

RITA DE CÁSSIA ALVES DE FREITAS

**ARGILA DISPERSA EM ÁGUA DETERMINADA POR AGITAÇÃO
RÁPIDA, LENTA E ULTRASSOM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F866a
2011

Freitas, Rita de Cássia Alves de, 1985-

Argila dispersa em água determinada por agitação rápida,
lenta e ultrassom / Rita de Cássia Alves de Freitas. – Viçosa,
MG, 2011.

xi, 50f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Hugo Alberto Ruiz.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 32-36.

1. Água - Dispersão. 2. Água - Teor de argila. 3. Física
do solo. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

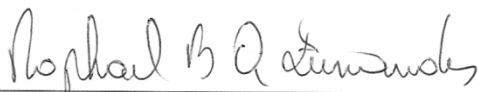
CDD 22. ed. 631.43

RITA DE CÁSSIA ALVES DE FREITAS

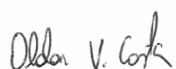
**ARGILA DISPERSA EM ÁGUA DETERMINADA POR AGITAÇÃO
RÁPIDA, LENTA E ULTRASSOM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

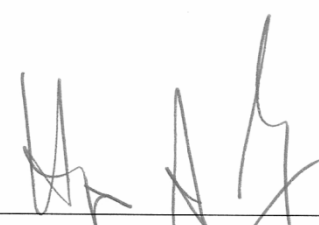
APROVADA: 7 de julho de 2011.



Prof. Raphael Bragança A. Fernandes
(Coorientador)



Prof. Oldair Vinhas Costa



Prof. Hugo Alberto Ruiz
(Orientador)

À minha mãe Maria das Dôres e ao meu pai Francisco Elias

Aos meus irmãos Carla Rejane e Carlos Rafael

Ao meu amado Ramon Rêgo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, esperança e força.

Aos meus pais, Maria das Dôres e Francisco Elias, pelo apoio irrestrito e indispensável em todos os momentos da minha vida.

Aos meus queridos irmãos, Carla Rejane e Carlos Rafael, pelo apoio incondicional às minhas escolhas.

Ao Ramon, por entender minhas prioridades, ter paciência e me fazer feliz.

A Nair Pires Ramos, um anjo que Deus colocou em meu caminho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de pós-graduação.

Ao professor Hugo Alberto Ruiz, pela orientação e confiança em mim depositada.

Ao professor Raphael Bragança Alves Fernandes, pela paciência, pela disponibilidade e pelas inúmeras contribuições na execução e qualificação deste trabalho.

Ao professor Carlos Ernesto Schaefer, pela participação no trabalho realizado.

Ao Dr. Luiz Fernando Carvalho Leite, pesquisador da EMBRAPA MEIO-NORTE, que sempre me incentivou a continuar buscando conhecimentos.

Aos colegas de pós-graduação, Bárbara, Marino, Ivan, Ingrid, Adnan, Anderson, Paúl, Eliziane, Delmar, Manuel, Evair e Jefferson, pela amizade e apoio recebido sempre.

Aos demais professores do Departamento de Solos, pela atenção e disponibilidade.

A todos os funcionários do Departamento de Solos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial aos laboratoristas Cláudio, Bené, Carlos Fonseca e Chico.

A todos não citados, que de alguma forma colaboraram neste trabalho, meu agradecimento.

BIOGRAFIA

RITA DE CÁSSIA ALVES DE FREITAS, filha de Maria das Dôres A. de Freitas, nasceu em 15 de julho de 1985, em Teresina, PI.

Em julho de 2009, graduou-se no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Piauí.

Em agosto de 2009, iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação do professor Hugo Alberto Ruiz.

CONTEÚDO

Página

RESUMO	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Argila Dispersa em Água	3
2.2. Dispersão Física	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Identificação e Caracterização das Amostras de Solo	8
3.2. Determinação da Argila Dispersa em Água (ADA)	11
3.2.1. Determinação da ADA por Agitação Rápida	12

3.2.2. Determinação da ADA por Ultrassom	12
3.2.3. Determinação da ADA por Agitação Lenta	13
3.3. Cálculo do Teor de Argila Dispersa em Água e do Índice de Dispersão (ID)	14
3.4. Caracterização Química e Mineralógica da ADA	14
3.5. Análises Estatísticas	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Argila Dispersa em Água e Índice de Dispersão	16
4.2. Caracterização Química e Mineralógica da Argila Dispersa em Água	25
5. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
APÊNDICE	37

RESUMO

FREITAS, Rita de Cássia Alves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Argila dispersa em água determinada por agitação rápida, lenta e ultrassom.** Orientador: Hugo Alberto Ruiz. Coorientadores: Raphael Bragança Alves Fernandes e Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

Durante a execução analítica, a determinação de argila dispersa em água (ADA) é precedida da dispersão física, sem acréscimo de dispersante químico. Nesse procedimento, o mais tradicional é a adoção da agitação rápida. Recentemente a agitação lenta tem sido sugerida para a determinação da ADA. A dispersão física por ultrassom é outro procedimento a considerar como alternativa na determinação da ADA. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os teores de ADA obtidos por três métodos de dispersão física: agitação rápida, lenta e ultrassom, sendo os dois últimos em diferentes condições. Os tratamentos foram dispostos segundo um delineamento em blocos casualizados, correspondendo a um fatorial 4 x 9, com quatro repetições. Os fatores em estudo foram quatro solos de mineralogias contrastantes (Latossolo Amarelo, LA; Plintossolo Háplico, FX; Latossolo Vermelho-Amarelo, LVA; e Latossolo Vermelho acriférico, LV) e os três métodos de dispersão física indicados. Na dispersão por ultrassom, foram avaliadas três energias ultrassônicas (55, 110 e

220 J mL⁻¹), e na dispersão por agitação lenta, cinco volumes de suspensão (50, 100, 200, 300 e 400 mL) em recipientes de 500 mL. Os teores de ADA e índice de dispersão (ID) foram quantificados nos diferentes tratamentos. Amostras da ADA de todos os tratamentos foram utilizadas na identificação e quantificação dos teores de caulinita, gibbsita, goethita e hematita, além da determinação de pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ e P remanescente. Para todos os tratamentos, nos solos com maior proporção de óxidos (FX, LVA e LV) foi verificada maior dificuldade de dispersão em consequência da maior estabilidade de seus microagregados, frente ao mais caulínítico (LA). Verificou-se maior dispersão de argila com a agitação lenta e ultrassônica. Na agitação lenta, observou-se, no geral, relação inversa entre o volume de suspensão e o teor de ADA e ID. Essa diferenciação foi associada ao maior atrito entre agregados e partículas e maior vigor de agitação nos menores volumes de suspensão. Nos solos LA, FX e LVA verificou-se, em geral, correlação significativa e negativa entre a ADA e os cátions trocáveis. Sugere-se que, com incremento da ADA pelo aumento da energia de dispersão (por diminuição do volume de suspensão), maiores proporções de óxidos foram liberados, com redução dos teores relativos de caulinita.

ABSTRACT

FREITAS, Rita de Cássia Alves de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2011. **Water dispersible clay determined by slow and fast shaking and ultrasonic dispersion.** Adviser: Hugo Alberto Ruiz. Co-advisers: Raphael Bragança Alves Fernandes and Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer.

During the analytical execution, the water dispersible clay (WDC) determination is preceded by physical dispersion, without addition of chemical dispersant and, usually fast shaking procedure. Recently, slow shaking and ultrasonic dispersion has been suggested as alternatives procedures to determine WDC. The objective of this study was to evaluate the WDC content obtained by three methods of physical dispersion, fast and slow shaking and, ultrasonic dispersion. The treatments were arranged in a randomized block design, representing a 4 x 9 factorial with four replicates. The factors evaluated in the study were four mineralogy contrasting soils (Xantic Kandiodox; Plintaquox; Typic Hapludox and Rhodic Hapludox) and the three methods of physical dispersion indicated. The ultrasonic dispersion procedure were evaluated at three ultrasonic energy levels (55, 110 and 220 J mL⁻¹) and, the slow shaking procedure at five volumes of suspension (50, 100, 200, 300 and 400 mL) in 500 mL containers. The WDC content and dispersion index (DI) were quantified for the different treatments. Samples of the WDC to all treatments were used to

dispersion index (DI) were quantified in the different treatments. Samples of the WDC to all treatments were used in the identification and the levels of kaolinite, gibbsite, goethite and hematite, and determination of pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} and P remaining. For all treatments, soils with a higher proportion of oxides (P, TH, RH) was found more difficult to disperse as a result of their greater stability of microaggregates, compared to more kaolinitic (XK). There was greater dispersion of clay with slow agitation and ultrasonic. In slow agitation, there was, in general, an inverse relationship between the volume of suspension and content of the WDC and DI. This differentiation was associated with increased friction between particles and aggregates and increased vigor of agitation in smaller volumes of suspension. In soils XK, P and TH was found, in general, significant and negative correlation between WDC and the exchangeable cations. It is suggested that, with increased WDC for increasing energy dispersion (by decreasing the volume of suspension), higher proportions of oxides were released, with reduced levels relative to kaolinite.

1. INTRODUÇÃO

A argila dispersa em água (ADA) é aquela determinada em análise granulométrica, utilizando apenas a água como dispersante. Com frequência é associada à estabilidade de agregados e à susceptibilidade do solo à erosão hídrica. Maiores teores de ADA indicariam tendência de menor estabilidade de agregados e menor resistência aos processos erosivos.

Durante a execução analítica, somente é utilizada a dispersão mecânica, deixando-se de lado o acréscimo de dispersante químico, como acontece na análise convencional que quantifica as frações granulométricas areia, silte e argila.

Tradicionalmente, na realização da dispersão física, tem sido adotada a agitação rápida (AR), efetuada em curtos intervalos de tempo em agitadores com altas velocidades de rotação. Estudos realizados com solos característicos de regiões de clima tropical e úmido indicam o inconveniente do uso da AR, que não permite uma completa dispersão da amostra na análise granulométrica. Isso leva a superestimar os teores de silte, principalmente, e areia, pela presença de pseudossilte e pseudoareia, microagregados argilosos do tamanho dessas frações granulométricas.

Dentro desse contexto, uma série de estudos têm sido desenvolvidos no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (LFS/DPS/UFV), no intuito de aprimorar as técnicas de dispersão mecânica de amostras de solo. Esse esforço culminou com proposta de modificação na dispersão mecânica para análise granulométrica, com a adoção da agitação lenta (AL), em agitador rotatório tipo Wagner, a 50 rotações por minuto, por período de 16 h. A AL é utilizada nas determinações de rotina da análise granulométrica do LFS/DPS/UFV por ser o procedimento mais eficiente para dispersar amostras de solos, além de possibilitar a dispersão de um grande número de amostras na mesma operação, representando maior produtividade.

O ultrassom (US) é outra alternativa na dispersão física para análise granulométrica, porém pouco utilizado na análise granulométrica e com inconveniente de difícil adequação à dispersão simultânea de número elevado de amostras.

Ainda que existam várias possibilidades para a dispersão física, a agitação rápida acaba sendo o procedimento mais adotado para a determinação da ADA, pois ainda pairam dúvidas quanto ao uso do procedimento lento nesta determinação. Estudos preliminares de determinação de ADA por AL, utilizando diferentes volumes de suspensão solo-água, em recipientes de 500 mL, em solos com baixos teores de sódio trocável, mostraram marcada dependência do teor de ADA com o volume da suspensão: quanto menor o volume da suspensão, maior o teor de ADA. Em geral, os valores determinados foram marcadamente superiores aos observados quando a dispersão foi por AR, especialmente nos solos mais argilosos.

O presente trabalho objetivou avaliar os teores de argila dispersa em água por três métodos de dispersão física (AR, AL e US) em amostras de quatro solos argilosos com presença de dois ou mais minerais do grupo formado por caulinita, gibbsita, goethita e hematita na fração argila. Em acréscimo, foi também objetivo quantificar a resposta do volume de suspensão na AL e da energia no US sobre a proporção de ADA nesses solos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Argila Dispersa em Água

A argila dispersa em água (ADA) é operacionalmente definida como a fração da argila do solo que pode ser suspensa por água (Dontsova et al., 2009). Esta determinação tem sido comumente usada para avaliar a estabilidade de agregados e a susceptibilidade do solo à erosão hídrica, sendo que maior teor de ADA indica tendência de menor estabilidade de agregados e menor resistência aos processos erosivos (Grohmann & Van Raij, 1977; Lima et al., 1990).

Além destes efeitos sobre a estrutura do solo, existe a possibilidade de migração desse material disperso no perfil do solo, descendo até profundidades que apresentem condições de flocculação, onde podem obstruir os poros, podendo alterar a dinâmica da água e do ar no solo. Neste contexto tem-se incrementado o interesse por essa fração do solo, dada sua possível interferência, também, na mobilidade de solutos no perfil (Seta & Karathanasis, 1996; Bertsch & Seaman, 1999).

Na determinação da proporção de ADA, em laboratório, o procedimento consiste em submeter a amostra à dispersão mecânica, sem acréscimo de dispersante químico, componente utilizado na análise granulométrica (Vettori, 1969).

A dispersibilidade dos solos está intimamente relacionada aos cátions presentes e às suas respectivas concentrações no complexo de troca, associados às características de valência, raio iônico e camada de hidratação. O complexo de troca catiônica dos solos de regiões de clima tropical, úmidas e subúmidas, é, geralmente, dominado por alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+), sendo esses íons favorecedores do fenômeno de floculação das partículas. Em muitos solos de regiões áridas e semiáridas, os íons Na^+ mostram-se com certa predominância no complexo de troca, o que resulta, geralmente, num estado de dispersão dos colóides do solo.

O Na^+ encontra-se geralmente envolvido por uma espessa camada de hidratação, que lhe confere elevado raio iônico hidratado, menor apenas que o do Li^+ entre os metais alcalinos do grupo 1A da tabela periódica. Essa característica dificulta a aproximação dos colóides do solo, quando saturados com Na^+ . Também deve ser considerado que a espessura da dupla camada difusa é inversamente proporcional ao quadrado da valência do íon. Desta forma, a dupla camada difusa é mais extensa no caso, por exemplo, de um solo saturado com Na^+ , monovalente, do que com Ca^{2+} , divalente. Quanto mais extensa a dupla camada, maior é a força repulsiva entre as partículas coloidais, facilitando a dispersão do sistema (Sumner, 1995).

Outros fatores que influenciam a dispersão de argilas são o teor de argila (Brubaker et al., 1992), a matéria orgânica (Kretzschmar et al., 1993), os óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Goldberg et al., 1988), a composição mineralógica da argila (Arora & Coleman, 1979) e a força iônica e o pH da solução do solo (Gillman, 1974; Suarez et al., 1984). Com relação a este último, a diferença o valor de pH do solo e o valor do PCZ indica o potencial de carga e a natureza das cargas, se positiva ou negativa. Independente do sinal resultante, o incremento destas cargas dão origem à forças repulsivas entre as partículas, aumentando assim a dispersão. A dispersão é quase inexistente quando o valor de pH do solo fica próximo do valor de PCZ, ou seja, quando há maior floculação das partículas. Gillman (1974) demonstrou que o solo tem menor teor de ADA quando o pH do solo está próximo do seu PCZ.

2.2. Dispersão Física

A dispersão física consiste da destruição dos agregados do solo, transformando-os em partículas individualizadas, status fundamental para a posterior separação e quantificação na análise granulométrica. Um bom método de dispersão deve empregar energia suficiente para superar as forças que mantêm as partículas unidas, e que conferem estabilidade aos agregados do solo.

O método normalmente utilizado na dispersão física é a agitação rápida (usualmente 12.000 rpm) que, apesar de simples e rápido, tem apresentado baixa eficiência na dispersão de argilas de alguns solos mais intemperizados, notadamente os da classe dos Latossolos (Vitorino et al., 2001).

Ruiz (2005a) comparou o processo de dispersão física por agitação rápida por 15 min, com agitador do tipo coqueteleira a 12.000 rpm, frente ao processo por agitação lenta por 16 h, com agitador rotatório tipo Wagner a 50 rpm, na análise granulométrica. Nas determinações de 36 amostras que apresentavam amplo intervalo no teor de argila total, a agitação lenta mostrou-se mais efetiva, ao permitir determinar maior proporção de argila.

Algumas variações do método de dispersão física por agitação lenta já foram testadas, como por exemplo, a tentativa de aumento da desagregação com o uso de abrasivos, como areia grossa (Tavares-Filho & Magalhães, 2008). Esses autores verificaram aumento da fração argila, após o acréscimo de areia grossa à amostra, sendo este efeito atribuído ao poder abrasivo da areia, associado ao tempo de agitação lenta, que provoca a quebra dos agregados.

A utilização do ultrassom é outra opção na dispersão mecânica (Genrich & Bremner, 1972; Vitorino et al., 2001; Carolino de Sá, 2002). Para a sonificação, uma quantidade de solo é colocada em um recipiente com água e submetida a determinado nível de energia. A quebra dos agregados é causada pela cavitação, ou seja, pela formação de bolhas de ar na água pelas ondas de energia ultrassônica.

A cavitação ocorre, principalmente, na superfície dos agregados e em suas linhas de fraqueza, e pode ser dividida em três etapas: nucleação (formação de bolhas microscópicas), crescimento e implosão (colapso) das bolhas (Christensen, 1992). O colapso das bolhas de ar na superfície e nas linhas de fraqueza dos agregados causa a desagregação e a dispersão das partículas. A energia aplicada na amostra, que é função do tempo de sonificação, produz a desagregação, culminando com a dispersão do solo.

Entretanto, a literatura tem deparado com dificuldades na comparação dos resultados de diferentes ensaios de sonificação. A calibração da potência liberada pela haste do aparelho é crucial para a validação de dados de pesquisa, uma vez que o registro normalmente indicado nos medidores dos aparelhos não equivale àquela realmente aplicado à suspensão sonificada (North, 1976; Gregorich et al., 1988; Christensen, 1992; Raine & So, 1993; Carolino de Sá, 1998; Carolino de Sá et al., 2000). O desgaste da ponta do sonificador, pelo uso contínuo, é outro motivo que torna indispensável a calibração da potência de saída, uma vez que com o desgaste há aumento da diferença entre a potência registrada e aquela que foi realmente emitida (Hinds & Lowe 1980).

Ainda que existam várias possibilidades para a dispersão física, a agitação rápida acaba sendo o procedimento mais adotado para a determinação da ADA, pois ainda pairam dúvidas quanto ao uso do procedimento lento nesta determinação.

Neste sentido, um teste preliminar comparativo foi conduzido no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, utilizando alguns solos característicos de regiões tropicais e úmidas, buscando avaliar diferenças nos valores de ADA obtidos por agitação rápida e agitação lenta. Neste último procedimento utilizando-se diferentes volumes de suspensão em recipientes de 500 mL. Na agitação lenta, obteve-se valores variáveis de ADA segundo o volume de suspensão utilizado. Quanto menor o volume da suspensão, maior foi o teor de ADA obtido (Figura 1) (Ruiz, 2010)^{1/}.

^{1/} Informação pessoal.

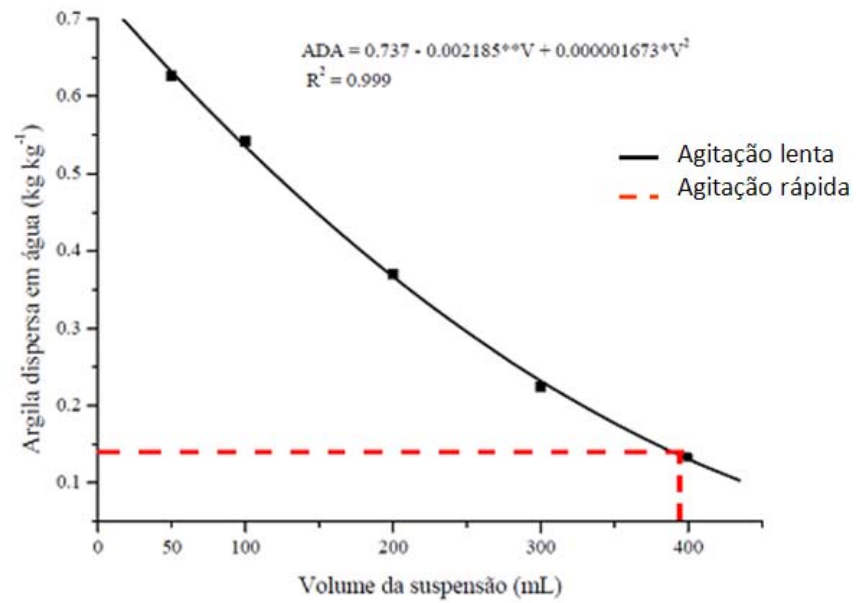


Figura 1. Teores médios de argila dispersa em água, obtidos pelos métodos de agitação rápida e lenta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Identificação e Caracterização das Amostras de Solo

Para a realização deste trabalho foram coletadas amostras do horizonte B de quatro solos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, selecionados por apresentarem alto teor de argila total, baixo teor de Na trocável, baixo teor de carbono orgânico total e presença marcante de algum mineral do grupo formado por caulinita, gibbsita, goethita e hematita (Quadro 1).

Quadro 1. Identificação (ID), classificação, localização e material de origem dos solos estudados

ID	Classificação	Local de Coleta	Coordenadas	Material de Origem
LA	Latossolo Amarelo	Itapemirim (ES)	S 21° 01' 09" W 40° 53' 01"	Sedimento argilo-arenoso do Grupo Barreiras
FX	Plintossolo Háptico	Romaria (MG)	S 18° 55' 54" W 47° 33' 52"	Material retrabalhado sobre arenito da formação Bauru
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo	Viçosa (MG)	S 20° 34' 09" W 42° 52' 16"	Gnaiss
LV	Latossolo Vermelho acriférico	Capinópolis (MG)	S 18° 43' 31" W 49° 33' 20"	Basalto

Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Para a caracterização física, procedeu-se a análise granulométrica utilizando NaOH como dispersante químico (Vettori, 1969), com as modificações propostas por Ruiz (2005a, 2005b). A superfície específica das amostras de solo foi estimada determinando a retenção de água a -500 kPa (Filgueira et al., 2006), pelo método da câmara de pressão (Richards, 1949). Na densidade de partículas utilizou-se o método do balão volumétrico com álcool etílico como líquido penetrante (EMBRAPA, 1997) (Quadro 2).

Na caracterização química foi determinado na TFSA o pH em água e em solução 1 mol L⁻¹ de KCl (relação 1:2,5), por potenciometria; a acidez trocável (Al³⁺) extraída com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificada por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹. O K⁺ trocável foi extraído pela solução Mehlich-1 e dosado por fotometria de emissão de chama. Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrofotometria de absorção atômica, Ca²⁺ e Mg²⁺, e por fotometria de emissão de chama, Na⁺. A acidez potencial (H + Al) foi extraída com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0, e titulada com NaOH 0,25 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997). O carbono orgânico total foi quantificado por oxidação da matéria orgânica via úmida, empregando solução de dicromato de potássio em meio ácido (Walkley & Black, 1934). A determinação do P remanescente foi realizada em amostras da TFSA, na solução de equilíbrio do solo com uma solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P (Alvarez V. et al., 2001). O tempo de agitação foi de 5 min para a relação solo:solução de 1:10 recomendada para TFSA, e de 1 h para a relação solo:solução de 1:50 recomendada para a fração argila (Rodrigues Netto, 1996) (Quadro 2).

Também foram determinadas as formas de ferro cristalinas e mal cristalizadas extraídas na fração argila com ditionito-citrato-bicarbonato (DBC) (Mehra & Jackson, 1960) e com oxalato ácido de amônio (OXA) (Schwertmann, 1964), respectivamente. A dosagem de ferro foi efetuada por espectrofotometria de absorção atômica (Quadro 2).

Quadro 2. Caracterização física e química dos solos estudados

Característica	LA	FX	LVA	LV
Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,249	0,248	0,128	0,173
Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,085	0,234	0,112	0,244
Silte (kg kg ⁻¹)	0,011	0,035	0,046	0,076
Argila (kg kg ⁻¹)	0,655	0,483	0,714	0,507
Superfície específica (m ² g ⁻¹)	31,84	22,05	41,98	30,57
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,59	2,56	2,65	2,79
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	2,30	7,70	18,3	7,70
pH _{Água} (1:2,5)	5,44	5,52	4,64	4,95
pH _{KCl} (1:2,5)	4,89	4,93	4,14	4,37
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,054	0,005	0,021	0,121
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,009	0,000	0,005	0,000
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,09	0,24	0,02	0,25
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,69	0,06	0,08	0,30
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0	1,00	0,59
(H + Al) (cmol _c dm ⁻³)	1,2	2,8	6,6	7,9
Valor t (cmol _c dm ⁻³)	1,84	0,31	1,12	1,26
Valor T (cmol _c dm ⁻³)	3,04	3,11	6,72	8,57
P remanescente (1:10) (mg L ⁻¹)	31,8	12,5	11,9	12,2
P remanescente (1:50) (mg L ⁻¹)	53,4	35,0	38,0	33,2
Fe ditionito (g kg ⁻¹)	23,14	14,26	83,06	103,94
Fe oxalato (g kg ⁻¹)	0,21	0,75	1,40	2,40

Para a execução da análise mineralógica, as frações texturais foram separadas na análise granulométrica, utilizando-se o peneiramento, para as frações areia grossa e areia fina, e a sedimentação, para as frações silte e argila. Após a separação das frações, foram obtidas amostras desferrificadas (tratamento com DCB) da fração argila. As amostras, após lavagem, foram secas a 45°C, destorroadas em almofariz de ágata e armazenadas para análise. Os minerais das quatro frações texturais foram identificados por difração de raios X (DRX) em um aparelho PANalytical X'Pert PRO, com radiação CoK α e monocromador de grafite, operado a 40 kV e 30 mA. Todas as amostras irradiadas foram preparadas em lâminas de alumínio pelo método do pó (Quadro 3).

Quadro 3. Caracterização mineralógica das quatro frações texturais e quantificação dos teores de caulinita, gibbsita, hematita e goethita na fração argila dos solos estudados

	LA	FX	LVA	LV
Minerais Identificados^{1/}				
Areia grossa	Qz, Fd	Gb, Qz, Fd	Qz	Qz, Fd
Areia fina	Qz, Fd	Gb, Gt, Qz, Fd	Qz	Qz
Silte	Ct, Gt, An, Qz	Ct, Gb, Gt, An, Qz	Ct, Gb, An, Qz	Ct, Gb, Hm, Gt, An, Qz
Argila	Ct, Gt, An	Ct, Gb, Gt, An	Ct, Gb, Hm, Gt An	Ct, Gb, Hm, Gt An
Teores de Ct, Gb, Hm e Gt na Fração Argila (kg kg⁻¹)				
Caulinita	0,964	0,536	0,791	0,722
Gibbsita	0	0,443	0,083	0,126
Hematita	0	0	0,033	0,065
Goethita	0,036	0,021	0,093	0,087

^{1/} Ct, caulinita; Gb, gibbsita; Hm, hematita; Gt, goethita; An, anatásio; Qz, quartzo; Fd, feldspato.

Na fração argila foram determinados os teores de caulinita (Ct) e gibbsita (Gb) por análise termogravimétrica (TG), no resíduo do tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), após secagem em estufa e destorroamento suave em almofariz de ágata. Também foram calculadas as proporções de hematita (Hm) e goethita (Gt). Para isso, de posse dos valores da relação $Gt/(Gt+Hm)$, determinada para estes mesmos solos por Fernandes (2000), foram estimados os teores de goethita e hematita da fração argila dos solos, segundo o princípio da alocação, e utilizando-se os teores de Fe_{DCB} e Fe_{OXA} , obtidos nessa fração. O somatório dos teores de Ct, Gb, Hm e Gt foram ajustados para 1 kg kg⁻¹, assumindo que esses minerais fossem os únicos presentes na fração argila dos solos estudados (Quadro 3).

3.2. Determinação da Argila Dispersa em Água (ADA)

Para a determinação da argila dispersa em água (ADA), os tratamentos foram dispostos segundo um delineamento em blocos casualizados,

correspondendo a um arranjo fatorial 4 x 9, com quatro repetições. Os fatores em estudo foram as amostras de quatro solos (Quadro 1) e três métodos de dispersão física (agitação rápida, ultrassom e agitação lenta), sendo que, na dispersão física com ultrassom, foram utilizadas três energias ultrassônicas (55, 110 e 220 J mL⁻¹) e, na dispersão por agitação lenta, foram utilizados cinco volumes de suspensão (50, 100, 200, 300 e 400 mL) em recipientes de 500 mL.

3.2.1. Determinação da ADA por Agitação Rápida

- Subamostras de, aproximadamente, 10 g de TFSA, pesadas com aproximação de 0,01 g, foram dispostas em copo de coqueteleira com hastes verticais;
- Em seguida, foram acrescentados 250 mL de água deionizada e o conjunto foi agitado durante 15 minutos, a 12.000 rpm;
- Logo, toda a suspensão resultante foi passada para uma proveta de 500 mL e o volume da proveta completado até o aferimento, com o auxílio de uma pisseta;
- Determinou-se a temperatura da suspensão e, por meio da Lei de Stokes, calculou-se o tempo necessário para a sedimentação das partículas > 0,002 mm nos 5 cm superiores da proveta, utilizando o valor da densidade de partículas previamente determinada. A suspensão foi então agitada durante 20 s com um bastão e deixada em repouso;
- Decorrido o tempo calculado, foi introduzida cuidadosamente uma pipeta aferida de 25 mL, até a profundidade de 5 cm, e coletada a suspensão (argila). Essa solução foi transferida para béquer de 50 mL, previamente tarado com aproximação de 0,0001 g, e levada à estufa a 100 °C, durante 24 h. Logo, o béquer foi retirado, colocado em dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado com aproximação de 0,0001 g.

3.2.2. Determinação da ADA por Ultrassom

- Subamostras de, aproximadamente, 10 g de TFSA, pesadas com aproximação de 0,01 g, foram colocadas em béquer e acrescentados 250 mL de água deionizada (relação solo:água de 1:25);

- Para a sonificação das amostras utilizou-se um aparelho marca Branson Sonifier modelo S-250A , operando a 20 kHz no estágio 9, fornecendo uma potência de $105,90 \pm 1,72$ W, corrigida segundo Carolino de Sá (2000). O tempo de sonificação foi calculado de forma a ser suficiente para fornecer as energias 55, 110 e 220 J mL⁻¹, de acordo com a equação 1, conforme Christensen (1985). A aplicação da energia 55 J mL⁻¹ foi na tentativa de se obter valores de ADA próximos aos encontrados com a agitação rápida. A energia 110 J mL⁻¹ é usada como referencial para dispersar argila em análise granulométrica (Vitorino et al., 2001). Por outro lado, para se atingir o máximo teor de argila dos solos estudados, é necessária uma energia da ordem de 220 J mL⁻¹.

$$EA = \frac{Pc \cdot ts}{v} \quad (1)$$

onde: EA, energia ultrassônica aplicada à amostra (J mL⁻¹); Pc, potência emitida pelo aparelho (W); ts, tempo de sonificação (s) e v, volume da suspensão (mL);

- Durante o processo de sonificação, cada amostra permaneceu em banho de gelo, mantendo-se a temperatura abaixo de 40 °C, conforme recomendado por Gregorich et al. (1989);
- Após a sonificação, a determinação da argila dispersa em água foi efetuada, da mesma forma que a indicada para o método de dispersão física utilizando agitação rápida (item 3.2.1).

3.2.3. Determinação da ADA por Agitação Lenta

- Subamostras de, aproximadamente, 10 g de TFSA, pesadas com aproximação de 0,01 g, foram dispostas em garrafas plásticas de 500 mL;
- Seguidamente, foram acrescentados às garrafas 50, 100, 200, 300 ou 400 mL de água deionizada, seguido da fixação e agitação do conjunto em agitador rotatório tipo Wagner. A agitação mecânica foi efetuada durante 16 h, a 50 rpm;

- Após a agitação, a determinação da argila dispersa em água foi efetuada da mesma forma do que a indicada para o método de dispersão física utilizando agitação rápida (item 3.2.1).

3.3. Cálculo do Teor de Argila Dispersa em Água e do Índice de Dispersão (ID)

A proporção da argila dispersa em água (x_{ADA}) foi calculada utilizando-se a equação 2, conforme EMBRAPA (1979):

$$x_{ADA} = M_{ADA} \frac{V_T}{V_C} \frac{1}{M_{TFSA}} f \quad (2)$$

onde: x_{ADA} , proporção da argila dispersa em água (kg kg^{-1}); M , massa da ADA e da TFSA (g); V_T , volume total da dispersão (mL) e V_C , volume coletado (mL).

O índice de dispersão (ID) é a proporção da argila dispersa em água em relação à argila total. O ID foi calculado utilizando-se a equação 3:

$$ID = \frac{x_{ADA}}{x_{Arg}} \quad (3)$$

onde: x_{ADA} , proporção da argila dispersa em água (kg kg^{-1}) e x_{Arg} , proporção de argila total (kg kg^{-1}).

3.4. Caracterização Química e Mineralógica da ADA

As suspensões de ADA de cada tratamento, recolhidas após sucessivos sifonamentos, foram secas em estufa de ventilação forçada, a 45 °C. Nessa argilas determinaram-se pH (1:2,5), Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e P remanescente (1:50). Também quantificaram-se as proporções de caulinita, gibbsita, hematita e goethita. Em todos os casos foram utilizados os métodos previamente descritos.

3.5. Análises Estatísticas

O esquema da análise de variância do experimento é apresentado no quadro 4. Os teores de ADA e o ID foram comparados, por meio de contrastes nos solos estudados e nos tratamentos, considerando o tipo de agitação (rápida, lenta e ultrassônica) e a energia de agitação ultrassônica (55, 110 e 220 J mL^{-1}) para cada solo estudado. Os teores de ADA e o ID nos diferentes volumes de

suspensão dentro da dispersão lenta dos solos estudados foram avaliados por regressão.

Considerando a dispersão por agitação lenta a de maior importância, por ser método que permite analisar simultaneamente elevado número de amostras, calcularam-se coeficientes de correlação linear simples relacionando a ADA com suas características químicas (pH, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} e P remanescente) e mineralógicas (proporções de Ct, Gb, Gt e Hm). Nessas correlações trabalhou-se com significância de 10% pelo teste t, levando em consideração que o número restrito de médias sugeria reduzir as exigências na análise.

Quadro 4. Esquema da análise de variância do experimento

Fonte de Variação	Graus de Liberdade
Blocos	3
Solos	3
Tratamentos d/LA	8
Tratamentos d/FX	8
Tratamentos d/LVA	8
Tratamentos d/LV	8
Resíduo	105

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Argila Dispersa em Água e Índice de Dispersão

No quadro 5 são apresentados os resultados dos teores médios de argila dispersa em água (ADA) obtidos pelos diferentes métodos de dispersão física. A análise dos dados mostra diferenças entre os teores de ADA dos diferentes solos avaliados (Quadro 6), o que era esperado, tendo em vista a natureza diferenciada dos mesmos. Em todos os casos, os solos estudados tiveram diferente material de origem (Quadro 1). Isso leva, também, a diferenças mineralógicas na composição da fração argila desses solos. Com base na quantificação da fração argila, apresentada no quadro 3, verifica-se que o LA é predominantemente caulínico. Dos três solos restantes, em termos de óxidos, o FX é o que apresenta maior proporção de gibbsita; o LVA, de goethita; e o LV, de hematita. A presença desses óxidos é marcante, ainda que os três solos sejam proporcionalmente mais ricos em caulinita que em óxidos (Quadro 3). Observe-se que proporções relativamente pequenas de óxidos podem alterar acentuadamente algumas propriedades do solo. Diversos autores observaram influência da mineralogia do solo na dispersão e floculação das argilas, mostrando sua contribuição nesses fenômenos (Rodrigues Netto, 1996; Freire, 2001; Corrêa et al., 2003).

Quadro 5. Argila dispersa em água, considerando o solo, o tipo de agitação e as alternativas estudadas no uso de agitação lenta e ultrassônica

Agitação	Volume Suspensão	Energia Agitação	LA	FX	LVA	LV
	mL	J mL ⁻¹	kg kg ⁻¹			
Rápida			0,222	0,061	0,074	0,081
Lenta	50		0,575	0,422	0,614	0,114
	100		0,560	0,355	0,546	0,103
	200		0,430	0,198	0,402	0,096
	300		0,360	0,128	0,286	0,105
	400		0,283	0,078	0,174	0,095
Ultrassônica		55	0,471	0,152	0,301	0,301
		110	0,514	0,299	0,539	0,419
		220	0,629	0,384	0,616	...
Média Agitação Lenta			0,442	0,236	0,404	0,103
Média Agitação Ultrassônica			0,538	0,278	0,485	0,360
Média Geral			0,449	0,231	0,394	0,164

... : não determinado.

Quadro 6. Contrastes ortogonais médios comparando a argila dispersa em água, em kg kg⁻¹, nos solos estudados

Contraste	Valor
3 LA - FX - LVA – LV	0,186*
2 FX - LVA - LV	-0,048*
LVA – LV	0,230*

*: significativo a 5% pelo teste F.

A maior proporção de caulinita no LA permite explicar o valor médio de ADA (0,449 kg kg⁻¹), estatisticamente superior aos dos demais solos (Quadro 5 e 6). Latossolos cauliniticos têm, geralmente, menor proporção de agregados estáveis em água que Latossolos com predominância de oxi-hidróxidos de Fe e Al (Ferreira et al., 1999; Schaefer, 2001). Os fenômenos físico-químicos de diminuição de cargas positivas e aumento de cargas negativas do solo favorecem a repulsão entre partículas, constituindo causa da dispersão. Segundo Rodrigues Netto (1996), para que esta se manifeste, é necessário que a estabilidade dos

agregados seja baixa o suficiente, característica comum nos solos mais cauliniticos. O mesmo autor, estudando material de 22 solos brasileiros, com ampla variabilidade mineralógica, concluiu que os solos cauliniticos e com menores teores de Fe mostraram-se os mais susceptíveis à dispersão de argilas. A natureza dos cátions trocáveis também influencia a proporções de ADA no solo, com destaque para o Na^+ , cátion com maior poder de dispersão devido a sua baixa carga elétrica efetiva e seu elevado raio iônico hidratado. Nestes solos, a baixa capacidade de troca catiônica e o mínimo teor de Na^+ trocável (Quadro 2), indicariam que as diferenças seriam primordialmente mineralógicas, não químicas.

Nos solos com maior proporção de óxidos (FX, LVA e LV) é verificada maior dificuldade de dispersão em consequência da maior estabilidade de seus microagregados. Essa dificuldade de dispersão é atribuída ao teor e à mineralogia da fração argila, principais fatores que influenciam essa característica (Seta & Karathanais, 1996; Ferreira et al., 1999).

Entre os solos mais oxidicos, o FX e o LV apresentaram os menores valores médios de ADA com os teores de 0,231 e 0,161 kg kg^{-1} , respectivamente. Ambos apresentam os menores teores de caulinita e os maiores teores de gibbsita entre os solos estudados (Quadro 3), verificando-se a dificuldade de dispersão de solos mais gibbsíticos, em consequência da grande estabilidade de seus microagregados. Silva et al. (1998), Ferreira et al. (1999) e Vitorino et al. (2003) também consideraram a gibbsita como o principal agente de agregação de Latossolos. No solo LV é destacada a contribuição aditiva da hematita para a estabilidade apontada.

Os teores de ADA dos solos estudados apresentaram, em geral, valores diferenciados em resposta aos tratamentos aplicados (Quadros 5 e 7). A ausência de dispersante químico na determinação da ADA levaria à suposição que, independentemente do método de dispersão física, os resultados deveriam ser semelhantes. Isso, supondo-se que o teor de ADA respondesse, exclusivamente,

Quadro 7. Contrastes ortogonais médios comparando a argila dispersa em água, considerando o tipo de agitação (C1 e C2) e a energia de agitação ultrassônica (C3 e C4) para cada solo estudado

Agitação	Volume Suspensão	Energia Agitação	C1	C2	C3	C4
	mL	J mL ⁻¹				
Rápida			8	0	0	0
Lenta	50		-1	3	0	0
	100		-1	3	0	0
	200		-1	3	0	0
	300		-1	3	0	0
	400		-1	3	0	0
Ultrassônica		55	-1	-5	2	0
		110	-1	-5	-1	1
		220	-1	-5	-1	-1
Argila Dispersa em Água (kg kg⁻¹)						
	LA		-0,256*	-0,097*	-0,101*	-0,115*
	FX		-0,191*	-0,042*	-0,190*	-0,085*
	LVA		-0,361*	-0,081*	-0,276*	-0,077*
	LV		-0,090*	-0,183*	-0,118* ^{1/}	...

*: significativo a 5% pelo teste F. ^{1/} Contraste analisado: US55 – US110. ... : não determinado.

à natureza e proporção de cátions do complexo de troca. Essa contradição, evidenciada pelos dados experimentais confirmam a importância da energia utilizada na dispersão das amostras do solo. Nesse contexto, também deve ser levado em consideração o tempo de aplicação dessa energia, nos diversos dispersores utilizados.

Ao longo dos anos tem sido utilizada a dispersão rápida, com agitadores específicos trabalhando a 12.000 rpm, durante 15 min, na determinação da ADA. Com isso, o método tem sido considerado, praticamente, como referência. Mais recentemente foi comprovada a efetividade da dispersão lenta na análise granulométrica (com acréscimo de dispersante químico) de solos característicos de regiões tropicais e úmidas, com ênfase em Latossolos. Ruiz (2005a) propôs a

utilização de agitador rotatório tipo Wagner, com velocidade de 50 rpm, durante 16 h. A dispersão ultrassônica tem sido testada também ao longo dos anos, com propósitos mais acadêmicos que de aplicação numa rotina de laboratório, pelo desgaste dos sensores e o tempo demandado nas determinações de número elevado de amostras.

Comparando as formas de dispersão física verifica-se, pelos teores de ADA, a superioridade da agitação lenta e ultrassônica sobre a agitação rápida, em promover maior dispersão nos quatro solos. Embora a força de agitação seja menor no procedimento por agitação lenta, o tempo de agitação influencia de forma significativa nos resultados obtidos. No caso do ultrassom, sugere-se o efeito da cavitação e do turbilhamento (Genrich & Bremner, 1972).

Na comparação entre agitação lenta e ultrassom, este último promoveu maior dispersão (Quadros 5 e 7). Em acréscimo, com o incremento da energia, a sonda ultrassônica promoveu maior dispersão em amostras de todos os solos (Quadros 5 e 7). Segundo Gregorich et al. (1988), a argila dispersa, a baixos níveis de energia, provém de material que liga microagregados entre si, formando macroagregados, enquanto microagregados somente são destruídos a altos níveis de energia, fato também comprovado por Eriksen et al. (1995).

Na agitação lenta utilizaram-se recipientes de 500 mL, com volume de suspensão variando entre 50 e 400 mL. Os valores dos teores de ADA, para cada solo, foram relacionados com o volume de suspensão por meio de equações de regressão. As curvas correspondentes são mostradas na figura 2, observando-se resposta linear para LA e LVA e quadrática para o FX. Em todos os casos, houve diminuição da ADA com o incremento do volume de suspensão no recipiente, sendo, essas diferenças associadas ao maior atrito entre os agregados e partículas nos menores volumes de suspensão. Os valores de ADA obtidos pelo uso de agitação lenta com o volume de suspensão de 400 mL são semelhantes aos determinados com agitação rápida, método tradicionalmente usado para esta análise (Quadro 5). Estes resultados corroboram com o estudo preliminar realizado no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (Figura 1).

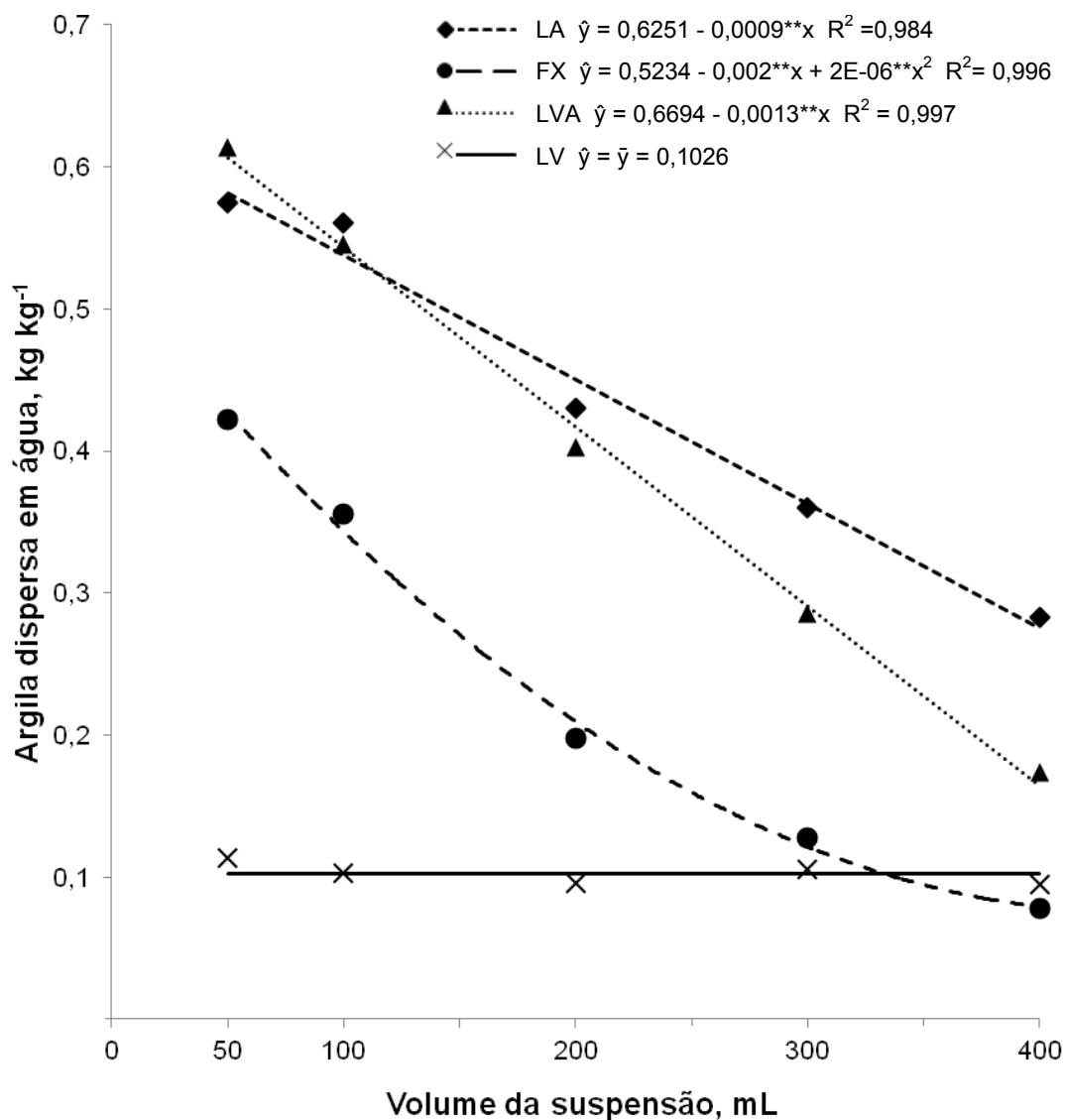


Figura 2. Relação entre a argila dispersa em água (ADA) e o volume de suspensão quando utilizada agitação lenta na dispersão dos solos estudados. **: significativo a 1% pelo teste t.

A ADA no LV, mais hematítico, não sofreu alterações com o volume da suspensão. O efeito cimentante dos óxidos de Fe, principalmente da hematita, neste solo, que dificulta a dispersão das amostras na análise granulométrica, foi mostrado por Donagemma et al. (2003). Assim, pode considerar-se que os solos mais ricos em óxidos e hidróxidos estabelecem interações fortes com a caulinita, por meio da neutralização de cargas, possibilitando a formação de agregados mais estáveis (Rodrigues Netto, 1996).

O índice de dispersão (ID) definido pela relação entre a ADA (Quadro 5) e a argila total (Quadro 2) é uma forma adequada de comparar solos com diferentes texturas e mineralogias. No quadro 8 são apresentados os resultados dos ID calculados para os diferentes métodos de dispersão física avaliados e para os diferentes solos estudados. Obviamente o ID acompanhará os valores calculados para cada solo, com a vantagem de apresentar valor unitário, na hipótese que a ADA fosse igual à argila total. O uso do ID permite mostrar maior dispersão no solo mais caulínítico, e ID superior no solo gibbsítico, frente aqueles mais ricos em óxidos de ferro, resultado atribuído à maior capacidade de cimentação dos óxidos de ferro (Quadro 9).

Quadro 8. Índice de dispersão, considerando o solo, o tipo de agitação e as alternativas estudadas no uso de agitação lenta e ultrassônica

Agitação	Volume Suspensão	Energia Agitação	LA	FX	LVA	LV
	mL	J mL ⁻¹				
Rápida			0,338	0,127	0,103	0,159
Lenta	50		0,877	0,875	0,858	0,222
	100		0,855	0,737	0,763	0,202
	200		0,656	0,410	0,562	0,188
	300		0,549	0,265	0,399	0,207
	400		0,432	0,161	0,243	0,185
Ultrassônica		55	0,719	0,314	0,421	0,588
		110	0,785	0,619	0,753	0,821
		220	0,960	0,796	0,861	...
Média Agitação Lenta			0,674	0,490	0,565	0,201
Média Agitação Ultrassônica			0,821	0,576	0,678	0,705
Média Geral			0,686	0,478	0,551	0,322

... : não determinado.

Quadro 9. Contrastes ortogonais médios comparando o índice de dispersão nos solos estudados

Contraste	Valor
3 LA – FX – LVA – LV	0,236*
2 FX – LVA – LV	0,042*
LVA – LV	0,229*

*: significativo a 5% pelo teste F.

Na comparação dos métodos de dispersão física, para cada solo, em todos os casos a dispersão rápida levou a resultados menores de ID frente à agitação lenta e ultrassônica (Quadro 10). Também o uso de ultrassom respondeu por maiores ID (Quadro 10). As diferenças apontadas já foram discutidas para ADA. Da mesma forma, houve incremento no ID com a diminuição do volume de suspensão no recipiente, na agitação lenta (Figura 3) e com o incremento de energia quando usado o ultrassom (Quadro 10).

A partir dos valores apresentados no quadro 8 pode ser calculada a amplitude de ID para dispersão lenta, de cada um dos solos estudados. Os valores resultantes são 0,445, 0,714, 0,615 e 0,037 para LA, FX, LVA e LV, respectivamente. O LV não respondeu ao volume de suspensão (Figura 3) e os valores dos três solos restantes poderiam levar à suposição que o material mais caulínico, LA, sofreria menos alterações que os dois mais oxídicos, FX e LVA. Na realidade, a amplitude menor responde ao maior valor determinado com 400 mL de suspensão, valor mínimo, de 0,432, 0,161 e 0,243 para LA, FX e LVA, respectivamente. Os valores do ID dos três solos somente se aproximam na determinação com 50 mL de suspensão. Nos volumes intermediário, o ID do LA é sempre superior aos do FX e LVA.

Realizando o mesmo exercício com os ID determinados após dispersão com ultrassom, para as energias de 55 e 110 J mL⁻¹, reitera-se a observação realizada na utilização de agitação lenta. As amplitudes foram de 0,066, 0,305, 0,332 e 0,233 para LA, FX, LVA e LV, respectivamente (Quadro 8). Neste caso,

os valores correspondentes a menor energia foram de 0,719, 0,314, 0,421 e 0,588 para LA, FX, LVA e LV, respectivamente. Nesta comparação não foi utilizada a energia de 220 J mL⁻¹ por não contar com esse dado para o LV. Porém, nos três solos restantes, se incluída a energia de 220 J mL⁻¹ a constatação é semelhante (Quadro 8).

Quadro 10. Contrastes ortogonais médios comparando o índice de dispersão, em (kg kg⁻¹)/(kg kg⁻¹), considerando o tipo de agitação (C1 e C2) e a energia de agitação ultrassônica (C3 e C4) para cada solo estudado

Agitação	Volume Suspensão	Energia Agitação	C1	C2	C3	C4
	mL	J mL ⁻¹				
Rápida			8	0	0	0
Lenta	50		-1	3	0	0
	100		-1	3	0	0
	200		-1	3	0	0
	300		-1	3	0	0
	400		-1	3	0	0
Ultrassônica		55	-1	-5	2	0
		110	-1	-5	-1	1
		220	-1	-5	-1	-1
Índice de Dispersão						
	LA		-0,391*	-0,147*	-0,154*	-0,176*
	FX		-0,395*	-0,087*	-0,393*	-0,176*
	LVA		-0,504*	-0,113*	-0,386*	-0,108*
	LV		-0,177*	-0,359*	-0,233* ^{1/}	...

*: significativo a 5% pelo teste F. ^{1/} Contraste analisado: US55 – US110. ... : não determinado.

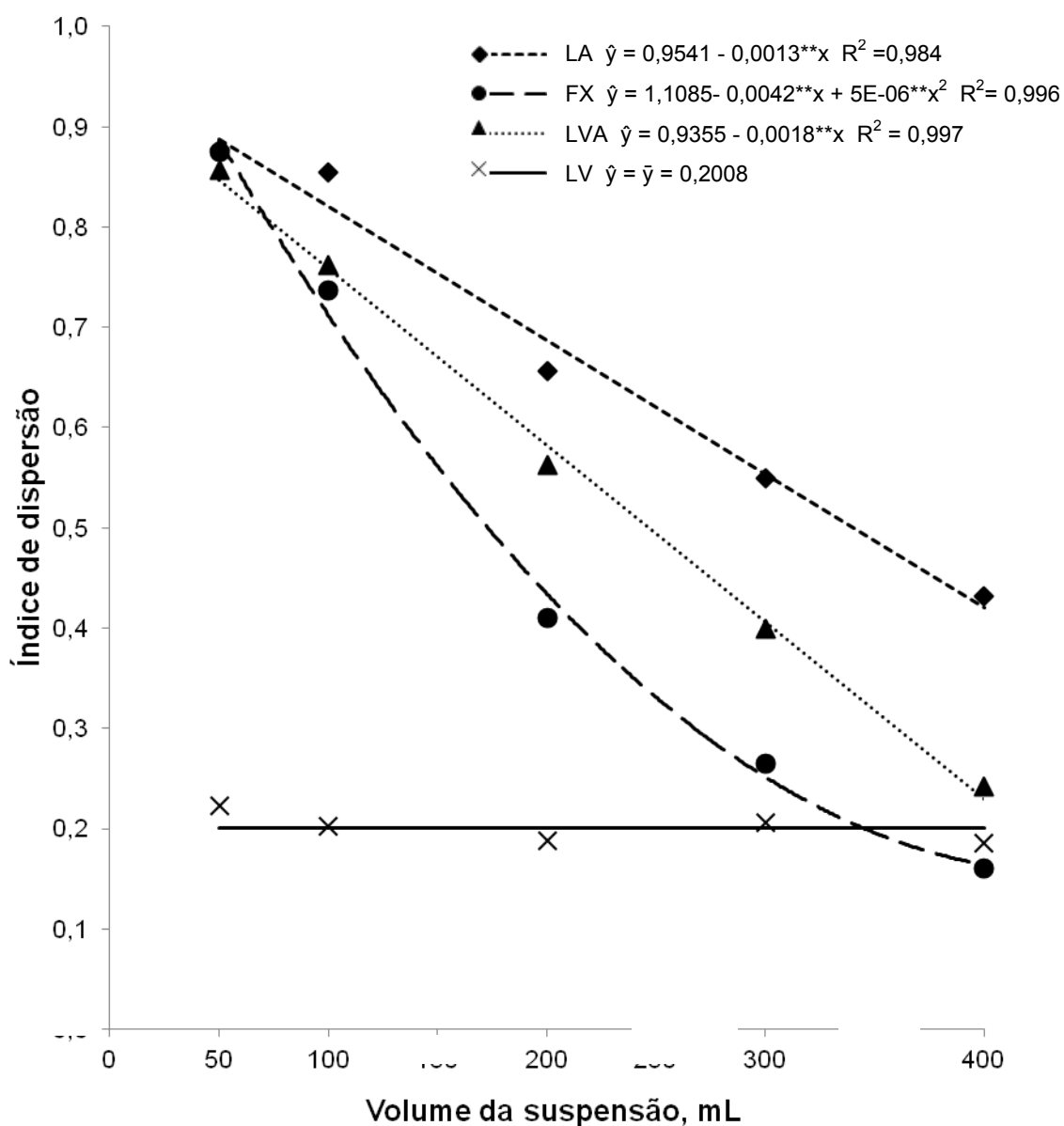


Figura 3. Relação entre o índice de dispersão (ID) e o volume de suspensão quando utilizada agitação lenta na dispersão dos solos estudados. **: significativo a 1% pelo teste t.

4.2. Caracterização Química e Mineralógica da Argila Dispersa em Água

As ADA separadas pelos diferentes métodos de determinação foram caracterizadas química e mineralogicamente, determinando-se o pH, os cátions trocáveis e o P remanescente (Quadro 11) e as proporções de caulinita, gibbsita, hematita e goethita (Quadro 12).

Quadro 11. pH em água, cátions trocáveis e P remanescente, relação 1:50, na argila dispersa em água, considerando o solo, o tipo de agitação e as alternativas estudadas no uso de agitação lenta e ultrassônica

Solo	Agitação	VS ^{2/} mL	EA ^{3/} J mL ⁻¹	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	P-rem mg L ⁻¹
					cmol _c kg ⁻¹					
LA	Rápida			5,66	0,17	0,11	2,30	1,07	0,12	52,8
	Lenta	50		5,58	0,13	0,07	2,24	0,91	0,12	50,8
		100		4,82	0,12	0,07	2,33	0,94	0,36	52,7
		200		4,71	0,16	0,11	2,40	1,07	0,36	53,1
		300		3,47	0,17	0,13	2,42	1,08	0,33	54,7
		400		5,85	0,31	0,31	2,88	1,28	0,12	54,9
	US ^{1/}		55	5,97	0,14	1,45	2,31	0,94	0,20	52,0
			110	6,25	0,16	0,73	2,32	0,95	0,12	51,5
			220	5,75	0,14	0,21	2,25	0,92	0,12	51,7
FX	Rápida			4,06	0,13	0,36	0,17	0,03	0,37	28,5
	Lenta	50		5,79	0,05	0,08	0,43	0,09	0,12	15,9
		100		5,34	0,06	0,09	0,64	0,12	0,12	22,8
		200		5,38	0,12	0,13	0,75	0,15	0,25	23,3
		300		5,32	0,13	0,21	0,83	0,24	0,24	24,7
		400		5,70	0,19	0,76	1,19	0,29	0,23	24,4
	US ^{1/}		55	6,90	0,20	4,77	0,28	0,03	0,12	20,7
			110	5,93	0,18	1,21	0,50	0,08	0,20	18,9
			220	6,18	0,13	0,63	0,42	0,06	0,12	16,3
LVA	Rápida			4,70	0,22	0,29	0,11	0,25	1,01	37,3
	Lenta	50		4,88	0,08	0,10	0,02	0,11	1,09	24,7
		100		4,37	0,09	0,14	0,03	0,21	1,82	33,5
		200		4,26	0,11	0,16	0,04	0,22	1,90	35,2
		300		4,25	0,13	0,18	0,07	0,23	1,90	35,0
		400		4,89	0,18	0,20	0,15	0,34	0,61	38,4
	US ^{1/}		55	5,10	0,23	1,54	0,02	0,10	0,85	27,2
			110	5,09	0,10	0,94	0,02	0,10	1,01	27,1
			220	5,00	0,12	0,29	0,00	0,09	0,93	25,3
LV	Rápida			4,76	0,66	0,17	0,85	0,49	0,88	35,7
	Lenta	50		4,49	0,87	0,27	1,00	0,59	0,77	34,4
		100		5,11	0,59	0,11	0,82	0,50	0,36	33,7
		200		4,84	0,72	0,23	0,86	0,52	0,63	36,3
		300		4,97	0,71	0,25	0,94	0,57	0,36	34,6
		400		5,00	0,76	0,19	0,89	0,59	0,36	33,3
	US ^{1/}		55	5,70	0,31	1,34	0,75	0,44	0,12	30,3
			110	5,42	0,36	0,65	1,09	0,51	0,20	30,0
				...	...	...	...	...	...	...

^{1/}Agitação ultrassônica. ^{2/}Volume da suspensão. ^{3/}Energia de agitação. ... : não determinado.

Quadro 12. Teor de caulinita (Ct), gibbsita (Gb), hematita (Hm) e goethita (Gt) na argila dispersa em água, considerando o solo, o tipo de agitação e as alternativas estudadas no uso de agitação lenta e ultrassônica

Solo	Agitação	VS ^{1/}	EA ^{2/}	Ct	Gb	Hm	Gt
		mL	J mL ⁻¹	kg kg ⁻¹			
LA	Rápida			0,965	0,000	0,000	0,035
		50		0,964	0,000	0,000	0,036
		100		0,966	0,000	0,000	0,034
		200		0,963	0,000	0,000	0,037
		300		0,965	0,000	0,000	0,035
		400		0,966	0,000	0,000	0,034
	Ultrassônica		55	0,964	0,000	0,000	0,036
			110	0,965	0,000	0,000	0,035
			220	0,964	0,000	0,000	0,036
FX	Rápida			0,567	0,403	0,000	0,030
		50		0,546	0,431	0,000	0,024
		100		0,509	0,468	0,000	0,023
		200		0,541	0,436	0,000	0,024
		300		0,558	0,420	0,000	0,023
		400		0,553	0,424	0,000	0,023
	Ultrassônica		55	0,520	0,460	0,000	0,020
			110	0,563	0,415	0,000	0,022
			220	0,561	0,417	0,000	0,022
LVA	Rápida			0,777	0,084	0,036	0,103
		50		0,783	0,079	0,036	0,102
		100		0,786	0,080	0,035	0,100
		200		0,792	0,074	0,035	0,100
		300		0,789	0,078	0,035	0,099
		400		0,792	0,072	0,035	0,100
	Ultrassônica		55	0,793	0,071	0,035	0,101
			110	0,781	0,083	0,035	0,101
			220	0,785	0,076	0,036	0,103
LV	Rápida			0,700	0,130	0,098	0,072
		50		0,704	0,126	0,098	0,072
		100		0,719	0,112	0,097	0,072
		200		0,721	0,111	0,096	0,071
		300		0,703	0,130	0,097	0,072
		400		0,715	0,117	0,097	0,072
	Ultrassônica		55	0,696	0,140	0,095	0,070
			110	0,703	0,134	0,094	0,070
			220	...	...	...	...

^{1/}Volume da suspensão. ^{2/}Energia de agitação. ... : não determinado.

Em geral, observam-se poucas variações nessas características, independentemente do tipo de agitação, do volume de suspensão na agitação lenta e da energia aplicada, na agitação ultrassônica. Considerando a dispersão por agitação lenta a de maior importância, por ser método que permite analisar simultaneamente elevado número de amostras, calcularam-se coeficientes de correlação linear simples relacionando a ADA (Quadro 5) com todas as características listadas nos quadros 11 e 12. Os resultados são apresentados no quadro 13. Nessas correlações trabalhou-se com significância de 10% pelo teste t, levando em consideração que o número restrito de médias sugeria reduzir as exigências na análise.

Considerando os solos LA, FX e LVA verifica-se, em geral, correlação significativa e negativa entre a ADA e os cátions trocáveis (Quadro 13). Caso a formação de ADA, nestes casos, correspondesse à maior disponibilidade de cátions,

Quadro 13. Coeficiente de correlação linear simples entre o teor de argila dispersa em água, determinada por agitação lenta, e características químicas e mineralógicas dessas argilas, para cada solo estudado (n=5)

Característica	LA	FX	LVA	LV
pH	0,123	0,209	0,007	-0,649
K ⁺ trocável	-0,862 [#]	-0,961 [#]	-0,963 [#]	0,429
Na ⁺ trocável	-0,863 [#]	-0,722 [#]	-0,969 [#]	0,390
Ca ²⁺ trocável	-0,856 [#]	-0,915 [#]	-0,905 [#]	0,715 [#]
Mg ²⁺ trocável	-0,958 [#]	-0,940 [#]	-0,913 [#]	0,295
Al ³⁺ trocável	0,133	-0,907 [#]	0,273	0,487
P remanescente	-0,914 [#]	-0,825 [#]	-0,844 [#]	-0,112
Teor de caulinita	-0,284	-0,584	-0,870 [#]	-0,735 [#]
Teor de gibbsita	0	0,573	0,765 [#]	0,672 [#]
Teor de hematita	0	0	0,559	0,879 [#]
Teor de goethita	0,282	0,643	0,561	0,877 [#]

[#]: significativo a 10% pelo teste t.

essas correlações deveriam ser positivas e não negativas. Ao menos, a correlação com Na^+ exigiria essa resposta, pois é considerado o cátion de maior capacidade de dispersão. Com relação a mineralogia, ainda que exista diferença estatística, os dados não indicam diferença prática. Independentemente disto, o valor negativo do coeficiente de correlação linear para caulinita e valor positivo do mesmo coeficiente para gibbsita indicam que com o incremento da ADA com o aumento da energia de dispersão (por diminuição do volume de suspensão), maiores proporções de óxidos são liberados, com redução dos teores relativos de caulinita. Considerando que a caulinita é o mineral com maior capacidade de troca catiônica entre os estudados, a correlação negativa com a caulinita encontra-se em concordância com o mesmo sinal observado nos coeficientes de correlação dos cátions trocáveis.

Em acréscimo, a correlação negativa entre ADA e P remanescente (Quadro 13) reforça a suposição de que o incremento na proporção de ADA com a diminuição do volume de suspensão responde à liberação de óxidos oclusos em microagregados. Caracteristicamente, a superfície específica dos óxidos, principalmente de ferro, é maior que a superfície específica da caulinita. Por outra parte, maior é também a afinidade dos fosfatos pelos óxidos, frente a caulinita, argila silicatada do tipo 1:1.

O solo LV, com resposta muito reduzida ao volume de suspensão na agitação lenta, mostrou também redução do teor de caulinita e incremento do teor dos óxidos com o aumento da ADA, como mostrado pelos respectivos coeficientes de correlação linear, negativo no primeiro caso e positivos para os três óxidos em estudo.

Nos quatro solos estudados, propositalmente com baixo sódio trocável (Quadro 2), mineralogia contrastante (Quadro 3) e alto teor de argila (Quadro 2) observou-se que o teor de ADA não responde, exclusivamente, aos cátions presentes no complexo de troca. Os solos característicos de regiões tropicais e úmidas, em geral, apresentam microagregados de difícil dispersão, quando constituídos por proporção importante de óxidos de ferro e alumínio. Nesse caso,

a determinação de argila dispersa em água deve levar em consideração o propósito dessa análise. Foi comprovado que a declividade do terreno, quando associada à erosão hídrica, tem importância fundamental na liberação de argilas dispersas em água, favorecendo a erodibilidade (Lima & Andrade, 2001). Nesse caso, determinações da ADA visando pesquisas em terrenos planos a suave-ondulados, não deveriam ser realizadas nas mesmas condições que pesquisas orientadas ao estudo de problemas em terrenos com declividade acentuada. O pesquisador, em cada caso, deveria indicar, se realizada a análise por agitação lenta, qual o volume de suspensão apropriado para seu objetivo. No futuro seria de interesse correlacionar o volume de suspensão na determinação em laboratório com as condições do terreno no trabalho a campo.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados experimentais pode concluir-se que:

- A mineralogia dos solos determinou a proporção de argila dispersa em água (ADA), sendo a presença de caulinita mais favorecedora da dispersão do que os óxidos de Fe e Al.
- A dispersão por agitação lenta (AL) e por ultrassom (US) levaram a maiores valores de ADA, quando comparadas à dispersão por agitação rápida (AR).
- O aumento da energia no sistema, proporcionado pela diminuição do volume de suspensão na AL e pelo incremento na energia de sonificação no US, favorece a desagregação da amostra e proporciona a obtenção de maior teor de ADA e, consequentemente, aumento do ID para solos argilosos.
- Considerando o uso tradicional de AR, valores semelhantes de ADA são obtidos pelo uso de AL como volume de suspensão de 400 mL, em recipientes de 500 mL.
- O teor de ADA obtidos em laboratório para solos característicos das regiões tropicais e úmidas depende da energia utilizada na dispersão física. O incremento de energia leva ao incremento da ADA, com possível liberação de maiores proporções de óxidos de ferro e alumínio, em detrimento da proporção de caulinita na fração argila.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- ARORA, H.S. & COLEMAN, N.T. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. Soil Sci., 127:134-139, 1979.
- BERTSCH, P.M. & SEAMAN, J.C. Characterization of complex mineral assemblages: implications for contaminant transport and environmental remediation. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 96:3350-3357, 1999.
- BRUBAKER, S.C.; HOLZHEY, C.S. & BRASHER, B.R. Estimating the water-dispersible clay content of soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:1227-1232, 1992.
- CAROLINO DE SÁ, M.A. Quantificação da energia para dispersão dos agregados de Latossolo Roxo e Terra Roxa Estruturada. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 1998. 92p. (Dissertação de Mestrado)
- CAROLINO DE SÁ, M.A. Energia ultra-sônica: uso e erodibilidade de solos. Lavras, MG, Universidade Federal de Lavras, 2002. 95p. (Tese de Doutorado)
- CAROLINO DE SÁ, M.A.; LIMA, J.M. & LAGE, G. Procedimento padrão para medida da potência liberada pelo aparelho de ultra-som. Ciênc. agrotec., 24: 300-306, 2000.

- CHRISTENSEN, B.T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish Arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agric. Scand.*, 35:175-187, 1985.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Sci.*, 20:2-76, 1992.
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:311-327, 2003.
- DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. & SCHAEFFER, C.E.G.R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:765-772, 2003.
- DONTSOVA, K.M.; HAYES, C.; PENNINGTON, J.C. & PORTER, B. Sorption of high explosives to water-dispersible clay: influence of organic carbon, aluminosilicate clay, and extractable iron. *J. Environ. Qual.* 38:1458–1465, 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1979. 247p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- ERIKSEN, J.; LEFROY, R.D.B. & BLAIR, G.J. Physical protection of soil organic S studied using acetylacetone extraction at various intensities of ultrasonic dispersion. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1005-1010, 1995.
- FERNANDES, R.B.A. Atributos mineralógicos, cor, adsorção e dessorção de fosfatos em Latossolos do sudeste brasileiro. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2000. 265p. (Tese de Doutorado)
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- FILGUEIRA, R.R.; RUIZ, H.A.; SCHAEFER, C.E.G.R. & SARLI, G. Specific surface of Oxisols determined by soil-moisture potential. In: *WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE*, 18., 2006. Abstracts. Philadelphia, EUA, International Union of Soil Science, 2006. CD-ROM

- FREIRE, M.B.G.S. Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos no Estado de Pernambuco. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66p. (Tese de Doutorado)
- GENRICH, D.A. & BREMNER, J.M. A reevaluation of ultrasonic vibration method of dispersing soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36:944-947, 1972.
- GILLMAN, G.P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. *Aust. J. Soil Res.*, 12:173-176, 1974.
- GOLDBERG, S., SUAREZ, D.L. & GLAUBIG, R.A. Factors affecting clay dispersion and aggregates stability of arid zone soils. *Soil Sci.*, 146:317-325, 1988.
- GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Carbon mineralization in soil size fractions after various amounts of aggregates disruption. *J. Soil Sci.*, 40:649-659, 1989.
- GREGORICH, E.G.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. *Can. J. Soil Sci.*, 68:395-403, 1988.
- GROHMANN, F. & VAN RAIJ, B. Dispersão mecânica e pré-tratamento para análise granulométrica de Latossolos argilosos. *R. Bras. Ci. Solo*, 1:52-53, 1977.
- HINDS, A.A. & LOWE, L.E. The use of ultrasonic probe in soil dispersion and the bulk isolation of organo-mineral complexes. *Can. J. Soil Sci.*, 60:389-392, 1980.
- KRETZSCHMAR, R., ROBARGE, W.P. & WEED, S.B. Flocculation of kaolinitic soil clays: effects of humic substances and iron oxides. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1277-1287, 1993.
- LIMA, J.M.; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:85-90, 1990.
- LIMA, P.M.P. & ANDRADE, H. Erodibilidade entressulcos e atributos de solos com B textural e B latossólico do sul de Minas Gerais. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:463-474, 2001.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clay by dithionite citrate buffered with sodium bicarbonate. In: NATIONAL

- CONFERENCE ON CLAYS AND CLAY MINERALS, 7., Washington, 1958. Proceedings. New York, EUA, Pergamon Press. 1960, p. 317-327.
- NORTH, P.F. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. *J. Soil Sci.*, 27:451-459, 1976.
- RAINE, S.R. & SO, B. An energy based parameter for the assessment of aggregate bond energy. *J. Soil Sci.*, 44:249-259, 1993.
- RICHARDS, L.A. Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.*, 68:95-112, 1949.
- RODRIGUES NETTO, A. Influência da mineralogia da fração argila sobre propriedades físico-químicas de solos brasileiros. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 144p. (Dissertação de Mestrado)
- RUIZ, H. A. Dispersão física do solo para análise granulométrica por agitação lenta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Anais. Recife, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005a. CD-ROM.
- RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte+argila). *R. Bras. Ci. Solo*, 29:297-300, 2005b.
- SCHAEFER, C.E.G.R. The microestrutura of Brazilian Oxisols as long-term biotic constructs. *Austr. J. Soil Res.*, 39:909-926, 2001.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der eisenoxide des bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd.*, 105:194-202, 1964.
- SETA, A.K. & KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. *Geoderma*, 74:255-266, 1996.
- SILVA, M.L.N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J.M.; MARQUES, J.J.G.S.M. & CARVALHO, A.M. Estabilidade de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:97-103, 1998.
- SUAREZ, D.L., RHOADES, J.D., LAVADO, R. & GRIEVE, C.M. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:50-55, 1984.

- SUMNER, M.E. Sodic soils: new perspectives. In: NAIDU, R.; SUMNER, M.E. & RENGASAMY, P., eds. Australian sodic soils. Distribution, properties and management. Melbourne, CSIRO, 1995. p.1-34.
- TAVARES-FILHO, J. & MAGALHÃES, F.S. Dispersão de amostras de Latossolo Vermelho eutroférico influenciadas por pré-tratamento para oxidação da matéria orgânica e pelo tipo de agitação mecânica. R. Bras. Ci. Solo, 32:1429-1435, 2008.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; CURI, N.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N. & MOTTA, P.E.F. Mineralogia, química e estabilidade de agregados do tamanho de silte de solos da região Sudeste do Brasil. Pesq. Agropec. Bras., 38:133-141, 2003.
- VITORINO, A.C.T.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; SÁ, M.A.C.; LIMA, J.M. & CURI, N. Níveis de energia ultra-sônica na dispersão de argila de solos da região de Lavras (MG). Ciênc. agrotec., 25:1330-1336, 2001.
- WALKLEY, A. & BLACK, I.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci., 37:29-38, 1934.

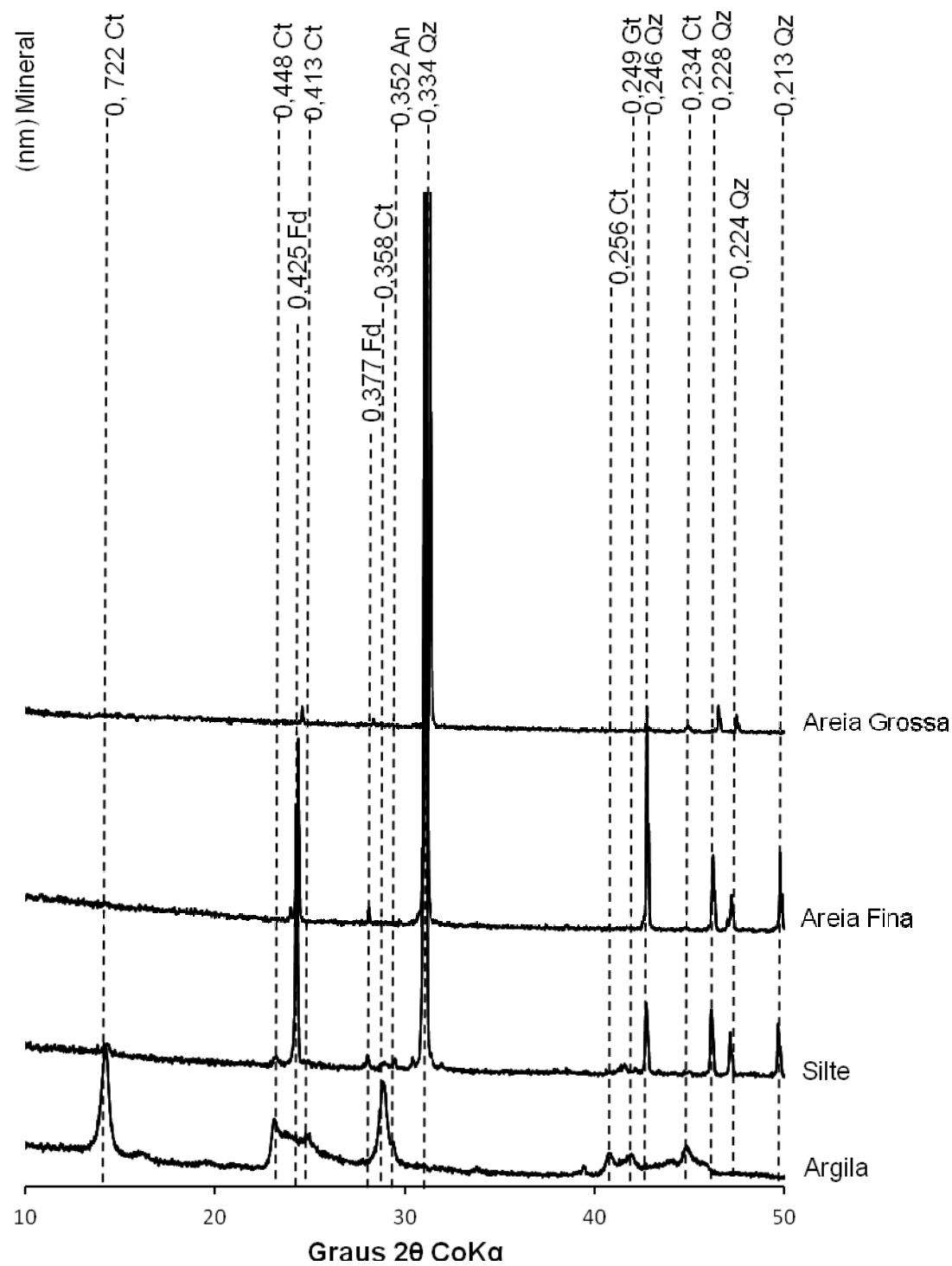
APÊNDICE

APÊNDICE

Quadro 1A. Análise de variância da argila dispersa em água (ADA) e do índice de dispersão (ID), considerando o solo estudado e os tratamentos aplicados a cada solo

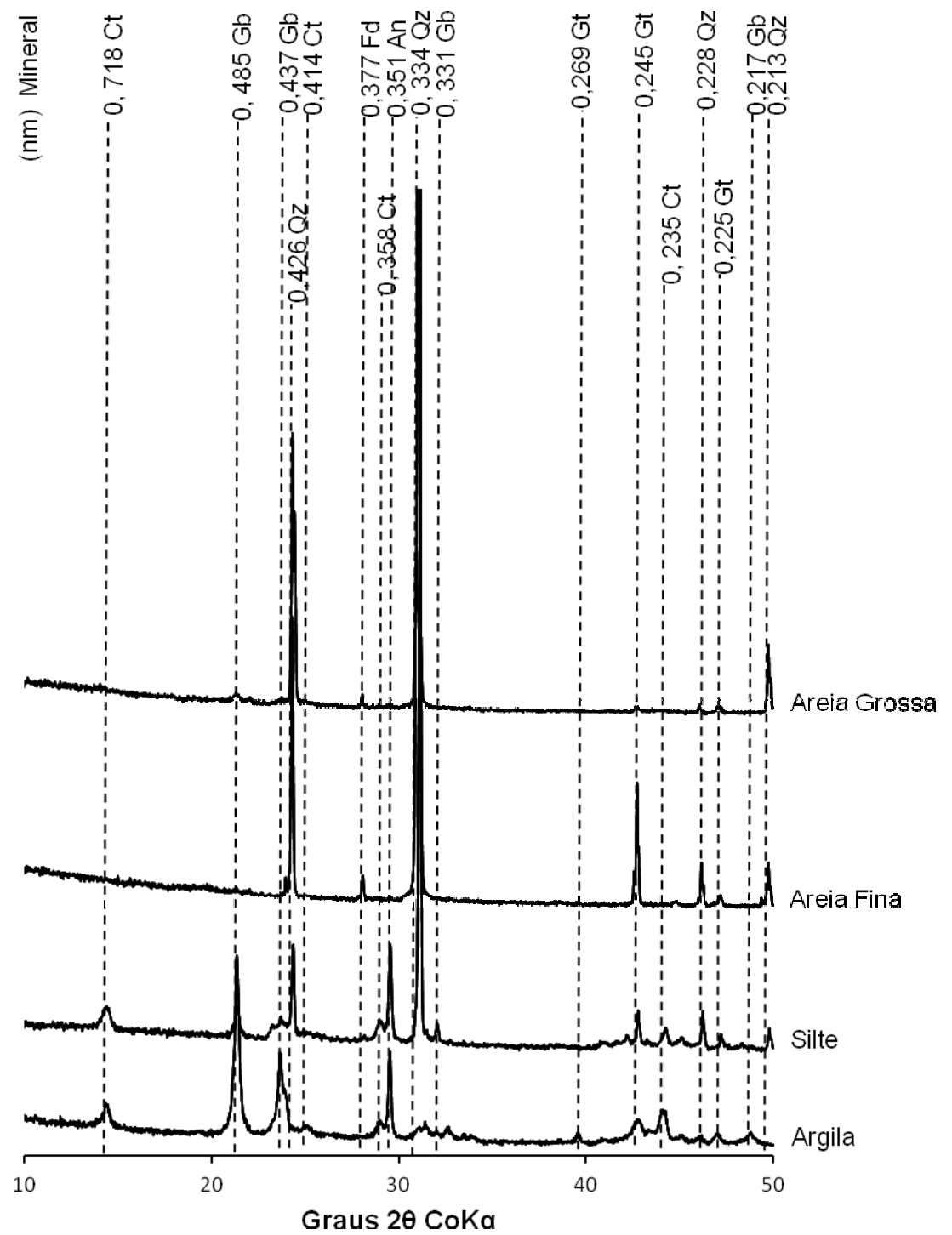
Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		ADA	ID
Blocos	3	0,0010313*	0,0030452*
Solos	3	0,6592727*	0,8552582*
Tratamentos d/LA	8	0,0764080*	0,1779880*
Tratamentos d/FX	8	0,0739229*	0,3179248*
Tratamentos d/LVA	8	0,1565343*	0,3056814*
Tratamentos d/LV	8	0,0552413*	0,2117199*
Resíduo	105	0,0003032	0,0009241
CV (%)		5,64	5,99

*: Significativo a 5% pelo teste F.



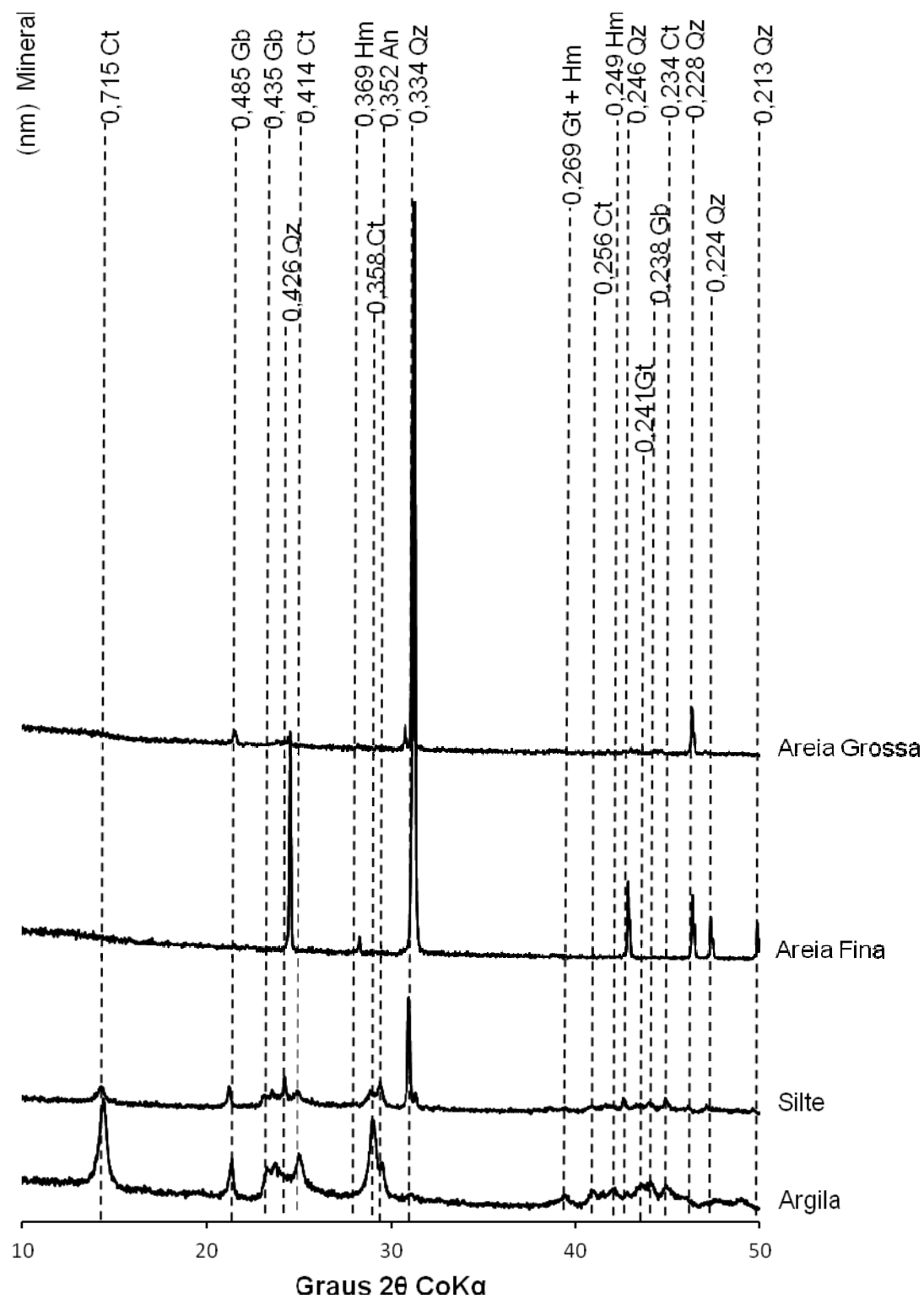
Ct – Caulinita; Fd- Feldspatos; An – Anatásio; Qz – Quartzo; Gt– Goethita

Figura 1A. Difrátogramas das quatro frações texturais do Latossolo Amarelo.



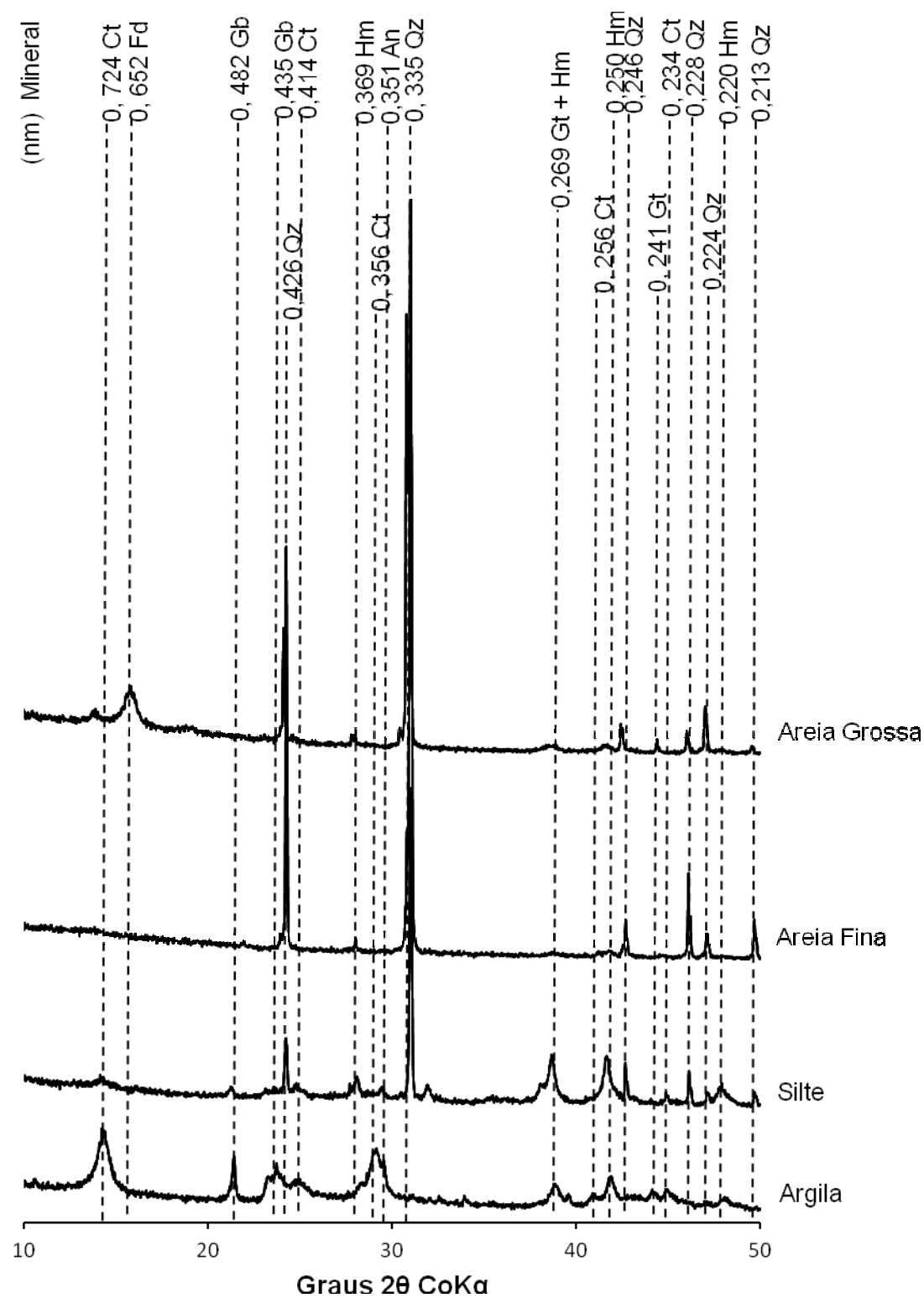
Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; Qz – Quartzo; Gt – Goethita; Fd- Feldspatos; An - Anatásio

Figura 2A. Difrátogramas das quatro frações texturais do Plintossolo Háplico.



Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; Qz – Quartzo; Hm – Hematita; An – Anatásio;
Gt – Goethita

Figura 3A. Difrátogramas das quatro frações texturais Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.



Ct – Caulinita; Fd- Feldspatos; Gb – Gibbsita; Qz – Quartzo; Hm – Hematita;
An – Anatásio; Gt –Goethita

Figura 4A. Difratoigramas das quatro frações texturais do Latossolo Vermelho acriférico.

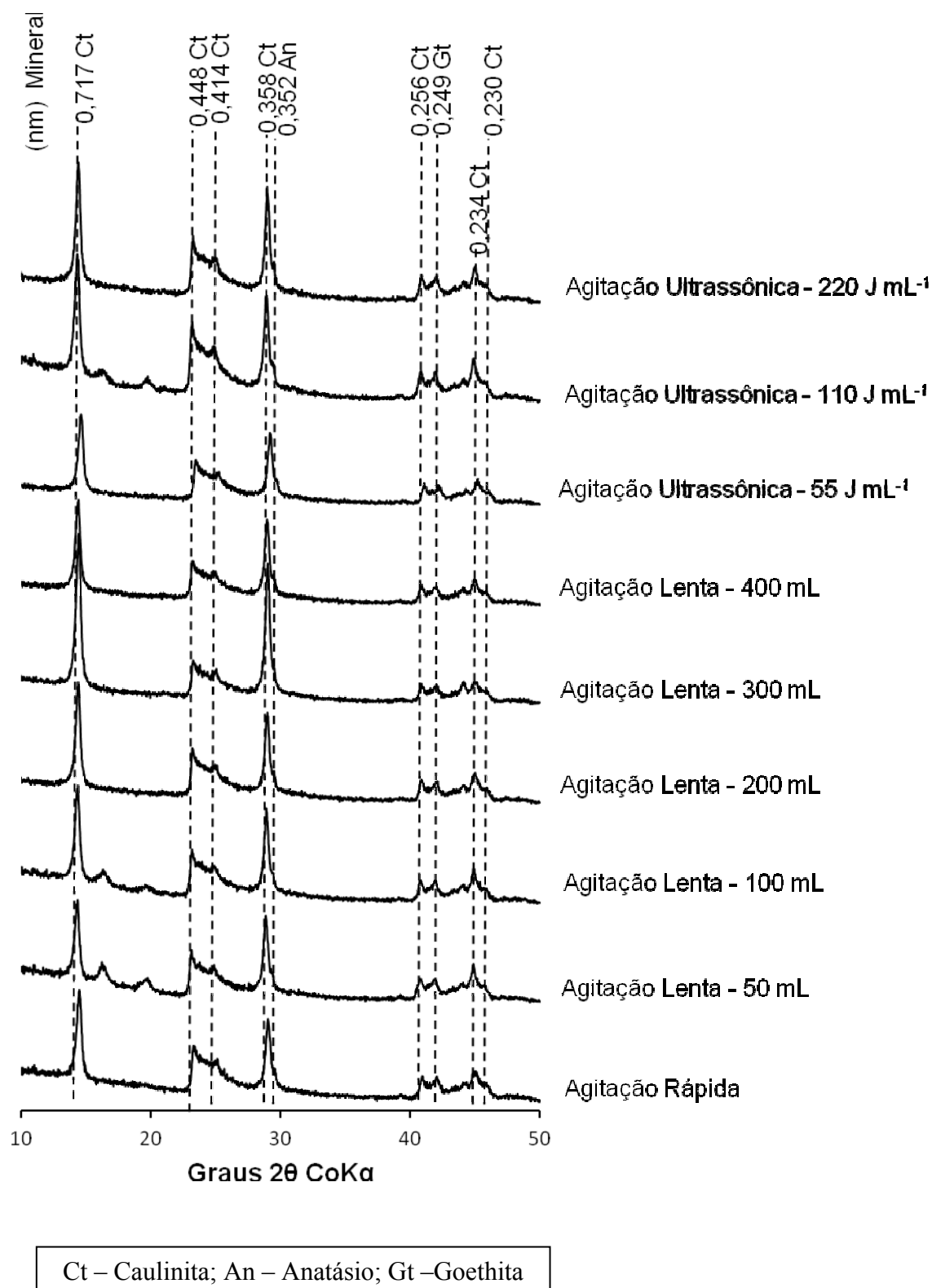
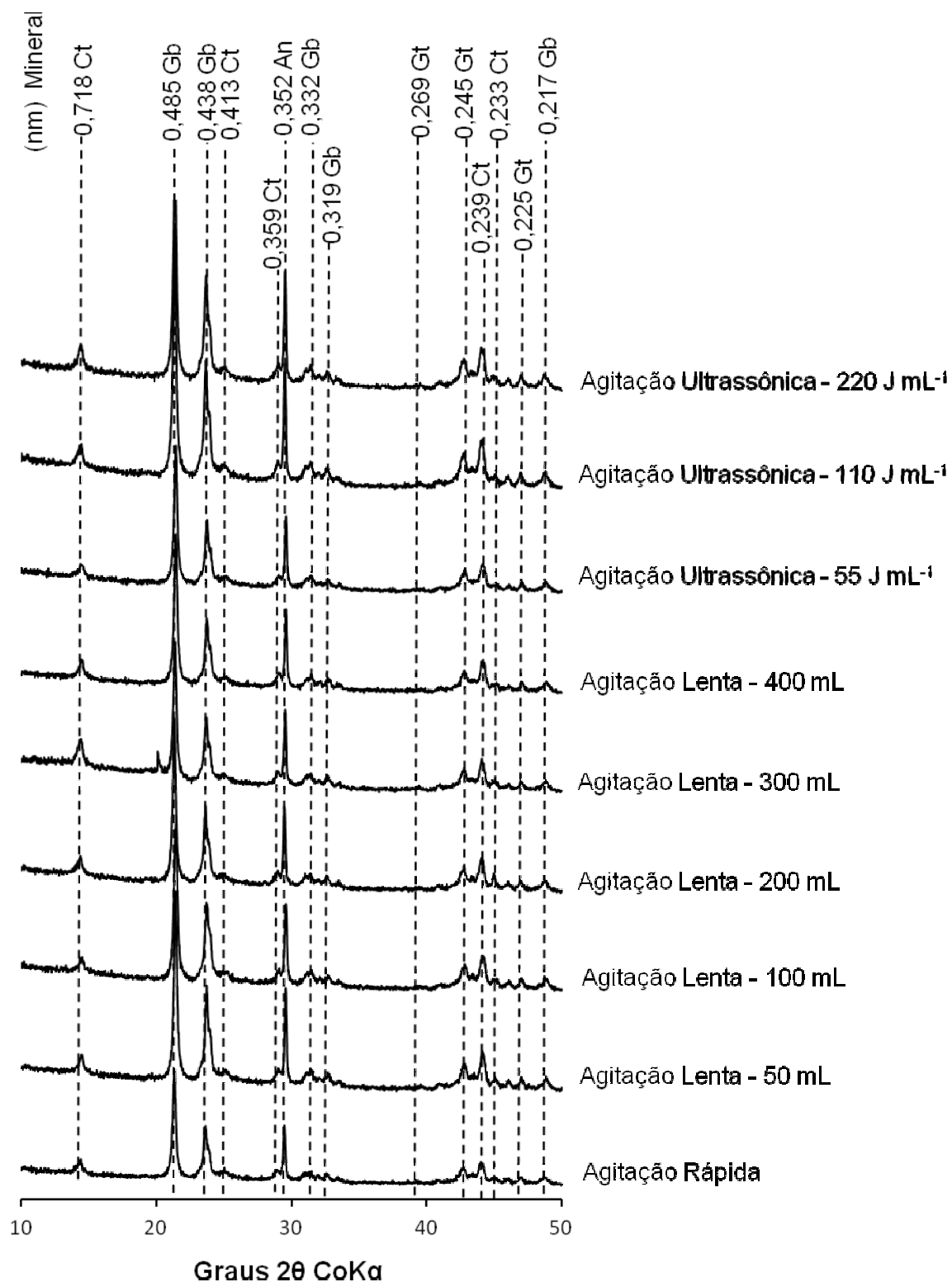
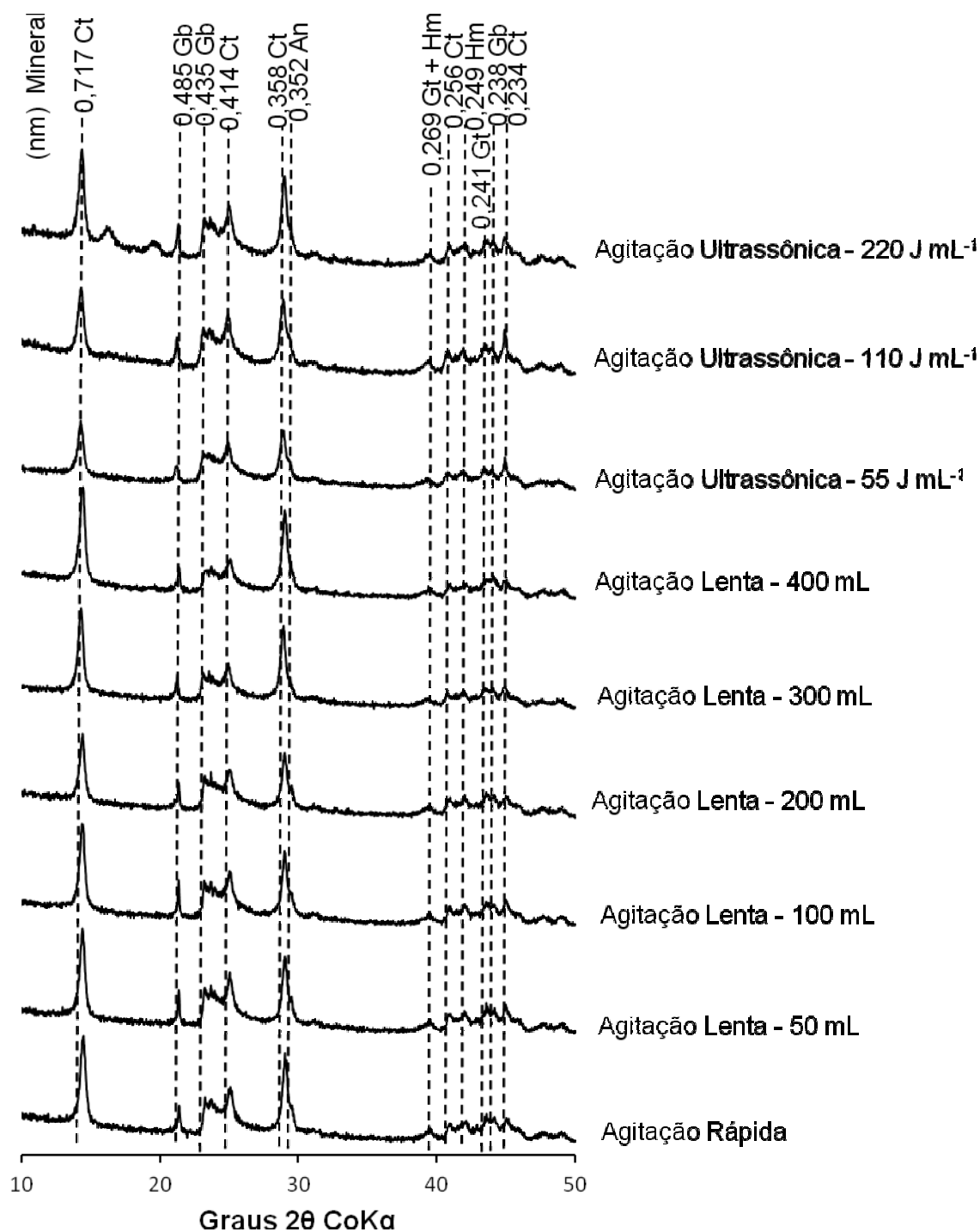


Figura 5A. Difrátogramas da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Amarelo.



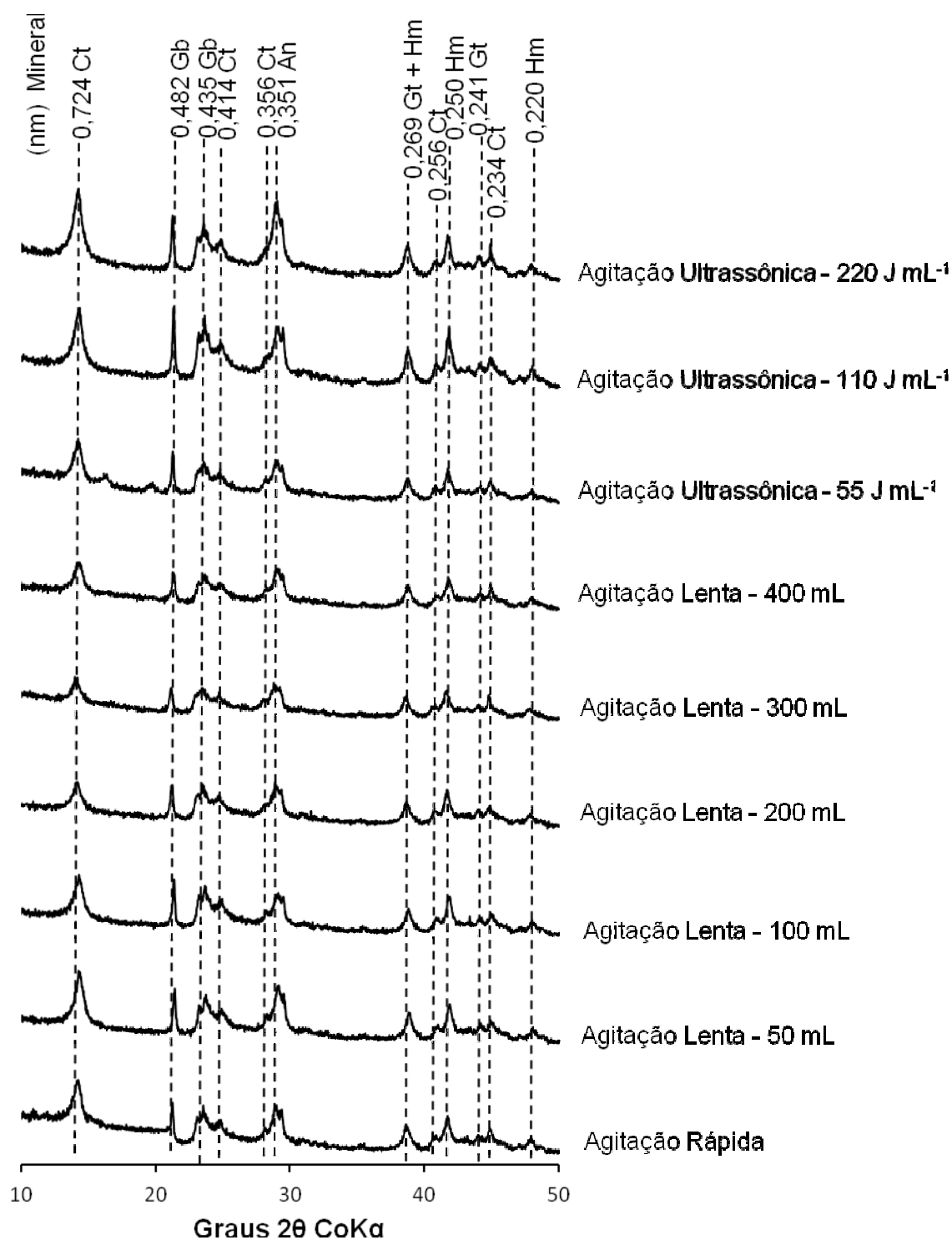
Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; An – Anatásio; Gt – Goethita

Figura 6A. Difrátogramas da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Plintossolo Háplico.



Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; An – Anatásio; Hm – Hematita; Gt – Goethita

Figura 7A. Difrátogramas da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.



Ct – Caulinita; Gb – Gibbsita; An – Anatásio; Hm – Hematita; Gt – Goethita

Figura 8A. Difratomogramas da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Vermelho acriférrico.

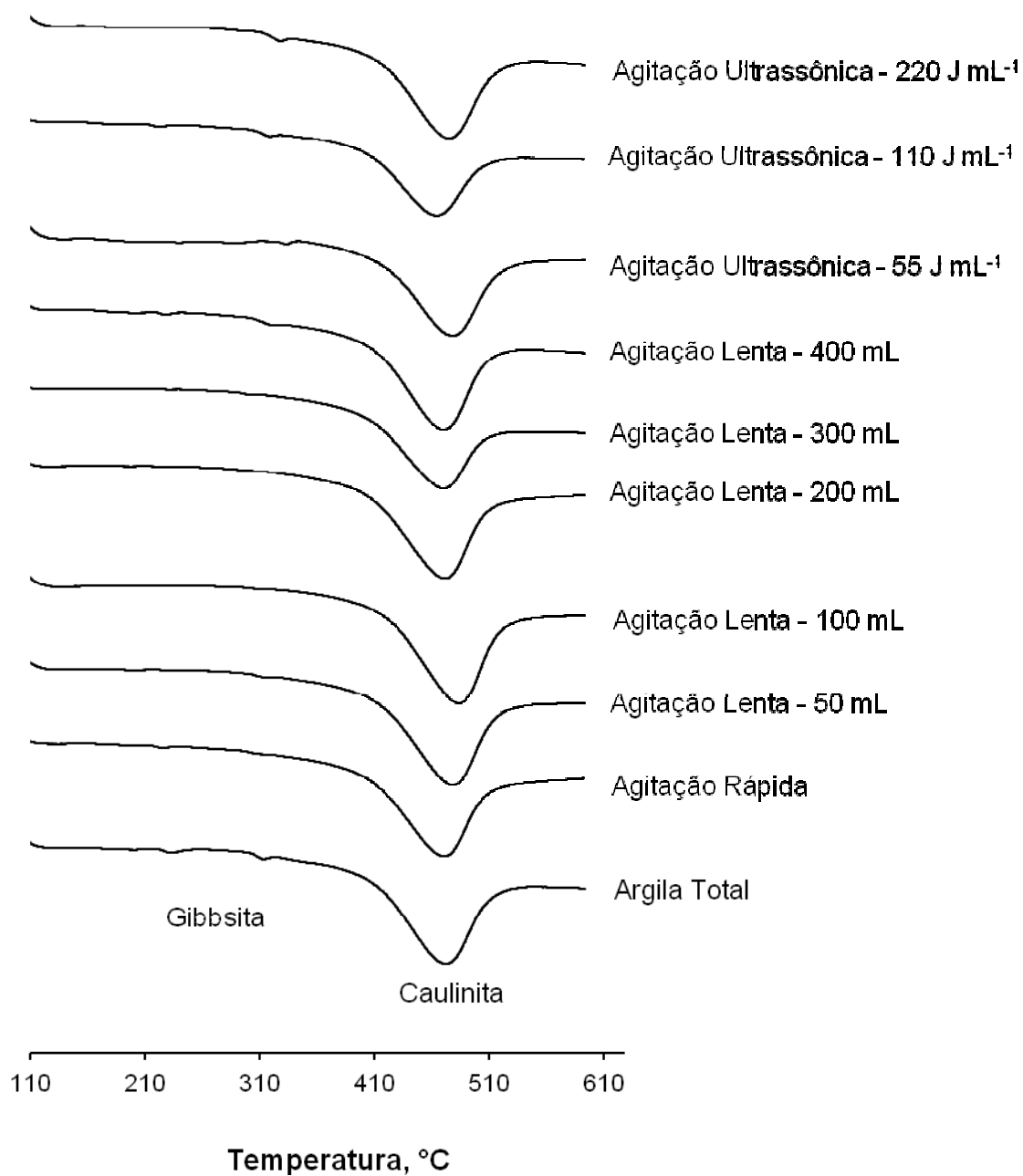


Figura 9A. Termogramas diferenciais da argila total e da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Amarelo.

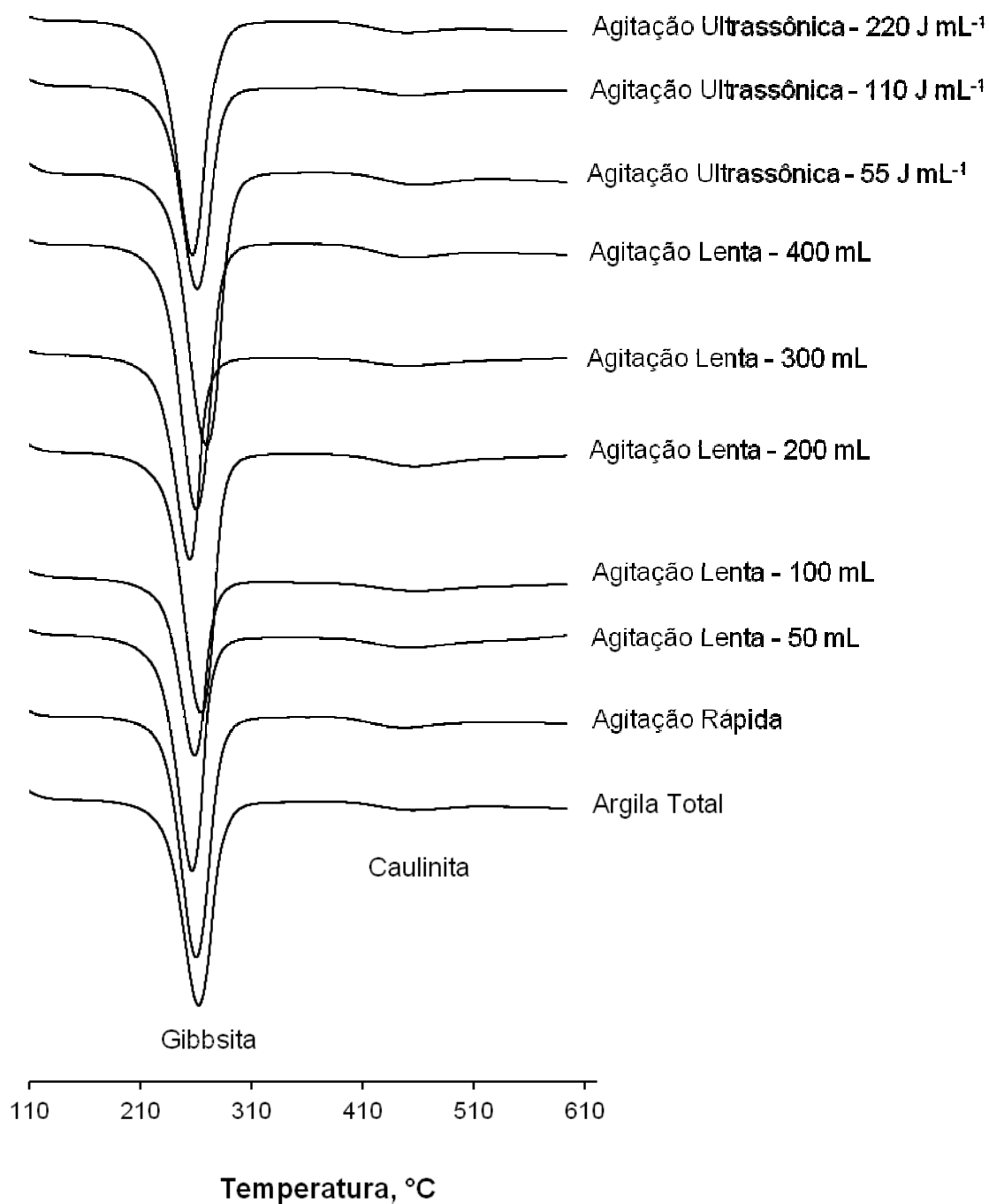


Figura 10A. Termogramas diferenciais da argila total e da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Plintossolo Háplico.

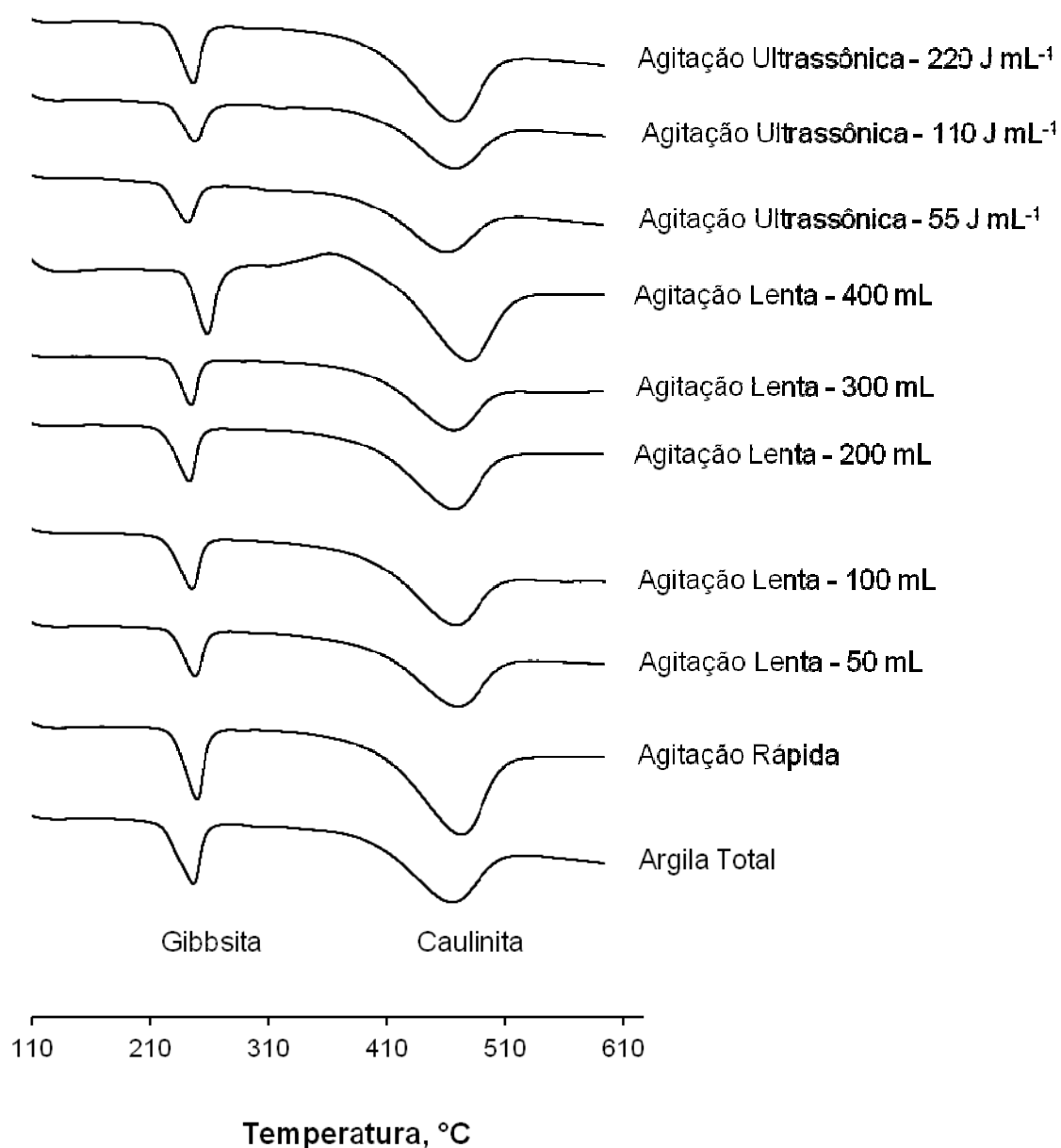


Figura 11A. Termogramas diferenciais da argila total e da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

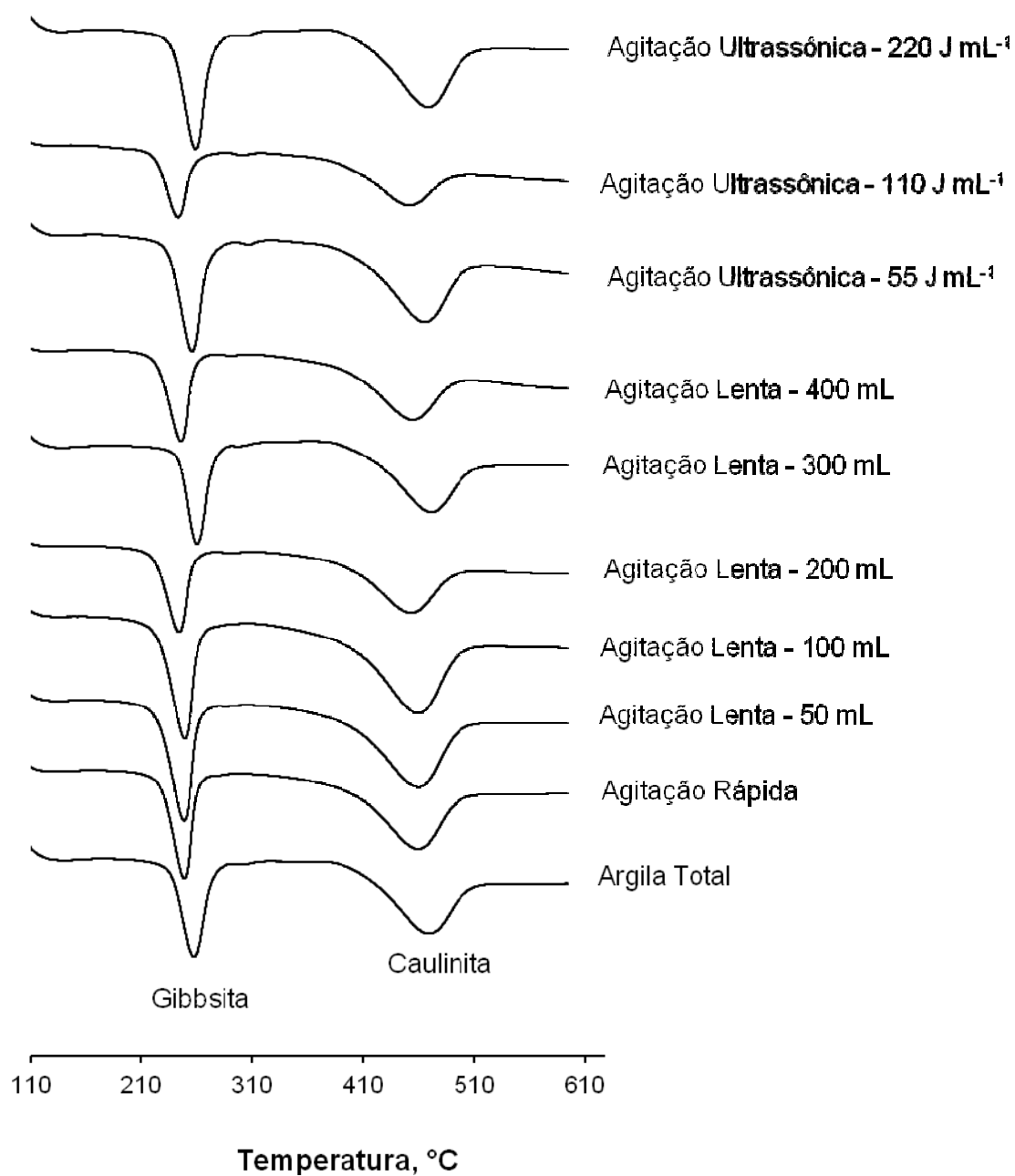


Figura 12A. Termogramas diferenciais da argila total e da argila dispersa em água (ADA) dos tratamentos estudados do Latossolo Vermelho acriférrico.