al., 2003). Donagemma et al. (2003) constataram que a presença dos óxidos de Fe e Al, típicos de Latossolos, na fração silte indicam a existência de agregados que resistiram à dispersão. A interação da argila com a matéria orgânica, formando complexos organo-minerais, também pode ser fator de resistência dos solos à dispersão.

Na análise textural, bons resultados são obtidos quando o método de dispersão emprega energia suficiente para romper as forças que mantêm as partículas unidas (COSER et al., 2007). Dentre os métodos físicos existentes destacam-se a agitação rápida em coqueteleira (12.000 rpm), a horizontal (60-180 rpm), o ultra som e a atenuação de raios gama (VITORINO et al., 2003), enquanto que nos processos químicos utilizam-se o NaOH e o $(\text{NaPO}_3)_6$ além do LiOH. Embrapa (1997) recomenda a agitação rápida e o uso do NaOH ou $(\text{NaPO}_3)_6$. Contudo, este método apresenta baixa eficiência de dispersão e produtividade quando comparado à agitação horizontal (CASTRO et al., 2007), ao ultra som ou à atenuação de raios gama, sendo, porém amplamente adotado nos laboratórios no Brasil. Variações deste método já foram testadas, como por exemplo a tentativa de aumento da dispersão com o uso de abrasivos como areia grossa (OLIVEIRA et al., 2002) em conjunto ou não com a agitação horizontal (RUIZ, 2005b; SÁ; MALTONI, 2005), tendo sido constatado melhores resultados quando comparados ao procedimento padrão de uso da agitação rápida e os dispersantes químicos normalmente utilizados (NaOH e $(\text{NaPO}_3)_6$). Ruiz (2005b) propõe a realização da coleta de uma suspensão extra, correspondente à fração silte + argila, no sentido de aumentar a exatidão da determinação das frações argila e silte, permitindo assim a quantificação da fração silte ao invés de ser calculada por diferença.

Nesse estudo, objetivou-se comparar os teores de areia, silte e argila, obtidos por dois métodos de dispersão física (método de agitação rápida e horizontal) e química $\{(\text{NaOH } 1\text{N e } (\text{NaPO}_3)_6 \text{ 1 N})\}$, utilizando solos do estado do Ceará, partindo da hipótese de que para estes solos o método alternativo (agitação horizontal) proporciona resultados semelhantes à agitação rápida, considerado padrão.

Material e métodos

Para este estudo foram utilizadas amostras de horizontes de nove classes de solos oriundos do estado do Ceará e um do estado do Rio Grande do Sul. A localização e a caracterização dos mesmos são apresentadas na Tabela 1. A dispersão física foi feita pela agitação rápida (EMBRAPA, 1997) e pela lenta e horizontal, em três tempos: 6; 12 e 18 horas, enquanto a dispersão química foi realizada com o uso de NaOH 1N e $(\text{NaPO}_3)_6$ 1N, definindo-se os seguintes tratamentos agitação rápida com NaOH (T1) e $(\text{NaPO}_3)_6$ (T2), agitação horizontal por 6 h com NaOH (T3) e com $(\text{NaPO}_3)_6$ (T4), agitação horizontal por 12 h com NaOH (T5) e com $(\text{NaPO}_3)_6$ (T6) e agitação horizontal por 18 h com NaOH (T7) e com $(\text{NaPO}_3)_6$ (T8).

Na agitação rápida (EMBRAPA, 1997) utilizou-se 20 g de TFSA, nos quais foram adicionados 10 mL de NaOH 1N ou $(\text{NaPO}_3)_6$ 1N e 100 mL de água destilada. Após 12 horas de repouso, as amostras foram submetidas à dispersão física por 10 minutos em agitador do tipo coqueteleira a rotação entre 10.000 e 12.000 rpm. Posteriormente, transferiu-se o material agitado para uma proveta de 1000 mL utilizando-se água destilada e peneira de malha 0,053 mm. O material retido, correspondente a fração areia, foi transferido para um recipiente metálico de peso conhecido e levado à estufa para secar a uma temperatura de 105 °C por 24 horas. A fração areia foi dividida em grossa (AG) e fina (AF) com o uso de peneira de malha 0,210 mm, obtendo-se a fração AF por pesagem e areia grossa (AG) pela diferença. Posteriormente, nova determinação da fração areia foi realizada para a separação nas classes muito grossa (2-1 mm), grossa (1-0,5 mm), média (0,5-0,25 mm), fina (0,25-0,105 mm) e muito fina (0,105-0,053 mm). Para determinação da fração argila (ARG) foram feitos dois procedimentos, após agitação manual por 2 minutos da suspensão retida na proveta. No primeiro, imediatamente após agitação da proveta, foi feita também uma coleta de 25 mL do volume da suspensão de acordo com Ruiz (2005b), equivalente a suspensão silte + argila. Posteriormente ao tempo de repouso, necessário para sedimentação das partículas de silte, determinado pela Lei de Stokes, retirou-se uma amostra de 25 mL dos 5 cm superficiais da suspensão

Tabela 1 - Classificação, profundidade e localização das diferentes classes de solo amostradas

Classe de solo	Horizonte/ Profun. (cm)	Localização	Cor	Estrutura	pH em água	CO (%)	P disponível ppm	SB cmol _c dm ⁻³	CTC total cmol _c dm ⁻³
LUVISSOLO CRÔMICO Pálico abruptico (TCp)	Bt1/22-44	Microregião de Baixas. Município de Tauá-CE. 6°20'70''S e 40°29'59,5''W	Vermelho escuro (2,5 YR 4/6, úmido), vermelho (2,5 YR 4/8, seco)	franca com grãos simples, pequena e muito pequena e subangular	7	3,82	-	7,89	7,89
LUVISSOLO CRÔMICO Órtico típico (TCo)	2 Bt/20-46	Fazenda Crioula de Centro de Pesquisa de Caprinos da Embrapa. Município de Sobral- CE. 3°46'16,2''S e 40° 19'35,4''W	Vermelho (2,5 YR 4/6, úmido e seco)	Forte, grande, blocos angulares	6,6	0,05	0	42,7	43,7
NEOSSOLO FLÚVICO Ta eutrófico típico (RYe)	3C2/29-46	Margem de riacho, proximo (70 m) de um cacibão na microregião Juá. Município de Tauá- CE. 6°20'25,1''S e 40°21'43,1''W	Bruno escuro (10 YR 4/3, úmido), bruno (10 YR 5/3, seco)	Moderada, média a grande, angular e subangular	6,5	2,94	-	4,2	4,2
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo) (1) Xavier et al. (2006)	15-30	Região da Chapada da Ibiapaba. Município de Ubajara-CE. 3°51'12''S e 41°5'10''W			4,99	4,9	2	1,5	9,95
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico (RQo) (2)	20-30	Região da Chapada da Ibiapaba. Município de Guaraciaba do Norte. 4°10'1''S e 40°44'51''W			4,54		0,8	0,12	5,02
NEOSSOLO REGOLÍTICO húmico (RRh) Xavier et al. (2007)	A2/11-36	Margem direita da rodovia no sentido Forquilha-Pico Alto. Município de Guaramiranga-CE. 40°12'21,7'' S e 38°58'16,2''W	Bruno- acinzentado- escuro (10YR 4/2, úmido), cinzento muito escuro (10YR 3/1, seco)	Moderada, média a grande, granular	4,1	1,56	2	3,05	16,3
ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico (PAD) Xavier et al. (2007)	E/11-33	Margem esquerda da estrada no sentido Pacoti- Guaramiranga no município de Pacoti- CE 40°14'4,2''S e 38°56'07''W	Bruno (10YR 5/3, úmido e seco)	Moderada, média e grande, granular	4,1	1,56	5	3,05	9,8
CAMBISSOLO HÁPLICO Aluminico típico (CXa) Xavier et al. (2006)	8-28	Margem esquerda da rodovia no sentido Guaramiranga- Baturité. Município de Baturité-CE. 4°17'40,3''S e 38°54'35,4''W	Bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido), bruno- escuro (7,5YR 3/4, seco)	Moderada, pequena a média, subangulares	4,3	1,13	1	9,07	9,8
PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico arênico (FTd)	H2/15-26	Fazenda Guarany (Jandaia), Pacajus- CE		Pequena e média forte blocos subangulares	6,3	3,72	8	2,3	3,3
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) Giarola et al (2002)	Bw1	Tupanciretã- RS	-	-	-	0,69	-	-	-

CO: carbono orgânico; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica

para determinação do teor de argila. A fração silte foi determinada tanto pela diferença entre os teores das frações areia (AG+AF) e argila, como pela diferença os teores de argila e argila + silte determinados pelo método da pipeta.

Todos os procedimentos analíticos adotados no método de agitação rápida foram também realizados na agitação horizontal (RUIZ, 2005a), excetuando-se o uso de agitador horizontal do tipo pendular durante os tempos de 6 12 e 18 horas, a 120 rpm e o frasco cilíndrico de vidro com diâmetro de 45 mm, altura de 90 mm e capacidade para, aproximadamente, 150 mL para a agitação das amostras.

Os resultados obtidos para os teores de AG, AF, S e ARG foram submetidos à análise estatística com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos em contrastes na análise de variância. A significância dos contrastes foi avaliada pelo teste F a 5 e 1% de probabilidade ($P < 0,05$ e $P < 0,01$), considerando-se o delineamento casualizado e quatro repetições. Assim, o contraste 1 (C1) objetivou avaliar o efeito dos dispersantes químicos utilizados na agitação rápida; os contrastes 2 e 3 (C2 e C3) a comparação entre os dois métodos de agitação com

dispersante químico NaOH e $(\text{NaPO}_3)_6$, respectivamente; o contraste 4 (C4) o efeito dos dispersantes químicos na agitação horizontal; e os contrastes 5; 6 e 7 (C5, C6 e C7) a agitação rápida com cada um dos tempos da agitação horizontal (6, 12 e 18h), independente do dispersante químico. Para esta análise utilizou-se a planilha eletrônica do Excel adaptada para a análise em questão.

Resultados e discussão

Observou-se que praticamente não ocorreram diferenças significativas para os teores de AG e AF em todas as classes de solos estudadas quando compararam-se os dispersantes químicos nas agitações rápida (C1) e horizontal (C4). As exceções ocorreram para a AG no caso do PAd no C1 e o FTd no C4, sendo os maiores teores encontrados com uso do $(\text{NaPO}_3)_6$ (Figuras 1A e 1C). Para AF, os maiores teores foram encontrados no CXa e o LVd em C1 quando utilizaram-se o NaOH e $(\text{NaPO}_3)_6$, respectivamente. O contraste 4 (C4) apresentou os maiores teores de AF sendo associados ao uso do $(\text{NaPO}_3)_6$ para o RRd (Figuras 1B e 1D) (Tabela 2).

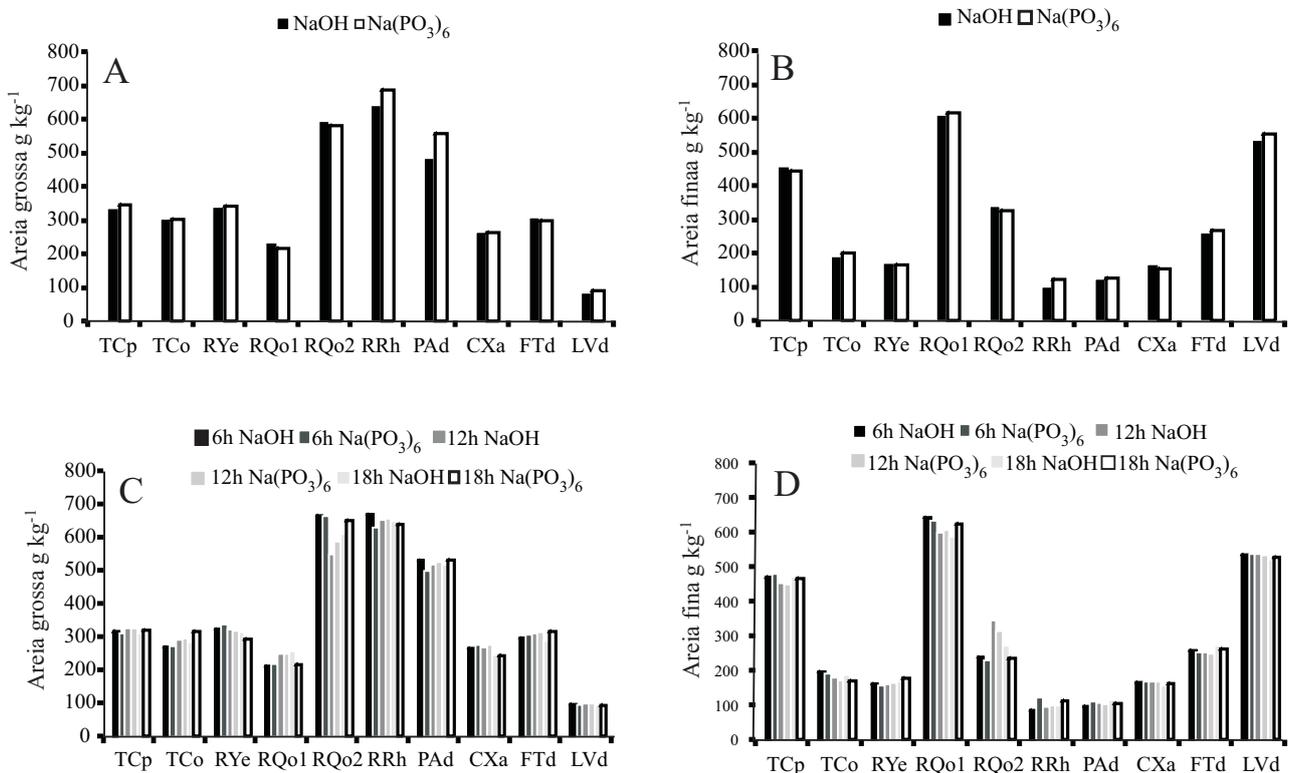


Figura 1 - Teores médios de areia grossa e fina obtidos pelos métodos de agitação rápida (A, B) e horizontal por 6; 12 e 18 horas (C, D) utilizando NaOH 1N e $(\text{NaPO}_3)_6$ 1N em amostras solos dos estados do Ceará e do Rio Grande do Sul

Tabela 2 - Significância dos contrastes não ortogonais dos teores de areia grossa e fina, silte e argila, obtidos pelo método de agitação rápida e horizontal por 6; 12 e 18 horas em amostras de solos dos estados do Ceará e Rio Grande do Sul

Classes de solo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	Areia Grossa g kg ⁻¹						
TCp	-5,2 ^{ns}	17,4 ^{ns}	32,3*	-0,6 ^{ns}	19,2**	8,8 ^{ns}	21,6**
TCo	2,8 ^{ns}	24,5 ^{ns}	1,9 ^{ns}	-14,1 ^{ns}	22,6*	3,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}
RYe	-0,8 ^{ns}	17,9 ^{ns}	26,2*	6,1 ^{ns}	3,7 ^{ns}	13,0 ^{ns}	27,5**
RQo1	5,2 ^{ns}	-5,9 ^{ns}	-11,5 ^{ns}	9,9 ^{ns}	6,3 ^{ns}	-16,9**	-6,9 ^{ns}
RQo2	5,9 ^{ns}	-16,6 ^{ns}	-69,8*	-35,5 ^{ns}	-67,0**	14,5**	-34,5*
RRh	-16,1 ^{ns}	-15,3 ^{ns}	49,2*	16,3 ^{ns}	13,1 ^{ns}	6,8 ^{ns}	13,9 ^{ns}
PAd	1,0 ^{ns}	6,0 ^{ns}	2,2*	-1,0 ^{ns}	2,4 ^{ns}	-16,8 ^{ns}	22,6**
CXa	-25,6**	-38,5*	44,5**	6,3 ^{ns}	5,2 ^{ns}	-2,4 ^{ns}	3,2 ^{ns}
FTd	2,3 ^{ns}	5,6 ^{ns}	-18,7**	-17,4**	-2,5 ^{ns}	-10,6**	0,1 ^{ns}
LVd	-11,2 ^{ns}	-11,3**	-3,5 ^{ns}	4,1 ^{ns}	-4,3 ^{ns}	-6,1*	-4,4 ^{ns}
	Areia Fina g kg ⁻¹						
TCp	5,8 ^{ns}	-14,2 ^{ns}	-30,1*	1,3 ^{ns}	-24,2**	-5,5 ^{ns}	-14,5*
TCo	-2,8 ^{ns}	1,5 ^{ns}	22,8*	12,7 ^{ns}	-1,7 ^{ns}	14,4*	11,6 ^{ns}
RYe	2,2 ^{ns}	4,6 ^{ns}	-3,9 ^{ns}	-1,9 ^{ns}	5,0 ^{ns}	2,4 ^{ns}	-6,7*
RQo1	-6,7 ^{ns}	-1,6 ^{ns}	19,3 ^{ns}	0,6 ^{ns}	22,5**	14,1*	26,0*
RQo2	6,1 ^{ns}	69,7*	79,4**	28,0 ^{ns}	79,4**	4,4 ^{ns}	65,3**
RRh	-8,5 ^{ns}	7,4 ^{ns}	11,6 ^{ns}	-21,2*	5,5 ^{ns}	10,9 ^{ns}	2,6 ^{ns}
PAd	4,9**	13,9**	-3,5 ^{ns}	-2,5 ^{ns}	0,00 ^{ns}	6,5**	3,9 ^{ns}
CXa	3,0 ^{ns}	25,3**	25,0**	0,5 ^{ns}	17,7 ^{ns}	17,4**	15,2 ^{ns}
FTd	-4,0 ^{ns}	-7,0 ^{ns}	13,0*	7,0 ^{ns}	3,0 ^{ns}	7,0*	-4,0 ^{ns}
LVd	-4,1*	17,9**	26,6**	-3,5 ^{ns}	12,4**	17,0**	15,0**
	Silte g kg ⁻¹						
TCp	-0,41*	-5,5 ^{ns}	9,2*	2,2 ^{ns}	3,6 ^{ns}	-2,2 ^{ns}	2,4 ^{ns}
TCo	-14,5**	8,4 ^{ns}	40,4**	-11,5*	11,0*	20,7**	17,1**
RYe	14,4**	137,5**	86,7**	-8,5 ^{ns}	61,1**	83,6**	79,6**
RQo1	-1,4 ^{ns}	4,1 ^{ns}	4,1 ^{ns}	-4,2*	2,8*	2,7 ^{ns}	2,7 ^{ns}
RQo2	2,3**	1,8 ^{ns}	-4,0**	1,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}	-0,3 ^{ns}	-2,1*
RRh	-17,2**	0,6 ^{ns}	20,8**	-31,2**	1,3 ^{ns}	14,1**	5,9 ^{ns}
PAd	19,6**	50,2**	-18,1 ^{ns}	-9,5 ^{ns}	13,7*	4,5 ^{ns}	13,8*
CXa	-24,6**	5,4 ^{ns}	63,5**	-15,8**	16,3**	27,7**	24,9**
FTd	3,0 ^{ns}	57,0**	44,0**	-3,0 ^{ns}	33,0**	36,0**	31,0**
LVd	-9,4**	3,2 ^{ns}	19,6**	-11,8**	26,9**	-5,5 ^{ns}	1,4 ^{ns}

Tabela 2 - Continuação

	Argila g kg ⁻¹						
TCp	2,8**	-9,9**	-17,6**	0,8 ^{ns}	-7,7**	-10,1**	-9,7**
TCo	14,5**	-34,4**	-65,1**	12,8**	-32,0**	-38,3**	-29,2**
RYe	-15,6**	-160,0**	-109,1**	4,3 ^{ns}	-69,8**	-99,0**	-100,3**
RQo1	2,9*	4,6 ^{ns}	3,3 ^{ns}	7,5**	13,3**	0,1 ^{ns}	-5,5*
RQo2	-14,3**	-54,9**	-5,6**	6,3**	-12,7**	-18,7**	-29,1**
RRh	41,7**	7,4 ^{ns}	-81,6**	36,2**	-2,0**	-31,9**	-22,4**
PAd	-25,5**	-70,1**	19,5*	13,0 ^{ns}	-16,1**	5,8 ^{ns}	-40,3**
CXa	49,9**	7,7 ^{ns}	-133,1**	9,1 ^{ns}	-39,2**	-42,8**	-43,3**
FTd	-1,0 ^{ns}	-56,0**	-38,0**	14,0**	-34,0**	-33,0**	-28,0**
LVD	41,7**	7,4 ^{ns}	-81,6**	36,2**	-20,0**	-31,9**	-22,4**

ns, *, **, não significativo, significativo à 5 e 1% respectivamente, pelo teste f. C1: agitação rápida com NaOH vs agitação rápida com (NaPO₃)₆; C2: agitação rápida com NaOH vs agitação lenta por 6 horas com NaOH + agitação lenta por 12 horas com NaOH + agitação lenta por 18 horas com NaOH; C3: agitação rápida com (NaPO₃)₆ vs agitação lenta por 6 horas com (NaPO₃)₆ + agitação lenta por 12 horas com (NaPO₃)₆ + agitação lenta por 18 horas com (NaPO₃)₆; C4: agitação lenta por 6 horas com NaOH + agitação lenta por 12 horas com NaOH + agitação lenta por 18 horas com NaOH vs agitação lenta por 6 horas + agitação lenta por 12 horas + agitação lenta por 18 horas com (NaPO₃)₆; C5: agitação rápida com NaOH + agitação rápida com (NaPO₃)₆ vs agitação lenta por 6 horas com NaOH + agitação lenta por 6 horas com (NaPO₃)₆; C6: agitação rápida com NaOH + agitação rápida com (NaPO₃)₆ vs agitação lenta por 18 horas com NaOH + agitação lenta por 18 horas com (NaPO₃)₆; C7: agitação rápida com NaOH + agitação rápida com (NaPO₃)₆ vs agitação lenta por 6 horas com NaOH + agitação lenta por 6 horas com (NaPO₃)₆.

Dentre os solos que apresentaram diferenças significativas, o NaOH promoveu os maiores valores de AF somente no CXa para C1. Provavelmente, este resultado esteja associado às características diagnósticas deste solo, de caráter aluminico, ou seja, teor de alumínio extraível ≥ 4 cmol_c kg⁻¹. Esta característica pode influenciar numa relativa maior agregação, podendo, desta forma, superestimar os valores de AF devido a menor eficiência do NaOH na dispersão. Além disso, solos com altos teores de silte, quando dispersos com NaOH, não conseguem manter as partículas do solo separadas durante a análise, ocorrendo desta forma uma reagregação (FONSECA; NISHIYAMA, 2003). Foi verificado que entre os dispersantes químicos (C3), praticamente, não ocorreram diferenças significativas para AG e AF quando se utilizou NaOH (Tabela 2), exceto para o PAd e o LVD, enquanto os maiores teores de AG e AF foram obtidos nas agitações horizontal e rápida, respectivamente (Figura 2A). Para AF ocorreram diferenças significativas também para CXa e RQo2,

sendo os maiores valores para a agitação rápida (Figura 2B). No contraste 3 (C3) registram-se diferenças significativas em praticamente todos os solos, principalmente para a AG (Tabela 2), exceto para o RQo1, TCo e LVD. Nos casos que apresentaram diferenças significativas, os maiores teores de AG foram encontrados no RQo2 e FTd, na agitação horizontal, e na rápida para os demais solos estudados (Figura 2C). Já para AF ocorreram diferenças significativas RQo1, RQo2, FTd, LVD e TCo com maiores valores na agitação rápida, exceto para TCp (Figura 2D).

Comparando a agitação rápida com a agitação horizontal nos tempos de 6, 12 e 18 horas (C5, C6 e C7), percebe-se que, mais uma vez, poucas diferenças significativas para a AG ocorreram (Tabela 2), indicando que a agitação horizontal, mesmo com 6 horas, foi eficiente no sentido de separar as partículas de areia do solo (Figuras 3A, 3C e 3E). Para AF ocorreram diferenças significativas em quase todos os solos (Tabela 2), sendo, de forma geral, os maiores valores encontrados na agitação rápida (Figuras 3B, 3D e 3F).

Segundo Ferreira et al. (2002), na agitação rápida a suspensão do solo é violentamente agitada, havendo a concentração da energia de dispersão junto à hélice, tornando esse o método menos eficiente podendo ocasionar, inclusive, a quebra das partículas de areia grossa, aumentando, assim, as partículas de areia fina. Este aspecto foi ainda avaliado pela separação da fração areia em diferentes classes. Observou-se que os teores obtidos para as diferentes classes de solo e fração apresentaram um baixo desvio padrão em relação à média dos três tempos de agitação lenta estudados. As maiores variações nestas frações estão associadas a solos de gênese específica como os Cambissolos e Neossolos Flúvicos, para os quais se espera, naturalmente, maior variabilidade natural. Resultados semelhantes foram encontrados por Sá e Maltoni (2005), comparando três tempos de agitação horizontal em amostras de solo. Coser et al. (2007), analisando a textura do horizonte A de seis solos do estado do Espírito Santo, observaram que a agitação rápida proporcionou maiores valores de areia grossa e silte e menores valores de argila.

Analisando os valores de S e ARG e comparando os dispersantes químicos utilizados na agitação rápida (C1), verificou-se a ocorrência de diferenças significativas na maioria dos solos estudados (Tabela 2). O NaOH mostrou-se mais eficiente ao apresentar menores valores do S e incrementos na fração ARG, exceto para o RYe, o CXa e o RQo2 (Figura 4A e 4B). Quando se avalia a agitação horizontal (C4), o $(\text{NaPO}_3)_6$ foi mais eficiente em todos os solos que apresentaram diferenças significativas (Tabela 2, Figuras 4C e 4D).

Os resultados obtidos, provavelmente, devem-se ao fato do $(\text{NaPO}_3)_6$ apresentar maior eficiência em solos com maiores teores de S (FONSECA; NISHIYAMA, 2003), como é o caso do CXa e a solos normalmente ricos em óxidos de ferro e alumínio e que formam microagregados de grande estabilidade (FERREIRA et al., 2002). Fonseca e Nishiyama (2003), comparando NaOH e $(\text{NaPO}_3)_6$, observaram que em profundidades maiores que 18,5 m houve uma maior dificuldade de desagregação quando dispersos com NaOH, sendo o $(\text{NaPO}_3)_6$ mais eficiente.

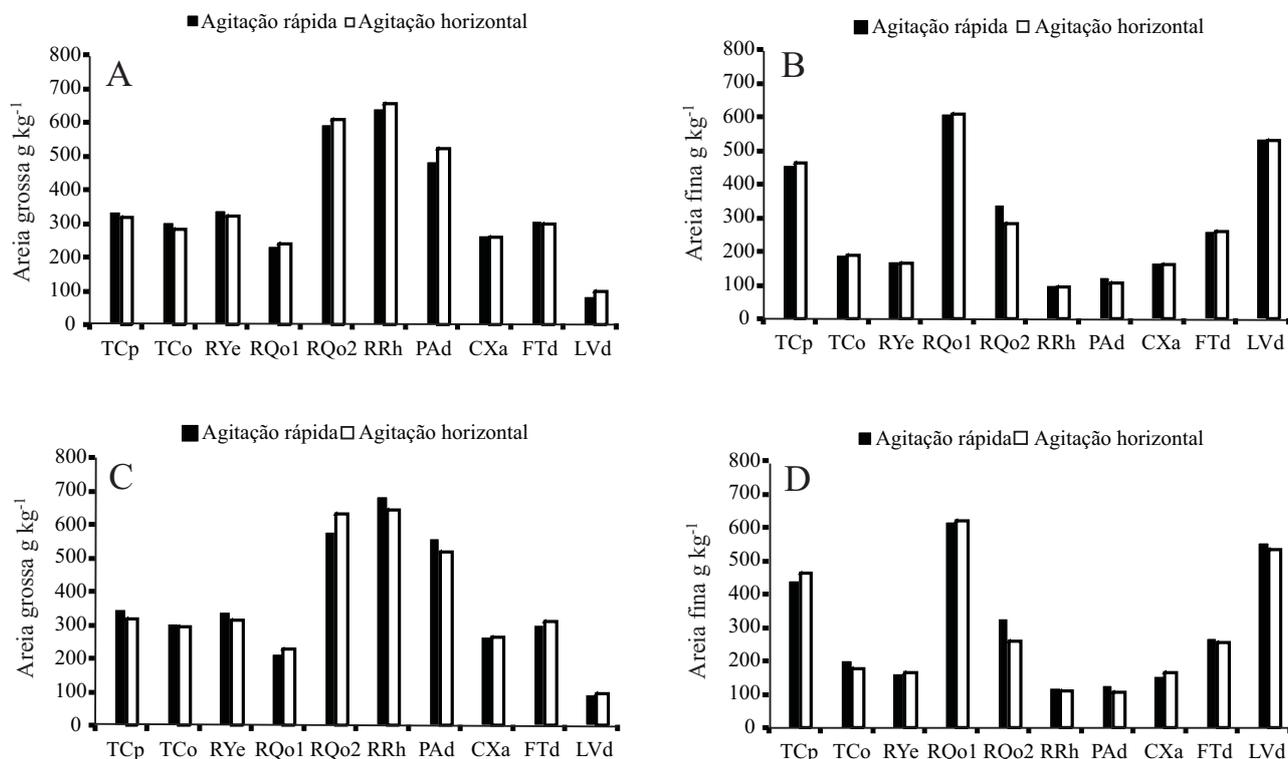


Figura 2 - Teores médios de areia grossa e fina obtidos pelos métodos de agitação rápida e horizontal por 6; 12 e 18 horas com NaOH 1N (A, B) e $(\text{NaPO}_3)_6$ 1N (C, D) em solos dos estados do Ceará e do Rio Grande do Sul

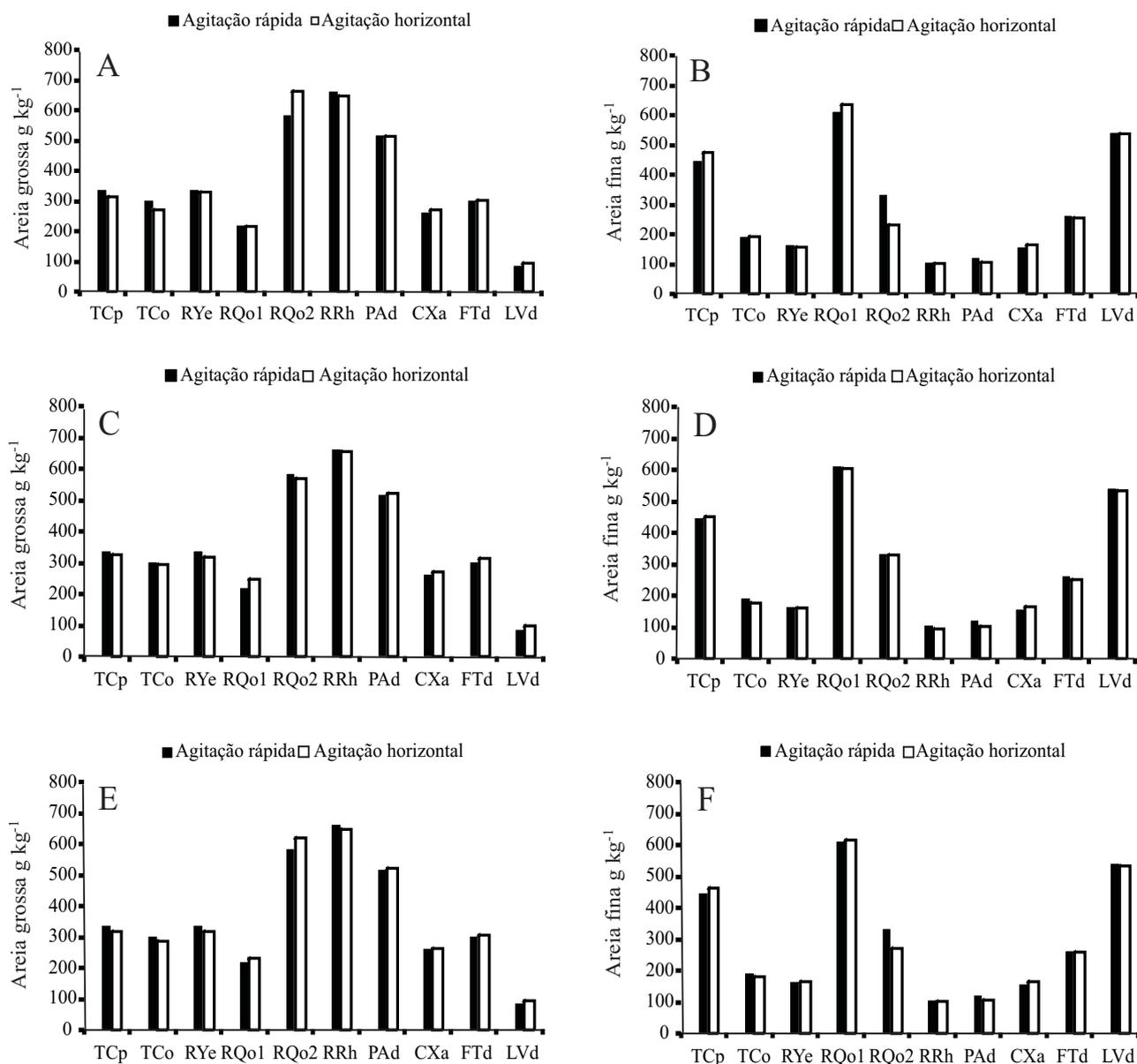


Figura 3 - Teores médios de areia grossa e fina obtidos pelos métodos de agitação rápida e horizontal por 6 (A, B), 12 (C, D), 18 (E, F) horas de agitação em amostras de solos dos estados do Ceará e do Rio Grande do Sul

Os contrastes que comparam as formas de agitação física, rápida e horizontal, e o uso do NaOH (C2) ou $(\text{NaPO}_3)_6$ (C3), indicaram que os valores de S praticamente não apresentaram diferenças significativas no C2, o que aconteceu no C3 (Tabela 2).

Porém para a ARG verificam-se diferenças significativas em praticamente todos os solos, tanto no C2 quanto no C3. Analisando os resultados apresentados na Figura 5, pode-se concluir que a

agitação horizontal mostrou-se mais eficiente em ambos os contrastes (C2 e C3). Ferreira et al (2002), comparando a agitação horizontal e rápida, chegaram a resultados similares, identificando superioridade da agitação horizontal na maior dispersão de um Latossolo Vermelho distroférico e de um Nitossolo Vermelho eutroférico. Estes autores observaram teores de argila estatisticamente semelhantes ou superiores aos obtidos na agitação rápida. Resultados semelhantes também foram encontrados por Ruiz (2005a).

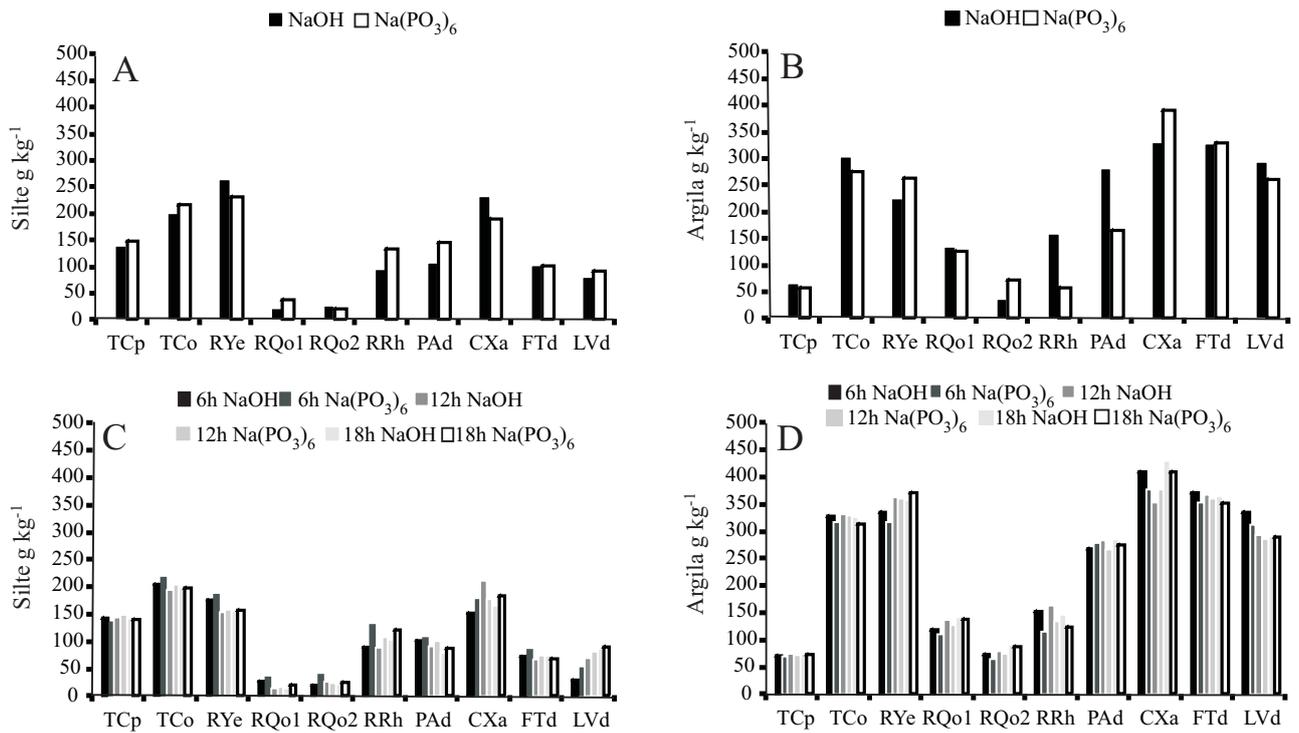


Figura 4 - Teores médios de silte e argila, obtidos pelo método de agitação rápida (A, B) e horizontal, após 6; 12 e 18 horas de agitação (C, D) em amostras de solos dos estados do Ceará e do Rio Grande do Sul

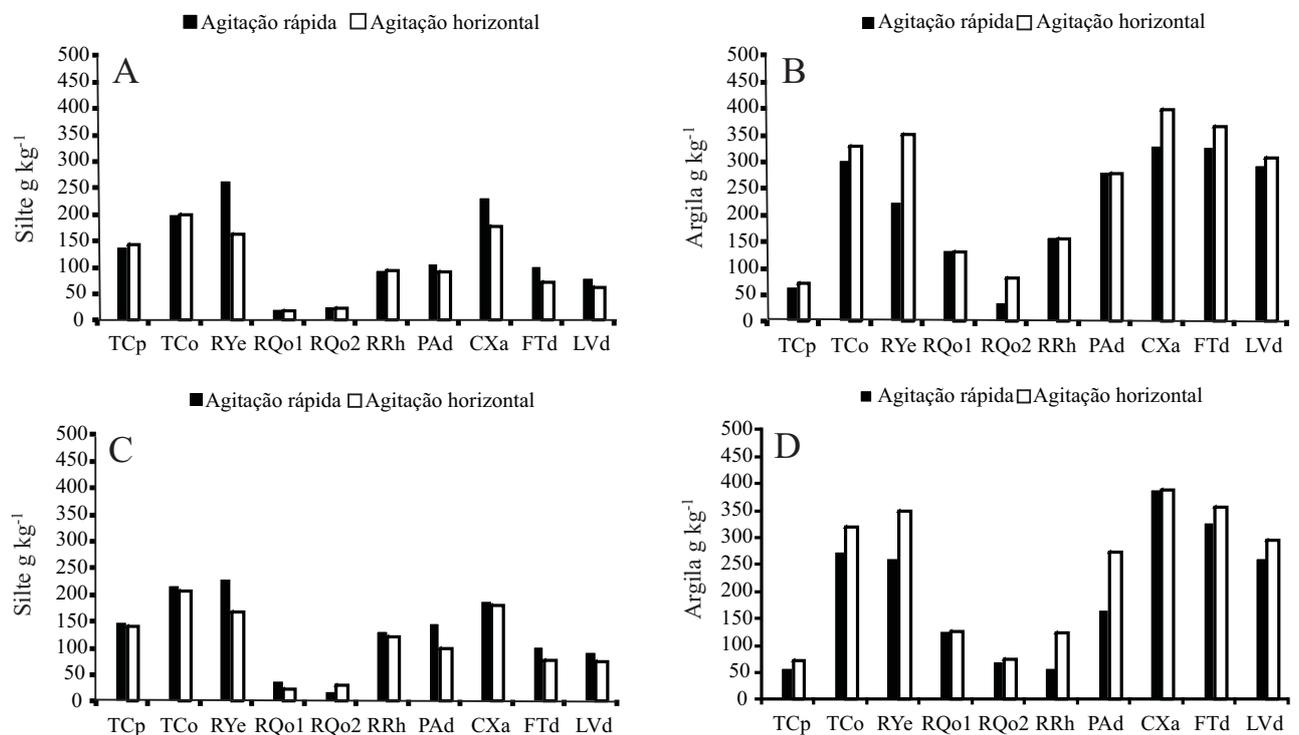


Figura 5 - Teores médios de silte e argila, obtidos pelo método de agitação rápida e horizontal por 6; 12 e 18 horas de agitação com NaOH 1N (A, B) e (NaPO₃)₆ 1N (C, D) em amostras de solos do estado do Ceará e do Rio Grande do Sul

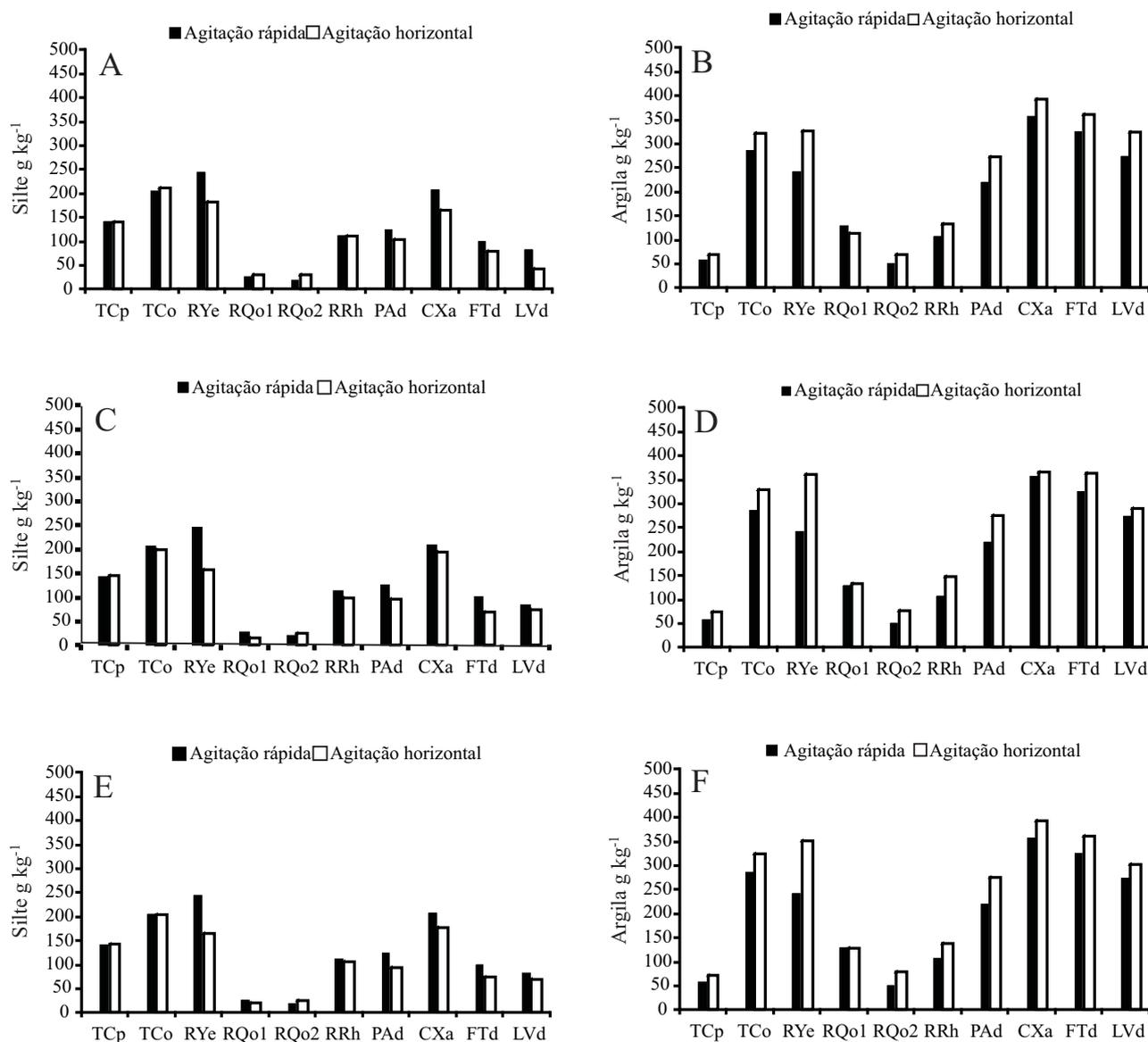


Figura 6 - Teores de silte determinado e argila obtidos pelo método de agitação rápida e horizontal por 6 (A, B), 12 (C, D) e 18 (E, F) horas de agitação em amostras de diferentes classes de solos

A agitação horizontal permitiu, assim, maior separação das partículas individuais de pseudocomponentes do solo, do tamanho do silte, areia fina e areia grossa (DONAGEMMA et al., 2003).

Praticamente todos os solos diferiram significativamente para S e ARG na comparação entre a agitação rápida e a horizontal nos tempos de 6, 12 e 18 horas (C5, C6 e C7). Os resultados apresentados na Figura 6, assim como os apresentados anteriormente, confirmam a agitação horizontal, mesmo no seu menor tempo (6 horas), mostrando maior eficiência do que a rápida.

Constatou-se também que os valores de S calculados, resultantes da coleta adicional da suspensão do solo, são menores que os de silte estimados, em ambos os métodos e dispersantes químicos (Figura 7), confirmando que a coleta adicional de silte + argila para determinação da fração silte, incrementa a exatidão dos resultados da análise. Na metodologia sugerida pela Embrapa (1997), esta coleta adicional não é realizada, superestimando a proporção da fração silte. Esse mesmo resultado foi encontrado por Ruiz (2005b).

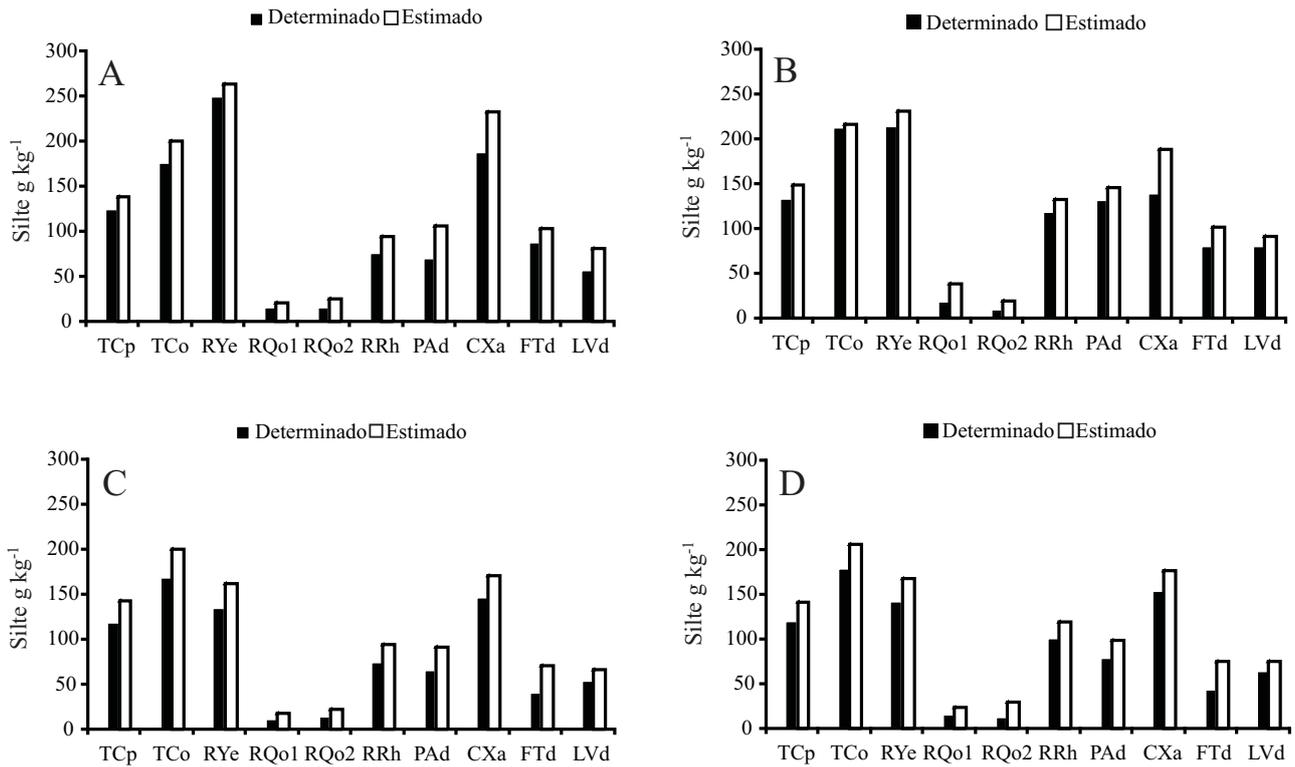


Figura 7 - Teores médios de silte determinado e estimado pela agitação rápida com NaOH 1N (A) e $(\text{NaPO}_3)_6$ (B) e horizontal com NaOH (C) e $(\text{NaPO}_3)_6$ (D) em amostras de solos do estado do Ceará e do Rio Grande do Sul

Conclusões

1. O hidróxido de sódio foi o mais eficiente na dispersão química dos solos analisados independente do método de agitação.
2. A agitação horizontal pode ser utilizada em qualquer dos tempos testado por proporcionar resultados semelhantes à metodologia padrão recomendada.
3. A coleta adicional da suspensão (S + argila) aumenta a precisão dos resultados destas frações na análise textural do solo.

Referências

- AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em latossolos. *Ciência Rural*, v. 34, n. 02, p. 609-617, 2004.
- CAMPOS, M. C. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. *Revista Ciência Agrônoma*, v. 38, n. 02, p. 149-157, 2007.

CASTRO, M. B. et al. Métodos de Dispersão do Solo e Influência da Umidade Residual nos Resultados de Granulométrica de Solos com Finalidade de Análise de Rotina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007. Gramado **Resumos...** Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2007. 1 CD-ROM.

COSER, S. M. et al. Análise textural do solo utilizando métodos de dispersão física com agitação lenta e rápida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 31., 2007. **Resumos...** Gramado, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1 CD-ROM.

DONAGEMMA, G. K. et al. Dispersão de latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 04, p. 765-772, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Classificação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, L. et al. Tipos de dispersantes, formas de agitação e suas relações com a erodibilidade de solos com altos teores de óxidos de ferro. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 26, n. 02, p. 342-353, 2002.

- FONSECA, G. F.; NISHIYAMA, L. Comportamento da dispersibilidade de solos argilosos das chapadas da região de Uberlândia/MG. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA, 2., 2003. Uberlândia, **Anais eletrônicos...** Uberlândia: UFU, Instituto de Geografia, 2003. Disponível em: < <http://www.ig.ufu.br/2srg/3/3-29.pdf> >. Acesso em: 15 nov. 2007.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P.; IMHOFF. Relação entre propriedades físicas e características de solos da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 04, p. 885-893, 2002.
- MENDES, A. M. S. et al. Variabilidade espacial da textura de solos do deserto salino no estado do Rio Grande do Norte. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 01, p. 19-27, 2008.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2006, 290p.
- OLIVEIRA, G. C. et al. Agitador horizontal de movimento helicoidal na dispersão física de amostras de três latossolos do sul e campos das vertentes de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 05, p. 181-187, 2002.
- RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.
- RUIZ, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30., 2005, Recife, PE. **Anais...** Recife: UFRPE, SBSCS, 2005a. 4 p. 1 CD-ROM.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 297-300, 2005b.
- RÜTH, B.; LENNARTZ, B. Spatial variability of soil properties and rice yield along two catenas in southeast China. **Pedosphere**, v. 18, n. 04, p. 409-420, 2008.
- SÁ, M. L.; MALTONI, K. L. Utilização de agitador horizontal na análise granulométrica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 30, 2005, Recife, PE. **Anais...** Recife: UFRPE, SBSCS, 2005. 4 p. 1 CD-ROM.
- VITORINO, A. C. T. et al. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da Região Sudeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 01, p. 133-141, 2003.
- XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas convencional e orgânico na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006.
- XAVIER, F. A. S. et al. Manejo da vegetação sob linhas de transmissão de energia elétrica na Serra de Baturité. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 04, p. 351-364, 2007.