

**RAMEZ ANTONIO DE PAULA DIAS**

A INFLUÊNCIA DO TITÂNIO NA AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO  
ROXO DO TRIÂNGULO MINEIRO

**A INFLUÊNCIA DO TITÂNIO NA AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO  
ROXO DO TRIÂNGULO MINEIRO**

Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Curso de Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA

MINAS GERAIS - BRASIL

OUTUBRO - 1998

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

T

D541i  
1998

Dias, Ramez Antonio de Paula - 1964

A influência do titânio na agregação de um Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro / Ramez Antonio de Paula Dias. – Viçosa : UFV, 1998.  
57p. : il.

Orientador: Liovando Marciano da Costa

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Solos - Triângulo Mineiro (MG). 2. Solos - Agregação.  
3. Solos - Teor de titânio. 4. Latossolo Roxo - Triângulo Mineiro (MG). I. Universidade Federal de Viçosa. II Título.

CDD 19.ed. 631.4

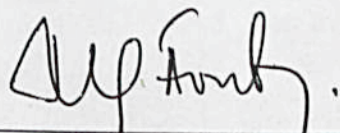
CDD 20.ed. 631.4

RAMEZ ANTONIO DE PAULA DIAS

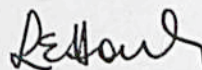
A INFLUÊNCIA DO TITÂNIO NA AGREGAÇÃO DE UM LATOSSOLO  
ROXO DO TRIÂNGULO MINEIRO

Tese apresentada à Universidade  
Federal de Viçosa, como parte das  
exigências do Curso de Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

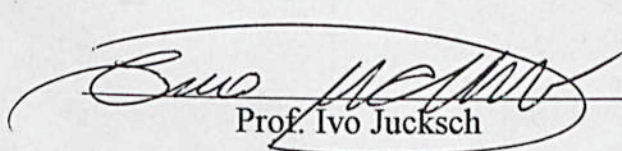
APROVADA: 23 de janeiro de 1998



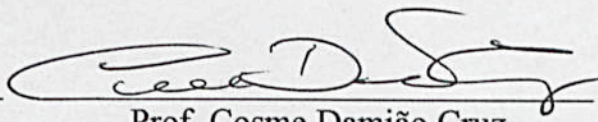
Prof. Maurício Paulo Ferreira Fontes  
(Conselheiro)



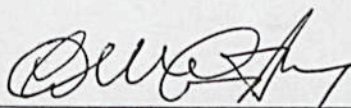
Prof. Luiz Eduardo Ferreira Fontes  
(Conselheiro)



Prof. Ivo Jucksch



Prof. Cosme Damião Cruz



Prof. Liovando Marciano da Costa  
(Orientador)

## AGRADECIMENTO

À companheira Adriane.

Aos nossos filhos Lucas e Diogo.

Aos meus pais Manoel Dias e Maria de Paula.

Aos meus irmãos Maria do Carmo, Ana Cláudia e Alexandre.

A Escola Pública, que possibilitou meus estudos do ensino fundamental aos dias de hoje.

Aos meus pais e irmãos, em especial à minha mãe, por todo o sacrifício para que eu pudesse trilhar por estes caminhos.

A Adriane, Lucas e Diogo, pelo apoio e pela compreensão e por fazerem parte da minha vida.

Aos meus companheiros do INSS, Posto de Arrecadação de Viçosa, pelo apoio e pela compreensão, especialmente ao Antonio Roberto e José Benigno.

Ao Orientador e Professor Liviano, pelos ensinamentos, pela amizade, pela compreensão, pelo incentivo, pelas palavras de conforto e pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao Professor Ivo Jackson, pela amizade e pelo incentivo desde os tempos de Iniciação Científica.

Aos Professores do Departamento de Solos da UFV, Luiz Fontes, Jaime, Walter, Júlio César, João Ker, Anôr e Elpidio, pela força, pela amizade, pelas sugestões e pela colaboração, especialmente a Maurício Fontes.

Ao Professor Tocio Sedyama, do Departamento de Fitotecnia da UFV, pela amizade e colaboração.

Ao Professor Cosme Damasc, do Departamento de Biologia da UFV, pela disposição, pelas sugestões e pela colaboração na análise estatística.

A CEPET, nas pessoas do Professor Brito e do Técnico Luizinho, pela colaboração na coleta dos solos.

## AGRADECIMENTO

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia da UFV, Mara, Vicente Medaleiro, Domingos e Assis, pela amizade e colaboração.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFV, pela amizade e colaboração.

A Deus, pela oportunidade da vida.

A todos os cidadãos brasileiros, que contribuíram com seu trabalho, permitindo que tivesse meus estudos financiados através da Universidade Federal de Viçosa e do CNPq.

À Escola Pública, que possibilitou meus estudos do ensino fundamental aos dias de hoje.

Aos meus pais e irmãos, em especial à minha mãe, por todo o sacrifício para que eu pudesse trilhar por estes caminhos.

A Adriane, Lucas e Diogo, pelo apoio e pela compreensão e por fazerem parte da minha vida.

Aos meus companheiros do INSS, Posto de Arrecadação de Viçosa, pelo apoio e pela compreensão, especialmente ao Antonio Roberto e José Benigno.

Ao Orientador e Professor Liovando, pelos ensinamentos, pela amizade, pela compreensão, pelo incentivo, pelas palavras de conforto e pelo apoio nos momentos difíceis.

Ao Professor Ivo Jucksch, pela amizade e pelo incentivo desde os tempos de Iniciação Científica.

Aos Professores do Departamento de Solos da UFV, Luiz Fontes, Jaime, Walter, Júlio César, João Ker, Anôr e Elpídio, pela força, pela amizade, pelas sugestões e pela colaboração, especialmente a Maurício Fontes.

Ao Professor Tocio Sedyama, do Departamento de Fitotecnia da UFV, pela amizade e colaboração.

Ao Professor Cosme Damião, do Departamento de Biologia da UFV, pela disposição, pelas sugestões e pela colaboração na análise estatística.

À CEPET, nas pessoas do Professor Brito e do Técnico Luizinho, pela colaboração na coleta dos solos.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia da UFV, Mara, Vicente Madaleno, Domingos e Assis, pela amizade e colaboração.

Aos funcionários do Departamento de Solos da UFV, pela amizade e colaboração. Em especial a Cláudio, Ferreira, José Francisco, Tiãozinho, Zélia, Carlos, Pintinho, Simone e Macarrão.

Aos colegas e amigos Raphael, Tâmara, Flávio, Ricardo, Guiga, Eloísa, Téó, Evaldo, Clístenes e Walder, pela força e amizade, especialmente a Ildeu e Olímpio.

A todos os brasileiros que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

Em agosto de 1993, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia nesta Universidade.

## BIOGRAFIA

RAMEZ ANTONIO DE PAULA DIAS, filho de Manoel Dias da Silva e Maria de Paula Dias, nasceu em Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, em 13 de outubro de 1964.

Cursou o primeiro grau na Escola Estadual Afonso Pena e o segundo grau na Escola Estadual João Magiano Pinto, ambas em Três Lagoas.

Em agosto de 1993, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1993, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia nesta Universidade.

2.1.1. Titânio no estudo de agregação do solo.....	3
2.1.2. Titânio no estudo de agregação do solo.....	3
2.2.1. Titânio no estudo de agregação do solo.....	9
2.2.2. Titânio no estudo de agregação do solo.....	9
2.3. Oxidos de ferro e agregação do solo.....	11
2.4. Oxidos de alumínio e agregação do solo.....	13
2.5. Oxidos de ferro e de alumínio e agregação do solo.....	13
2.6. Análise de trilha.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1. Localização e descrição do solo estudado.....	16
3.2. Coleta e preparo das amostras de solo.....	19
3.3. Análises químicas.....	19

	Página
3.4. Análises mineralógicas.....	20
3.5. Análises físicas.....	20
3.6. Análises estatísticas.....	21
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
4.1. Propriedades químicas das amostras do latossolo estudado.....	25
4.2. Propriedades mineralógicas das amostras do latossolo estudado.....	31
<b>CONTEÚDO</b>	
4.3. Propriedades físicas das amostras do latossolo estudado.....	30
4.3.1. Análise de trilha no estudo da agregação do solo.....	38
4.3.1.1. Efeitos diretos e indiretos sobre o diâmetro médio ponderado para os horizontes A e B.....	38
<b>5. RESUMO E CONCLUSÕES.....</b>	<b>Página</b>
EXTRATO.....	viii
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ABSTRACT.....	x
APÊNDICE.....	52
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. Desenvolvimento do estado de agregação do solo.....	3
2.2. Titânio no solo.....	5
2.2.1. Minerais de titânio e sua distribuição no perfil.....	6
2.2.2. Titânio no estudo da agregação do solo.....	9
2.3. Óxidos de ferro e agregação do solo.....	11
2.4. Óxidos de alumínio e agregação do solo.....	13
2.5. Óxidos de ferro e de alumínio e agregação do solo.....	13
2.6. Análise de trilha.....	15
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. Localização e descrição do solo estudado.....	16
3.2. Coleta e preparo das amostras de solo.....	19
3.3. Análises químicas.....	19

	Página
3.4. Análises mineralógicas.....	20
3.5. Análises físicas.....	20
3.6. Análises estatísticas.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1. Propriedades químicas das amostras do latossolo estudado.....	25
4.2. Propriedades mineralógicas das amostras do latossolo estudado.....	31
4.3. Propriedades físicas das amostras do latossolo estudado.....	36
4.3.1. Análise de trilha no estudo da agregação do solo.....	38
4.3.1.1. Efeitos diretos e indiretos sobre o diâmetro médio ponderado para os horizontes A e B.....	38
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
APÊNDICE.....	52

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito do titânio, ferro, alumínio e carbono orgânico na agregação de um Latossolo Roxo de Triângulo Mineiro. Amostras de solo dos horizontes A e B foram coletadas em 15 locais entre os municípios de Cachoeira Dourada, Capinópolis e Ipiaçu. As amostras foram submetidas às análises químicas, mineralógicas e físicas. Para a interpretação dos resultados foi utilizada a análise de trilha, a fim de avaliar o efeito do titânio, ferro e alumínio obtidos pelo ataque sulfúrico nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila, assim como do carbono orgânico, de ambos os horizontes, sobre o diâmetro médio ponderado das classes de agregados de tamanho 2,0 a 1,0 mm, 1,0 a 0,5 mm, 0,5 a 0,25 mm, 0,25 a 0,105 mm e 0,105 a 0,053 mm. Os resultados obtidos permitiram concluir que, os teores de titânio na fração areia fina e de carbono orgânico evidenciaram a melhor relação de causa e efeito estabelecida com o diâmetro médio ponderado, exercendo influência direta na formação de agregados para os dois horizontes estudados, os teores de ferro e de

alumínio na fração argila do horizonte A e o teor de alumínio na fração argila do horizonte B apresentaram relação negativa de causa e efeito com o diâmetro médio ponderado. As demais variáveis -- agregados não apresentaram, individualmente, efeitos consideráveis em relação à agregação, sendo influenciada somente em conjunto ou indiretamente; e existe uma relação direta entre teores de carbono orgânico e silte finociliar.

## EXTRATO

DIAS, Ramez Antonio de Paula, M.S., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 1998. *A Influência do titânio na agregação de um Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro*. Orientador: Liovando Marciano da Costa. Conselheiros: Luiz Eduardo Ferreira Fontes e Maurício Paulo Ferreira Fontes.

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito do titânio, ferro, alumínio e carbono orgânico na agregação de um Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro. Amostras de solo dos horizontes A e B foram coletadas em 15 locais entre os municípios de Cachoeira Dourada, Capinópolis e Ipiaçu. As amostras foram submetidas às análises químicas, mineralógicas e físicas. Para a interpretação dos resultados foi utilizada a análise de trilha, a fim de avaliar o efeito do titânio, ferro e alumínio obtidos pelo ataque sulfúrico nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila, assim como do carbono orgânico, de ambos os horizontes, sobre o diâmetro médio ponderado das classes de agregados de tamanho 2,0 a 1,0 mm, 1,0 a 0,5 mm, 0,5 a 0,25 mm, 0,25 a 0,105 mm e 0,105 a 0,053 mm. Os resultados obtidos permitiram concluir que: os teores de titânio na fração areia fina e de carbono orgânico evidenciaram a melhor relação de causa e efeito estabelecida com o diâmetro médio ponderado, exercendo influência direta na formação de agregados para os dois horizontes estudados; os teores de ferro e de

alumínio na fração argila do horizonte A e o teor de alumínio na fração argila do horizonte B apresentaram relação negativa de causa e efeito com o diâmetro médio ponderado; as demais variáveis estudadas não apresentaram, individualmente, efeitos consideráveis em relação à agregação, tendo importância somente em conjunto ou indiretamente; e existe uma relação direta entre teores de carbono orgânico e silte funcional.

#### ABSTRACT

DIAS, Ramez Antonio de Paula, M.S., Universidade Federal de Viçosa, October 1998. *Titanium influence on aggregation of a dusky red latosol from Triângulo Mineiro.* Adviser: Livando Martiano da Costa. Committee members: Luiz Eduardo Ferreira Pontes and Maurício Paulo Ferreira Pontes.

This research was done aiming to study titanium, iron, aluminium, and organic carbon effect on the aggregation of a dusky red latosol from Triângulo Mineiro. Samples from A and B horizons were collected at 15 places among municipalities of Cachoeira Dourada, Capinópolis and Ipiaci. Samples were subjected to chemical, mineralogical and physical analyses. For results interpretation path analysis was utilized aiming to evaluate titanium, iron and aluminium effect obtained by sulphuric attack on bulky sand, fine sand, silt and clay and organic carbon fractions from both horizons on mean weight diameter of the classes of aggregates of 2.0 to 1.0 mm, 1.0 to 0.5 mm, 0.5 to 0.25 mm, 0.25 to 0.105 mm and 0.105 to 0.053 mm. Results obtained permitted to conclude that: titanium contents in fine sand fraction and organic carbon evidenced the best cause and effect relation established with the mean weight diameter, carrying out direct influence in aggregates formation for the two horizons studied; iron and aluminium contents in the clay fraction of horizon A and aluminium content in

## ABSTRACT

DIAS, Ramez Antonio de Paula, M.S., Universidade Federal de Viçosa, October 1998. *Titanium influence on aggregation of a dusky red latosol from Triângulo Mineiro*. Adviser: Liovando Marciano da Costa. Committee members: Luiz Eduardo Ferreira Fontes and Maurício Paulo Ferreira Fontes.

This research was done aiming to study titanium, iron, aluminium, and organic carbon effect on the aggregation of a dusky red latosol from Triângulo Mineiro. Samples from A and B horizons were collected at 15 places among municipalities of Cachoeira Dourada, Capinópolis and Ipiáçu. Samples were subjected to chemical, mineralogical and physical analyses. For results interpretation path analysis was utilized aiming to evaluate titanium, iron and aluminium effect obtained by sulphuric attack on bulky sand, fine sand, silt and clay and organic carbon fractions from both horizons on mean weight diameter of the classes of aggregates of 2,0 to 1,0 mm, 1,0 to 0,5 mm, 0,5 to 0,25 mm, 0,25 to 0,105 mm and 0,105 to 0,053 mm. Results obtained permitted to conclude that: titanium contents in fine sand fraction and organic carbon evidenced the best cause and effect relation established with the mean weight diameter, carrying out direct influence in aggregates formation for the two horizons studied; iron and aluminium contents in the clay fraction of horizon A and aluminium content in

the clay fraction of horizon B presented negative cause and effect relation to mean weight diameter; the others variables studied did not present individually considerable effects in relation to aggregation, having importance only in association or indirectly; exists a direct relation among organic carbon and functional silt contents.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade cada vez maior de produzir alimentos para atender ao aumento da população, especialmente nos países em desenvolvimento, tem sido adotado um modelo de agricultura visando resultados eficientes na produção, porém sem grandes preocupações com o meio ambiente.

Nesse contexto, tem-se observado ao longo do tempo a degradação do solo como um todo, com ênfase nos solos tropicais, devido, principalmente, ao uso intensivo e inadequado de técnicas próprias de regiões temperadas associadas às condições climáticas, causando alterações marcantes nas condições naturais dos solos. Uma importante modificação no solo é a redução de sua agregação, resultando na diminuição de sua capacidade produtiva.

Este trabalho foi realizado visando compreender melhor o fenômeno da agregação. Para isto, foi utilizado o Latossolo que constitui a classe mais representativa dos solos brasileiros. Nesta classe destaca-se o Latossolo Roxo, que, em sua condição natural, possui boa estabilidade estrutural devido à existência de matéria orgânica, elevados teores de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, os quais atuam como agentes de estabilização de agregados.

O mecanismo de agregação do solo tem sido objetivo de muitos estudos, mas não se tem chegado a conclusões bem definidas, talvez por se tratar de um

## 1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade cada vez maior de produzir alimentos para atender ao aumento da população, especialmente nos países em desenvolvimento, tem sido adotado um modelo de agricultura visando resultados eficientes na produção, porém sem grandes preocupações com o meio ambiente.

Nesse contexto, tem-se observado ao longo do tempo a degradação do solo como um todo, com ênfase nos solos tropicais, devido, principalmente, ao uso intensivo e inadequado de técnicas próprias de regiões temperadas associadas às condições climáticas, causando alterações marcantes nas condições naturais dos solos. Uma importante modificação no solo é a redução de sua agregação, resultando na diminuição de sua capacidade produtiva.

Este trabalho foi realizado visando compreender melhor o fenômeno da agregação. Para isto, foi utilizado o latossolo que constitui a classe mais representativa dos solos brasileiros. Nesta classe destaca-se o Latossolo Roxo, que, em sua condição natural, possui boa estabilidade estrutural devido à matéria orgânica, elevados teores de argila, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, os quais atuam como agentes de estabilização de agregados.

O mecanismo de agregação do solo tem sido objetivo de muitos estudos, mas não se tem chegado a conclusões bem definidas, talvez por se tratar de um

fenômeno em que existem muitas variáveis envolvidas - físicas, químicas, mineralógicas e ambientais.

O tipo e o teor de argila, a matéria orgânica e os óxidos de ferro e de alumínio, tidos como agentes cimentantes, são considerados os principais fatores que influenciam a formação de agregados. Além destes, há indícios de que o titânio contribui para a agregação de alguns solos. No entanto, estudos envolvendo o comportamento dos óxidos de titânio na agregação do solo são, relativamente, poucos.

O Latossolo Roxo contém elevados teores de óxidos de titânio, o que implica a necessidade de maiores estudos para compreender melhor o comportamento destes óxidos na formação de agregados nesta classe de solo.

Este trabalho objetivou verificar o efeito do titânio, ferro, alumínio e carbono orgânico na agregação de um Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro.

Existe um vasto número de trabalhos relacionados a esse assunto em praticamente todas as classes de solos. EMERSON (1939) propõe um modelo de agregação no qual partículas de argila orientadas e grãos de quartzo eram ligados por matéria orgânica e forças eletrostáticas. Entretanto, a influência de oxidilítos de ferro e de alumínio, importantes em muitos solos, não era retratada neste modelo.

Visando compreender o processo de formação de agregados, vários pesquisadores têm desenvolvido trabalhos buscando os principais fatores que contribuem para esse fenômeno.

Segundo SHADFAN et al. (1955), agregação é entendida como a associação de partículas do solo, particularmente argilas silicatadas carregadas negativamente, com partículas de óxidos de ferro carregadas positivamente, formando pequenos agregados. CHESTER et al. (1957) atribuem a formação de agregados naturais, sob condições naturais, a um processo influenciado por agentes físicos, químicos e biológicos. Alguns trabalhos mostram que os ciclos de umedecimento e secagem influenciam os processos de formação de agregados.

(WHITE, 1965; MONIZ et al., 1982; CARVALHO, 1991; OLIVEIRA, 1992; OLIVEIRA, 1994).

Alguns trabalhos reforçam que a agregação e estabilidade de agregados são algumas das mais importantes características do solo, em relação à sua suscetibilidade à erosão (YODER, 1936; ELSON e LUTZ, 1940).

Na separação das frações dos solos, grande parte da energia utilizada para dispersão das partículas é gasta na individualização de partículas que formam pequenos agregados. Segundo EDWARDS e BREMINER (1967), a unidade estrutural básica das frações argila fina e silte (< 0,25 mm), consistindo basicamente de argila, metal polivalente (Al, Fe) e complexo organo-metalico.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Para compreensão do processo de agregação do solo, é imprescindível verificar que a argila era muito importante na formação de agregados estáveis.

### 2.1. Desenvolvimento do estado de agregação do solo

Existe um vasto número de trabalhos relacionados a esse assunto em praticamente todas as classes de solos. EMERSON (1959) propôs um modelo de agregação no qual partículas de argila orientadas e grãos de quartzo eram ligados por matéria orgânica e forças eletrostáticas. Entretanto, a influência de oxihidróxidos de ferro e de alumínio, importantes em muitos solos, não era retratada neste modelo.

Visando compreender o processo de formação de agregados, vários pesquisadores têm desenvolvido trabalhos buscando os principais fatores que contribuem para esse fenômeno.

Segundo SHADFAN et al. (1985), agregação é entendida como a associação de partículas de solo, particularmente argilas silicatadas carregadas negativamente, com partículas de óxidos de ferro carregadas positivamente, formando pequenos agregados. CHESTERS et al. (1957) atribuem a formação de agregados estáveis, sob condições naturais, a um processo influenciado por agentes físicos, químicos e biológicos. Alguns trabalhos mostraram que os ciclos de umedecimento e secagem influenciam os processos de formação de agregados

(WHITE, 1966; MONIZ et al., 1982; CARVALHO, 1991; OLIVEIRA, 1992; OLIVEIRA, 1994).

Alguns trabalhos reforçam que a agregação e estabilidade de agregados são algumas das mais importantes características do solo, em relação à sua suscetibilidade à erosão (YODER, 1936; ELSON e LUTZ, 1940).

Na separação das frações dos solos, grande parte da energia utilizada para dispersão das partículas é gasta na individualização de partículas que formam pequenos agregados. Segundo EDWARDS e BREMNER(1967), a unidade estrutural básica nos solos são microagregados do tamanho das frações areia fina e silte ( $< 0,25$  mm), consistindo basicamente de argila, metal polivalente (Al, Fe) e complexo organo-metálico.

Para compreensão do processo de agregação do solo, é imprescindível conhecer os fatores que nele atuam. Neste sentido, SAINI et al. (1966) verificaram que a argila era muito importante na formação de agregados estáveis, porém a matéria orgânica, provavelmente, tinha maior importância. No entanto, CHESTERS et al. (1957) relataram que a argila não tinha grande importância na formação de agregados estáveis em água. Já para PETERSON (1944) e FERREIRA (1988), o tipo e não o conteúdo de argila era o fator importante. BARBERIS et al. (1991) verificaram que os mecanismos de agregação estão mais relacionados com o tamanho das partículas constituintes do solo.

BAVER et al. (1973) propõem que para latossolos a correlação entre matéria orgânica e agregação seja baixa. Para estes autores, os principais responsáveis pela formação de agregados estáveis são os óxidos de ferro e de alumínio, nestes solos.

A boa estabilidade estrutural dos latossolos, no seu estado natural, é atribuída à matéria orgânica e aos óxidos de ferro que atuam como agentes de estabilização dos agregados (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990).

Alguns autores, como GREENLAND (1971) e TISDALL e OADES (1982), têm mostrado que a matéria orgânica está intimamente associada com a agregação do solo. EDWARDS e BREMNER (1967) sugeriram que a matéria

orgânica pode promover agregação do solo pela ligação argila-(Al, Fe)-matéria orgânica-(Al, Fe)-argila.

Considerando que os óxidos de Ti podem desenvolver cargas, dependendo do pH do solo, pode-se pensar num comportamento semelhante aos óxidos de Fe e de Al, em relação à formação de agregados.

Estudando latossolos brasileiros, FERREIRA (1988) demonstrou que as propriedades físicas destes latossolos são marcadamente influenciadas pela composição mineralógica, cabendo à caulinita e à gibbsita a maior influência sobre essas propriedades e sobre o desenvolvimento da estrutura.

## 2.2. Titânio no solo

O titânio foi descoberto em 1791, em laboratório, através da decomposição de grãos de mineral magnético de coloração preta, presumivelmente ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ) intemperizada de mineral de areia de praia (Mellor, citado por MILNES e FITZPATRICK, 1989).

O titânio não ocorre na forma metálica livre na natureza. Ocorre nos solos nas formas de minerais primários e secundários e de componentes amorfos. Os minerais de titânio encontrados nos solos têm sido classificados em três grupos: residuais (primários), formados por intemperismo e alteração (secundários) e formados *in situ* (autóctones) (MILNES e FITZPATRICK, 1989).

Um número limitado de trabalhos tem sido realizado envolvendo minerais de titânio. Em geral, os óxidos deste elemento se apresentam em baixos teores no solo, e em muitos casos eles ocorrem como grãos residuais em frações de areia e de silte ou como produto da alteração de outros minerais primários.

Há citações referentes ao conteúdo de titânio nos solos a partir de 1891, quando Dunnington trabalhou com amostras de várias partes do mundo, nas quais encontrou uma variação no conteúdo de  $\text{TiO}_2$  do solo de 0,32 a 5,42% (JOFFE e PUGH, 1934; SHERMAN, 1952). Outros autores, como FUJIMOTO et al. (1949), SHERMAN et al. (1949) e SHERMAN (1952), encontraram uma variação no conteúdo de óxido de titânio, em solos havaianos, de 2,1 a 25%.

JOFFE e PUGH (1934), examinando amostras de solos de várias partes do mundo, verificaram que o conteúdo de titânio variava de 0,27 a 4,04%, e estava relacionado com o material de origem.

MOURA FILHO e BUOL (1976) encontraram elevados teores de  $TiO_2$  em amostras de Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro. Em agregados de 2,0 - 0,5 mm, 10,61%; 0,5 - 0,25 mm, 11,03%; e < 0,25 mm, 11,04%.

### 2.2.1. *Minerais de titânio e sua distribuição no perfil*

Nos solos encontram-se vários minerais contendo titânio, os quais incluem os óxidos rutilo, anatásio, brookita e leucoxênio; óxidos de ferro-titânio, como a ilmenita e o pseudorutilo; e silicatos complexos, como o esfênio (RAMAN e JACKSON, 1965; TEUFER e TEMPLE, 1966). Além destes, o titânio faz parte da estrutura de vários silicatos, como componente e como inclusões na forma de óxidos (DREES e WILDING, 1978; KAUP e CARTER, 1987).

Os minerais de titânio podem ser encontrados em todos os tamanhos de partículas nas frações do solo. KAUP e CARTER (1987) verificaram a ocorrência de titânio em biotita, hornblenda e esfênio. Estes autores sugerem que o titânio esteja presente no cristal destes minerais.

Estudando a distribuição de titânio no perfil do solo, KAUP e CARTER (1987) observaram que o titânio teve uma distribuição similar ao ferro e ao alumínio, de acordo com a profundidade, quando extraídos por oxalato de amônio. Segundo estes autores, esta distribuição sugere que a presença de titânio em formas amorfas seja um produto de intemperismo e esteja sendo translocada de forma semelhante ao ferro e ao alumínio.

Alguns autores relacionaram o comportamento do titânio no perfil do solo em seus diferentes processos de formação. JOFFE e PUGH (1934) verificaram que, no processo de podzolização, o  $TiO_2$  parece acumular no horizonte B, e, no processo de latolização, parece ser no horizonte A. Comparando a distribuição vertical de  $TiO_2$  em podzólicos e latossolos dos EUA

e correspondentes argilas, Robinson e Holmes, citados por KARIN (1953), verificaram que, de modo geral, na podzolização o conteúdo de  $TiO_2$  parece ser maior na argila do horizonte A, em relação à argila do horizonte B, e o inverso, na latolização. Este mesmo autor, estudando a distribuição de  $TiO_2$  no perfil, em fração argila, de diferentes horizontes dos solos Red-brown earth, Hydrohalogenic soil e Rendzina do sul da Austrália, verificou que, para os dois primeiros solos, os quais exibem caráter podzólico, o conteúdo de  $TiO_2$  foi invariavelmente muito maior no horizonte  $A_2$  do que no horizonte B.

O titânio é um dos constituintes de menor mobilidade no solo, sendo, inclusive, utilizado como índice de gênese do solo. JOFFE e PUGH (1934) relataram que o acúmulo de titânio nos horizontes superficiais, provavelmente, seja devido à saída de outros constituintes. Neste sentido, BAIN (1976), trabalhando com podzol da Escócia, constatou que o anatásio concentra-se nos horizontes superficiais.

Estudando o comportamento do titânio em 15 solos de Arkansas (EUA), CHAPMAN e HORN (1968) verificaram que o conteúdo de titânio aumenta com o decréscimo do tamanho da partícula. Este conteúdo era maior no horizonte superficial e decrescia com a profundidade. Em alguns solos era baixo nos horizontes superficiais, aumentando no topo do horizonte B e, então, decrescendo com a profundidade. Segundo JOFFE e PUGH (1934) e KARIN (1953), o enriquecimento de titânio em frações argila tem sido observado em várias classes de solos.

Em partículas muito finas, o titânio ocorre em minerais secundários, como leucoxênio e anatásio; já em areia muito fina e silte grosseiro o titânio ocorre em minerais primários, como rutilo, brookita, esfênio e ilmenita (SHERMAN, 1952).

A distribuição de titânio em função da profundidade depende da uniformidade e mineralogia do material de origem, das variações devido aos processos de eluviação e iluviação e da intensidade e do grau de intemperismo (CHAPMAN e HORN, 1968).

SHERMAN (1952) constatou que os latossolos húmico ferruginosos, que apresentam altos teores de óxidos de titânio no horizonte A e têm indicações de zona de acumulação ou concentração, são formados em altitudes elevadas e em regiões com alternância de estações úmidas e secas definidas. Nestes solos, o conteúdo de óxidos de titânio é elevado na superfície, onde é facilmente desidratado, variando de 10,7 a 25,0%, podendo formar agregados, concreções ou horizonte adensado com óxidos de ferro. No horizonte B, a variação é de 5,4 a 12,1%.

Os minerais de titânio podem ser formados pelo intemperismo de rochas e outros minerais, originando os primários e secundários ou formados *in situ*. A ilmenita é considerada a precursora de vários minerais, como anatásio, rutilo, titanato de ferro não-cristalino (BAILEY et al., 1956), pseudorutilo (TEUFER e TEMPLE, 1966; GREY e REID, 1975), entre outros. Segundo KAUP e CARTER (1987) e MORAD e ALDAHAN (1982), a ilmenita foi identificada como um mineral primário fonte de titânio, que é formado por sedimentos e rochas sedimentares. A forma de titânio nos solos é determinada, em grande parte, por processos de alterações que ocorrem no grão da ilmenita, com maior frequência que na matriz do solo (ANAND e GILKES, 1984).

A oxidação da ilmenita ( $\text{Fe}_3\text{Ti}_3\text{O}_9$ ) leva à formação de pseudorutilo ( $\text{Fe}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ ). Com a remoção de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do pseudorutilo, forma-se diretamente o rutilo ( $\text{TiO}_2$ ) (TEUFER e TEMPLE, 1966; GREY e REID, 1975). Aquecendo-se o pseudorutilo em temperaturas superiores a  $800^\circ\text{C}$ , são formados pseudobrookita ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$ ) e rutilo (TEUFER e TEMPLE, 1966). ANAND e GILKES (1984) encontraram anatásio como produto de alteração de ilmenita. O titânio, também, pode reagir com sílica e cálcio, formando esfênio (MORAD e ALDAHAN, 1982).

BAIN (1976) verificou aumento no conteúdo de titânio da rocha para o horizonte  $A_2$ , sugerindo que o anatásio é formado pedologicamente pelo intemperismo do esfênio, considerando que este mineral não foi detectado no solo e que era o único mineral contendo titânio identificado na rocha.

Estudando sete perfis de solos havaianos, Hough e Byers, citados por SHERMAN (1952), atribuíram o elevado conteúdo de titânio destes solos à presença do mineral ilmenita. Verificaram, também, que os minerais rutilo e ilmenita são resistentes ao intemperismo e podem ser usados como referência na determinação da remoção de outros elementos químicos do solo. BLEEKER (1972) encontrou altas concentrações de ilmenita e magnetita nas frações areias de solos derivados de cinza vulcânica, em Papua-Nova Guiné.

MORAD e ALDAHAN (1982) encontraram minerais de titânio autóctones em arenitos, carbonatos e rochas pelíticas/ardósia para diferentes profundidades. Estes autores verificaram que a ocorrência autóctone de rutilo, anatásio, brookita e esfênio tem sido pouco observada na descrição de seqüências sedimentares. Isto, provavelmente, devido ao pequeno conteúdo, à típica natureza cristalina e às dificuldades de identificação dos tipos polimorfos.

#### *2.2.2. Titânio no estudo da agregação do solo*

O desenvolvimento de cargas positivas e negativas nas superfícies de óxidos de titânio é influenciado pelo pH, pela natureza e pela concentração de cátions e ânions em solução e temperatura.

O estudo de carga elétrica em partículas de minerais de titânio no solo é de fundamental importância do ponto de vista de propriedades de adsorção e tem implicações agrícolas e ambientais relevantes. É particularmente importante no caso de solos ácidos, fortemente lixiviados, derivados de rochas ígneas básicas nos trópicos e subtropicais úmidos. Estes solos, freqüentemente, contêm substancial acúmulo de óxidos de ferro, alumínio e titânio associados com mineral silicatado 1:1. Segundo MILNES e FITZPATRICK (1989), devido à substituição isomórfica, surge carga negativa, a qual interage com carga positiva associada com a superfície do óxido de metal, produzindo uma baixa carga elétrica líquida. Esta interação entre as cargas é um importante fator responsável pela estabilidade do colóide, sendo, conseqüentemente, favorável à estrutura do solo.

FITZPATRICK et al. (1978) estudaram características de carga elétrica de óxidos de titânio e mistura ferro-titânio de sistemas sintéticos. Estes autores verificaram que óxidos “amorfo” ricos em ferro [titânio ferridrita,  $Ti/(Ti+Fe) < 0,70$ ] tinham carga positiva dependente de pH, enquanto óxidos “amorfo” ricos em titânio [ $Ti/(Ti+Fe) > 0,70$ ] tinham carga negativa permanente, bem como dependente de pH. Esta última é atribuída à substituição do  $Ti^{4+}$  pelo  $Fe^{3+}$  (CLOOS et al., 1969). TESSENS e ZAUZYAH (1982) verificaram carga permanente positiva em vários Oxissolos titaníferos da Malásia e sugeriram que esta carga estava relacionada com a substituição isomórfica do  $Fe^{3+}$  pelo  $Ti^{4+}$  nos óxidos de ferro.

Relatos da literatura sugerem que minerais de titânio têm função direta e indireta na determinação da estrutura do solo. Vários autores, em muitas partes do mundo, incluindo Havaí e Nova Zelândia, citados por MILNES e FITZPATRICK (1989), e África do Sul, por FITZPATRICK e LeROUX (1975), têm sugerido que o titânio, em conjunto com o ferro, promove a ligação de frações argila de solos ricos em titânio dentro de macroagregados.

SHERMAN (1952) e KATSURA et al. (1962) sugerem que a titanomagnetita, em solos havaianos, altera para variedades de óxidos de titânio secundários e óxidos de ferro-titânio quando os solos são expostos à desidratação por remoção de vegetação de cobertura. O desenvolvimento de um horizonte superficial endurecido, no qual há aumento significativo na densidade do solo e na densidade de partículas, pode ser atribuído a trocas mineralógicas. Similarmente, FITZPATRICK e LeROUX (1975) observaram mudanças estruturais marcantes, caracterizadas pela formação de macroagregados endurecidos, depois de expor solos titaníferos contendo abundante titanomaghemita e titanohematita (intemperizada a partir de titanomagnetita) por sucessivos cultivos. Deelman, citado por MILNES e FITZPATRICK (1989), interpretou essas trocas como o resultado da cristalização do anatásio por períodos alternados de umedecimento e secagem. No entanto, poucos estudos têm sido realizados visando interações específicas entre minerais de titânio e ferro e agregação do solo.

### 2.3. Óxidos de ferro e agregação do solo

SHADFAN et al. (1985) sugerem que, sendo o desenvolvimento de cargas dos óxidos de ferro dependente de pH, seu efeito na agregação pode, também, ser dependente de pH. Segundo SCHWERTMANN e TAYLOR (1989), a estrutura superficial com o desenvolvimento de carga dependente de pH é uma das mais importantes propriedades de diferentes óxidos de ferro do solo, porque a superfície é responsável por sua interação com a solução do solo e de outras fases sólidas, as raízes de plantas e a biota do solo. Para Boggard, citado pelos mesmos autores, o PCZ dos óxidos de ferro varia entre 7,0 e 9,0; assim, possibilita o desenvolvimento de cargas positivas, pois, de modo geral, o pH de solos oxidicos está sempre abaixo destes valores. Porém, conforme PARKS (1965), o PCZ para óxidos de ferro natural varia de 5,4 a 6,9, e para o sintético, de 6,5 a 9,0.

Alguns autores encontraram correlação positiva entre o teor de óxido de ferro e a estabilidade de agregados (CHESTERS et al., 1957; KROTH e PAGE, 1947). Segundo CHESTERS et al. (1957), o efeito tem sido demonstrado nos agregados de tamanho médio e nos pequenos. ARCA e WEED (1966) observaram influência significativa dos óxidos de ferro livre para os agregados de tamanho 1 a 2 mm. Outros autores verificaram o mesmo efeito entre a percentagem de agregados estáveis em água e o conteúdo de óxidos de ferro, por meio de observações destes óxidos em lâminas de caulinita (McINTYRE, 1956; ARCA e WEED, 1966; KITAGAWA, 1983; FORDHAM e NORRISH, 1983); pela dispersão de agregados do solo depois da remoção de seus óxidos de ferro com um agente redutor (McNEAL et al., 1968); e por efeito agregante, quando adicionado óxido de ferro sintético (BLACKMORE, 1973).

ARCA e WEED (1966), trabalhando com agregados de tamanho 0,10, 0,25, 0,50, 1,0 e 2,0 mm, encontraram alta correlação entre os conteúdos de argila, de óxidos de ferro livre e a ocorrência e distribuição de agregados estáveis em água, em Podzólicos Vermelho-Amarelos. A análise dos dados indicou uma influência significativa dos óxidos de ferro livre para todo tamanho de agregados,

sendo seu efeito maior que o efeito da argila. O efeito desta última diminuiu com o aumento do tamanho do agregado.

Através de observações por microscopia eletrônica de transmissão (TEM), GREENLAND et al. (1968), JONES et al. (1982) e SCHWERTMANN e KÄMPF (1985) verificaram que, em solos cauliníticos, muitos cristais de óxidos de ferro parecem estar agregados em torno deles mesmos e não ligados à lâmina da caulinita, a qual aparece geralmente com superfícies limpas. No entanto, FONTES (1992), num estudo de separação magnética em latossolos do Triângulo Mineiro, verificou, para solos originários de basalto, uma considerável associação entre caulinita-óxidos de ferro ou caulinita-óxidos de ferro-gibbsita em frações magnéticas e não-magnéticas, sugerindo que esta associação é responsável pela não-separação total e pela concentração de óxidos de ferro nas amostras.

Analisando agregados menores que 2,0 mm separadamente, FORDHAM e NORRISH (1979) encontraram grande concentração de ferro, indicando que estes agregados podem consistir essencialmente de óxidos deste elemento. Segundo ainda estes autores, partículas finas de óxidos de ferro, usualmente, são encontradas funcionando como agentes de ligação de outras partículas do solo, resultando em cimentação ou agregação de partículas primárias do solo em unidades maiores. Na cimentação, os óxidos de ferro ocupam proporções significantes dos poros dentro de partículas do solo, como em concreções. Estas formações são de considerável tamanho, embora agregados muito pequenos possam conter altas concentrações de óxidos de ferro.

Estudando os solos Terra Roxa e Rendzina do sul da Austrália, McINTYRE (1956) sugeriu que a influência direta na estrutura destes solos é exercida pela ação do ferro, por meio de um complexo ferro-matéria orgânica. Para KITAGAWA (1983), a hematita age como material cimentante na formação de microagregados estáveis.

DESHPANDE et al. (1964) concluíram que a estabilidade de agregados (1 a 2 mm), do solo Red-brown earth, não dependia da presença de óxidos de ferro. De acordo com estes autores, os óxidos de ferro estavam presentes como cristais pequenos e não como partículas cimentantes do solo.

#### 2.4. Óxidos de alumínio e agregação do solo

Além da matéria orgânica e dos óxidos de ferro, o alumínio tem um papel importante nos processos de agregação. Porém, foi observado que somente na faixa ácida do solo o alumínio tornava-se um fator importante (ROTH et al., 1991). Estando o PCZ da gibbsita 5,0 a 9,5 (PARKS, 1965) acima do pH do solo, ocorre o desenvolvimento de cargas positivas, o que justificaria a observação do autor. Para El SWAIFY e EMERSON (1975), a gibbsita exerce pouco efeito na agregação do solo em seu PCZ. Com o aumento do pH, ocorre redução de sua carga positiva, comprometendo sua eficiência na capacidade de agregação.

Segundo Barnhisel e Bertsch, citados por HSU (1989), os mecanismos de agregação na presença de hidróxido de alumínio não são bem definidos; mas estes autores consideram que pequenos polímeros de OH-Al, os quais podem ser considerados fragmentos do  $\text{Al}(\text{OH})_3$  sólido, podem ser mais fortemente seguros que cátions trocáveis nos espaços intercamadas de minerais de argila expansíveis. Hidróxidos de alumínio e polímeros de OH-Al também podem reagir com partículas de argila na sua superfície externa, cimentando-as.

De acordo com HSU (1989), grande parte de  $\text{OH}^-$  ou  $\text{O}^{2-}$  da superfície de hidróxido, oxihidróxido e óxidos de alumínio é ligada com íons  $\text{Al}^{3+}$ , semelhantemente ao que ocorre no interior da estrutura, sendo, portanto, inativo. O  $\text{OH}^-$  da interface quebrada que está ligado a um alumínio é reativo. A superfície reativa Al-OH adsorve  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  para desenvolver carga de superfície, mas nem toda superfície de grupo OH adsorve  $\text{H}^+$  ou  $\text{OH}^-$  para um mesmo pH. Eles podem comportar-se como eletrólitos polivalentes fracos.

#### 2.5. Óxidos de ferro e de alumínio e agregação do solo

Alguns autores divergem com relação à função dos óxidos de ferro e de alumínio na agregação do solo. Para DESHPANDE et al. (1964, 1968), eles têm pouco ou nenhum efeito, enquanto para KELLERMAN e TSYURUPA (1966) estes óxidos são de fundamental importância. CHESTERS et al. (1957) atribuem

a estabilidade estrutural de solos ricos em ferro aos óxidos de ferro livre. No entanto, DESHPANDE et al. (1968) encontraram evidências que mostram óxidos de alumínio livre como importantes agentes agregantes em solos altamente intemperizados e bem oxidados. Nestes solos, os óxidos de ferro estão presentes como discretas partículas nas superfícies das argilas, tendo pequeno efeito nas propriedades físicas do solo (DESHPANDE et al., 1968; GREENLAND et al., 1968). Ocorrência de intercamadas de hidróxidos de alumínio é comum (RICH, 1968), e seu efeito na estrutura é importante (DESHPANDE et al., 1968). Intercamadas de hidróxidos de ferro têm sido menos comum, porém, sob condições de alternância de oxidação e redução onde o hidróxido de ferro é precipitado e para pH do solo abaixo do PCZ deste hidróxido, seu efeito também é importante. Nestas condições, camadas de hidróxido de ferro em volta de agregados de solo podem estar presentes, e seu efeito na estabilização de agregados pode ocorrer. Estudos realizados por DESHPANDE et al. (1968), EL RAYAH e ROWELL (1973) e EL SWAIFY e EMERSON (1975) mostraram que a gibbsita é mais efetiva que o óxido de ferro em manter a estabilidade dos agregados do solo.

KROTH e PAGE (1947) mostraram que agregados estáveis eram fortemente cobertos com óxidos de ferro e de alumínio, e com a remoção destes óxidos os agregados eram facilmente destruídos. Segundo DESHPANDE et al. (1964, 1968), foi obtida dispersão efetiva do solo Red-brown earth após extração com uma solução acidificada de  $\text{CaCl}_2$  (pH 1,5), a qual extraiu pouco ferro, mas considerável conteúdo de alumínio.

WELDON e HIDE (1942) observaram que o conteúdo de óxidos extraídos de fração bem agregada de alguns solos era consideravelmente maior que o conteúdo extraído de fração pouco agregada. Estes autores consideram que os óxidos possam atuar como agentes cimentantes na formação de agregados destes solos. Correlação entre agentes cimentantes e agregação do solo foi observada em outros estudos (MARTIN, 1943; GAREY, 1954; BRYAN, 1971; ADAMS, 1973; TISDALL e OADES, 1982).

SAINI et al. (1966) verificaram um coeficiente de correlação linear elevado ( $r=0,679$ ) entre agregação e alumínio, significativo em nível de 1% de probabilidade, o mesmo não ocorrendo com o ferro. Os autores sugerem que o alumínio influenciou a formação de agregados em maior grau, sendo seguido pelo ferro. A contribuição do alumínio foi de 1,84 vez maior que a do ferro.

## 2.6. *Análise de trilha*

A análise de trilha é uma técnica estatística multivariada que permite a análise de dados que incluem medições simultâneas de um grande número de variáveis.

Segundo CRUZ e REGAZZI (1994), a análise de trilha possibilita avaliar os efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes (explicativas) sobre a variável dependente (principal). As estimativas dos efeitos diretos e indiretos de caracteres são obtidas por meio de equações de regressão, em que as variáveis são previamente padronizadas. Com isso, os efeitos de características mensuráveis em diferentes escalas podem ser comparados entre si.

municípios de Capimópolis e Ipiaca (MG 226).

Este solo ocupa superfícies planas e suaves onduladas, com altitudes de 479 a 620 metros. Está associado ao clima Aw da classificação de Köppen, sendo a temperatura média anual da região de 24,4°C e a precipitação média anual de 1.336 mm. É desenvolvido a partir do basalto, da Formação Serra Geral, Grupo São Bento.

Quadro 1 - Coordenadas cartesianas dos locais onde foram efetuadas as coletas das amostras de solo

Amostra	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	18°30'39	49°30'33
2	18°32'01	49°30'13
3	18°34'39	49°30'44
4	18°35'27	49°30'59
5	18°36'59	49°31'45
6	18°38'67	49°32'86
7	18°39'44	49°33'23
8	18°40'96	49°35'48
9	18°41'54	49°37'08
10	18°41'90	49°38'43

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Localização e descrição do solo estudado

As amostras do Latossolo Roxo foram coletadas no Triângulo Mineiro, segundo as coordenadas cartesianas do Quadro 1, ao longo das rodovias que ligam os municípios de Cachoeira Dourada e Capinópolis (MG 154) e os municípios de Capinópolis e Ipiacu (MG 226).

Este solo ocupa superfícies planas e suaves onduladas, com altitudes de 479 a 620 metros. Está associado ao clima Aw da classificação de Köppen, sendo a temperatura média anual da região de 24,4°C e a precipitação média anual de 1.336 mm. É desenvolvido a partir do basalto, da Formação Serra Geral, Grupo São Bento.

Quadro 1 - Coordenadas cartesianas dos locais onde foram efetuadas as coletas das amostras de solo

Amostra	Latitude Sul	Longitude Oeste
1	18°30'39	49°30'33
2	18°32'01	49°30'13
3	18°34'39	49°30'44
4	18°35'27	49°30'89
5	18°36'28	49°31'45
6	18°38'67	49°32'86
7	18°39'44	49°33'23
8	18°40'96	49°35'48
9	18°41'48	49°37'08
10	18°41'90	49°38'43
11	18°42'13	49°40'05
12	18°42'40	49°42'07
13	18°42'71	49°43'84
14	18°42'72	49°46'48
15	18°42'71	49°49'71



Figura 1 - Localização dos municípios onde foram realizadas as coletas das amostras de solo.

As amostras foram coletadas, após percurso prévio das áreas selecionadas, em 15 pontos de altitudes diferentes, em pequenas trincheiras que foram abertas para este fim, nos horizontes A e B.

Logo que as amostras chegaram ao laboratório foram secas ao ar, desstorvadas e peneiradas em peneira com malha de 2 mm.

Para cada ponto de coleta foram retiradas, com anel volumétrico, amostras para determinação da densidade do solo, em cada horizonte.

3.3. Análises químicas

Reação do Solo - foi determinada em pH de água e em KCl 1 mol/L, numa relação solo-solução 1:2 segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Carbono Orgânico - determinado pelo método Walkley-Black, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Ponto de Carga Zero (PCZ) - determinado segundo Rajj e Peckol (1972), modificado por KENG e ULLARA (1974) e COSTA et al. (1984).

Cátions Trocáveis ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Al^{3+}$  em mols trocáveis) extraídos com KCl 1 mol/L, extrator de Mehlich-1, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Acidez Extraível ( $H^+$  +  $Al^{3+}$ ) - extraída com acetato de cálcio 1 mol/L, pH 7,0, de acordo com metodologia, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - EMBRAPA (1979).

Fósforo Disponível - extraído por Mehlich-1, determinado por colorimetria, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Ataque Sulfúrico - realizado em amostras secas ao ar e nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila dos horizontes A e B, que, após contato com  $H_2SO_4$  1:1 (volume),  $d = 1,47$ , foi aquecido até a fervura, sob refluxo, e

determinado o conteúdo de  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$  e  $Al_2O_3$  conforme EMBRAPA (1979).

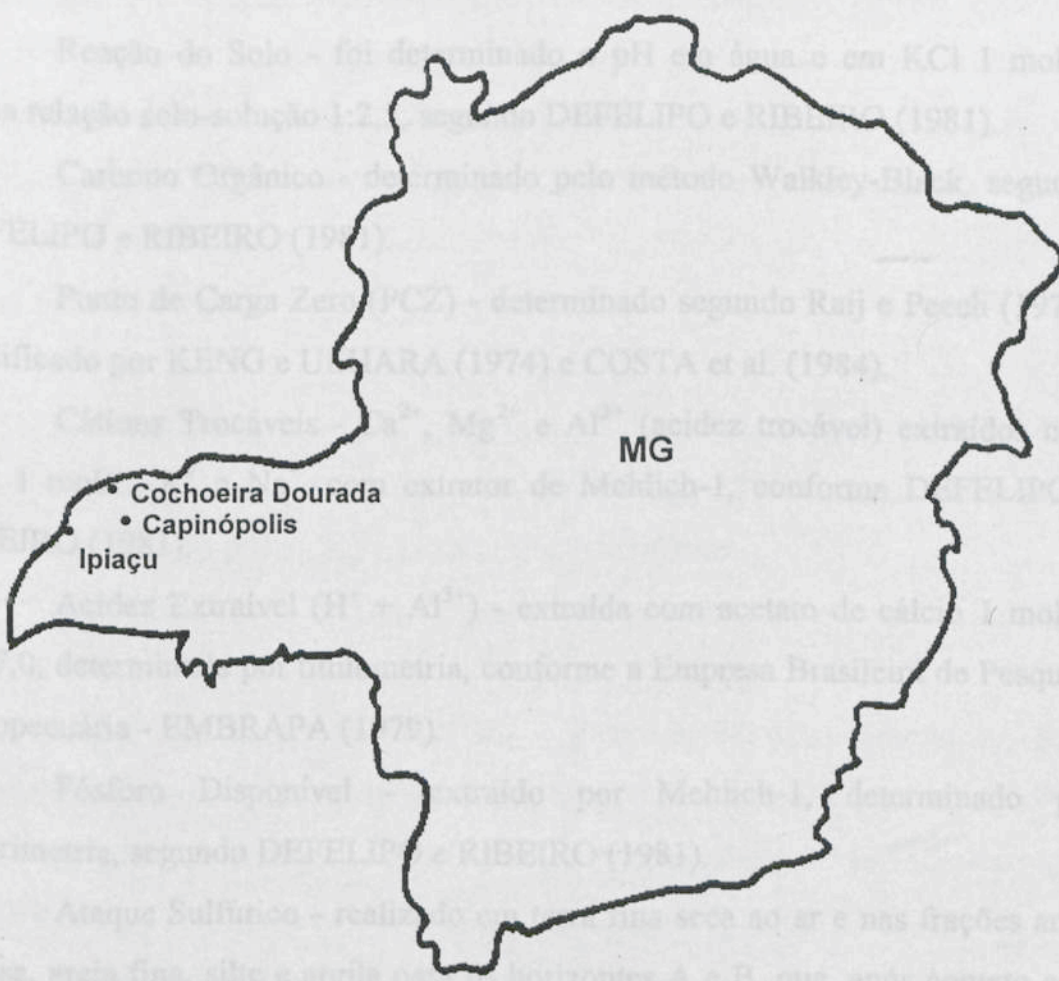


Figura 1 - Localização dos municípios onde foram realizadas as coletas das amostras de solo.

### 3.2. Coleta e preparo das amostras de solo

As amostras foram coletadas, após percurso prévio das áreas selecionadas, em 15 pontos de altitudes diferentes, em pequenas trincheiras que foram abertas para este fim, nos horizontes A e B.

Logo que as amostras chegaram ao laboratório foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm.

Para cada ponto de coleta foram retiradas, com anel volumétrico, amostras para determinação da densidade do solo, em cada horizonte.

### 3.3. Análises químicas

Reação do Solo - foi determinado o pH em água e em KCl 1 mol/L, numa relação solo-solução 1:2,5, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Carbono Orgânico - determinado pelo método Walkley-Black, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Ponto de Carga Zero (PCZ) - determinado segundo Raij e Peech (1972), modificado por KENG e UEHARA (1974) e COSTA et al. (1984).

Cátions Trocáveis -  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  (acidez trocável) extraídos com KCl 1 mol/L;  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ , com extrator de Mehlich-1, conforme DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Acidez Extraível ( $\text{H}^{+}$  +  $\text{Al}^{3+}$ ) - extraída com acetato de cálcio 1 mol/L, pH 7,0, determinada por titulometria, conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1979).

Fósforo Disponível - extraído por Mehlich-1, determinado por colorimetria, segundo DEFELIPO e RIBEIRO (1981).

Ataque Sulfúrico - realizado em terra fina seca ao ar e nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila para os horizontes A e B, que, após contato com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:1 (volume),  $d = 1,47$ , foi aquecido até a fervura, sob refluxo, e posteriormente resfriado, diluído e filtrado. Descartou-se o resíduo e foram determinados, no filtrado,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , conforme EMBRAPA (1979).

Nas frações, foram realizadas apenas as determinações de titânio, ferro e alumínio. As relações moleculares  $K_i$  e  $K_r$  foram calculadas pelas fórmulas:

$$K_i = 1,7 \times \text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$K_r = 1,7 \times \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,64 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

### 3.4. Análises mineralógicas

Óxidos de Ferro Amorfos - extraído com oxalato ácido de amônio, segundo McKEAGUE (1978).

Óxidos de Ferro Cristalinos - foram realizadas duas extrações com ditionito-citrato-bicarbonato, segundo McKEAGUE (1978).

Difratometria de Raios-X - realizada nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila para os horizontes A e B, objetivando caracterizar a natureza mineralógica destas frações. Foram utilizadas lâminas escavadas para as frações areia grossa e areia fina e lâminas orientadas para as frações silte e argila.

### 3.5. Análises físicas

Análise Textural - determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1979), sendo separadas as frações areia grossa (2,0-0,25 mm), areia fina (0,25-0,053 mm), silte (0,053-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm).

Densidade do Solo ( $D_s$ ) - determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1979).

Densidade de Partículas ( $D_p$ ) - determinada pelo método do balão volumétrico, usando o álcool etílico como líquido penetrante (EMBRAPA, 1979).

Argila Dispersa em Água (ADA) - determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1979), com modificações sugeridas por JUCKSCH (1987).

Separação de Frações - após separar as frações areia grossa e areia fina, por peneiramento, efetuou-se a separação das frações silte e argila por sedimentação a pH 4,0. Neste processo a argila é obtida por sifonamento da suspensão sobrenadante. Em seguida, as frações foram secas, em estufa, a 110° C.

Para a determinação do Grau de Floculação (GF), foi utilizada a seguinte expressão:

$$GF (\%) = 100 (1 - ADA / \text{Arg. Total})$$

Estabilidade de Agregados em Água - segundo JUCKSCH (1987), sendo utilizadas as classes de diâmetros: 2,0-1,0 mm, 1,0-0,5 mm, 0,5-0,25 mm, 0,25-0,105 mm e 0,105-0,053 mm.

Os resultados foram expressos em percentagem de peso seco dos agregados nas classes de diâmetros avaliadas. A partir desses resultados foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP), pela substituição do somatório do produto entre a percentagem de agregados obtida nas diversas classes de diâmetro e seus respectivos valores médios dos limites de cada classe de diâmetro, na fórmula  $Y = 0,876X - 0,079$ , conforme preconiza YOUKER e McGUINNESS (1956).

$$DMP = 0,876 \left( \sum_{i=1}^c n_i d_i \right) - 0,079$$

em que

DMP = diâmetro médio ponderado, em mm;

$n_i$  = frequência - percentagem de agregados obtida nas diversas classes de diâmetro;

$d_i$  = valor médio dos limites de cada classe de diâmetro; e

$c$  = número de classes de diâmetro.

### 3.6. Análises estatísticas

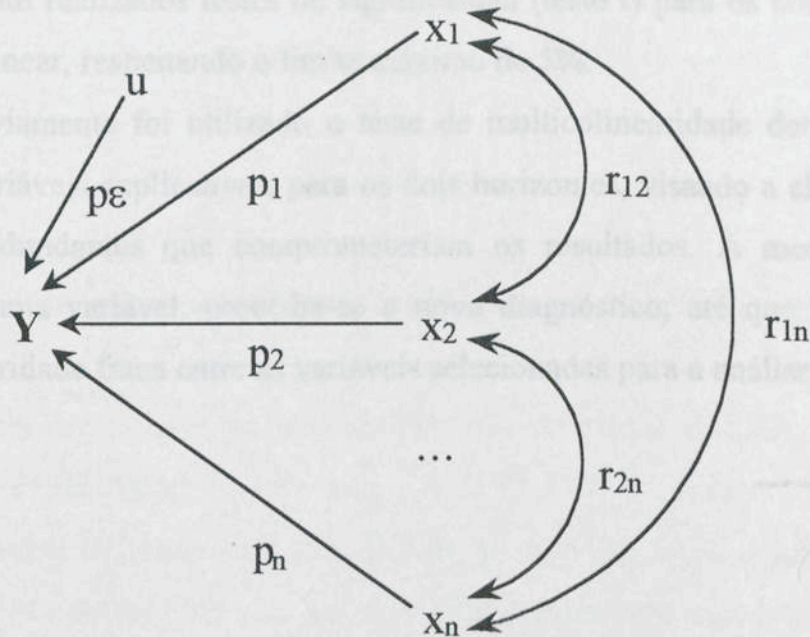
Os dados foram analisados com base em estudos de correlação - análise de trilha - entre as variáveis dependentes (principais) e as variáveis independentes (explicativas). Para isto, foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 1997).

A interpretação dos resultados de análise de trilha pauta-se basicamente em processo comparativo entre os efeitos diretos e indiretos das variáveis

explicativas, coeficiente de correlação linear (efeitos totais) e efeito residual do modelo ( $p\epsilon$ ) sobre a variável principal. Segundo Singh e Chaudhary, citados por CORREIA (1993) e outros, seguem alguns exemplos de interpretação:

1. Se o coeficiente de correlação linear é semelhante ao seu efeito direto, a correlação explica a verdadeira relação, e seu efeito direto deve ser considerado.
2. Se o coeficiente de correlação é positivo (ou negativo) e seu efeito direto é negativo (ou positivo) ou muito baixo, os efeitos indiretos devem ser a causa da correlação (neste caso, os fatores causais indiretos devem ser considerados simultaneamente).
3. Se o coeficiente de correlação é desfavorável (muito baixo), mas o efeito direto é favorável e alto, indica que restrições devem ser impostas para anular os efeitos indiretos indesejáveis, a fim de considerar os efeitos diretos (neste caso, considerando o fenômeno da agregação no solo e as variáveis adotadas no modelo, até o momento não é possível fazer restrições).
4. Se o efeito direto de uma variável explicativa for, em módulo, maior que o efeito residual do modelo ( $p\epsilon$ ), indica que a variável explica o fenômeno mais que o conjunto de todas as outras variáveis independentes não consideradas no modelo. Quando o efeito direto de uma variável explicativa for, em módulo, menor que o efeito residual do modelo, mas o coeficiente de correlação for maior que este efeito residual, ambos tendo o mesmo sinal, significa que esta variável explicativa influencia a variável principal direta e indiretamente, sendo, portanto, sua importância somente em conjunto.

Na análise de trilha, um diagrama é indispensável para especificar a natureza exata de uma estrutura proposta, com base na qual análises subseqüentes podem ser feitas. Assim, a análise de trilha vem acompanhada de seu correspondente diagrama de trilha (Li, citado por CORREIA, 1993). Neste diagrama, as setas unidirecionais indicam os efeitos diretos de cada variável explicativa ( $x$ ) sobre o diâmetro médio ponderado ( $Y$ ), enquanto as bidirecionais representam a interdependência das variáveis explicativas (Figura 2).



Y = variável principal;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  = conjunto de variáveis explicativas;

$p_i$  = efeito direto da variável explicativa  $i$  sobre a variável principal;

$r_{ij}$  = correlação entre as variáveis explicativas  $i$  e  $j$ ;

$p_i r_{ij}$  = efeito indireto da variável  $i$ , via variável  $j$ , sobre a variável principal;

$p_\epsilon$  = efeito do conjunto de variáveis não incluídas no diagrama (residual) sobre a variável principal; e

u = conjunto de variáveis não incluídas no diagrama (residual).

Figura 2 - Diagrama causal ilustrativo dos efeitos diretos e indiretos de variáveis explicativas sobre a variável principal.

Foram utilizados, como variável principal, o diâmetro médio ponderado (DMP) das classes de agregados de tamanho 2,0 a 1,0 mm, 1,0 a 0,5 mm, 0,5 a 0,25 mm, 0,25 a 0,105 mm e 0,105 a 0,053 mm e, como variáveis explicativas, as determinações de titânio, ferro e alumínio, do ataque sulfúrico, nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila, e o carbono orgânico, para os horizontes A e B. Os demais dados obtidos pelas análises laboratoriais foram utilizados, apenas, para dar suporte à discussão dos resultados.

Foram realizados testes de significância (teste t) para os coeficientes de correlação linear, respeitando o limite máximo de 5%.

Previamente foi utilizado o teste de multicolinearidade dentro de cada grupo de variáveis explicativas, para os dois horizontes, visando a eliminação de variáveis redundantes que comprometeriam os resultados. À medida que se descartava uma variável, procedia-se a novo diagnóstico, até que se obtivesse uma colinearidade fraca entre as variáveis selecionadas para a análise.

Foram encontrados teores consideráveis de óxido de titânio nas frações silte, 9,22 a 17,88 mg/kg, e areia fina, 3,84 a 14,59 mg/kg, superando as outras frações (Quadro 2). Isto pode ser devido ao fato de estes óxidos serem do tamanho da fração argila, mas se agregarem, formando agregados altamente estáveis que resistiram à dispersão na análise textural, e, ou, pelo fato de o titânio ser mais denso que a argila e, durante a separação, por sedimentação, concentrar-se junto ao silte. No entanto, esta última hipótese não justificaria os elevados teores de titânio na fração areia fina, pois sua separação da areia grossa se dá por peneiramento.

Os teores elevados de alumínio nas frações areia grossa, 10,51 a 20,59 mg/kg, e areia fina, 10,58 a 19,11 mg/kg, obtidos pelo ataque sulfúrico (Quadro 2), são devidos à presença deste elemento em agregados com alta estabilidade que resistiram aos tratamentos físicos e químicos da análise textural. Isto é reforçado pelos difratogramas de raios-X, nos quais a gibbsita é identificada nas frações areia grossa e areia fina (Figuras 3 e 4).

Quadro 2 - Teores de titânio nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila e de alumínio nas frações areia grossa e areia fina, do ataque sulfúrico para os horizontes A e B

Amostra	Horizonto	Ataque Sulfúrico					
		TiO <sub>2</sub>				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		A Grossa	A Fina	Silte	Argila	A Grossa	A Fina
dag/kg							
1	A	1,77	7,77	12,33	4,01	3,67	0,01
	B	1,47	7,01	12,96	3,28	3,37	0,01
2	A	3,25	7,70	10,35	3,40	11,23	1,43
	B	2,97	4,08	10,22	3,80	7,20	0,21
3	A	2,99	3,54	12,67	3,92	11,50	0,00
	B	3,89	4,96	11,43	4,17	12,82	12,10
4	A	3,80	4,89	15,60	4,28	11,88	10,78
	B	3,18	6,07	13,72	3,15	12,28	10,58
5	A	2,08	2,99	12,46	2,28	12,73	6,23
	B	3,35	10,38	14,94	2,85	12,42	5,28

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.1. Propriedades químicas das amostras do latossolo estudado

Foram encontrados teores consideráveis de óxidos de titânio nas frações silte, 9,22 a 17,88 dag/kg, e areia fina, 3,84 a 14,59 dag/kg, superando as outras frações (Quadro 2). Isto pode ser devido ao fato de estes óxidos serem do tamanho da fração argila, mas se agregaram, formando agregados altamente estáveis que resistiram à dispersão na análise textural, e, ou, pelo fato de o titânio ser mais denso que a argila e, durante a separação, por sedimentação, concentrar-se junto ao silte. No entanto, esta última hipótese não justificaria os elevados teores de titânio na fração areia fina, pois sua separação da areia grossa se dá por peneiramento.

Os teores elevados de alumínio nas frações areia grossa, 10,51 a 20,59 dag/kg, e areia fina, 10,58 a 19,41 dag/kg, obtidos pelo ataque sulfúrico (Quadro 2), são devidos à presença deste elemento em agregados com alta estabilidade que resistiram aos tratamentos físico e químico da análise textural. Isto é reforçado pelos difratogramas de raios-X, nos quais a gibbsita é identificada nas frações areia grossa e areia fina (Figuras 3 e 4).

Quadro 2 - Teores de titânio nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila e de alumínio nas frações areia grossa e areia fina, do ataque sulfúrico para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	Ataque Sulfúrico					
		TiO <sub>2</sub>				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		A.Grossa	A.Fina	Silte	Argila	A.Grossa	A.Fina
-----dag/kg-----							
1	A	1,77	7,77	12,33	4,01	3,67	0,01
	B	1,47	7,01	12,96	3,38	3,37	0,01
2	A	3,25	7,70	13,35	3,49	11,23	3,45
	B	2,44	7,44	15,80	3,58	7,20	0,21
3	A	2,97	4,08	10,22	3,80	10,96	7,90
	B	2,99	3,84	12,67	3,92	11,59	9,00
4	A	3,89	4,86	11,43	4,17	12,82	12,10
	B	3,80	4,89	15,60	4,28	11,88	10,78
5	A	3,18	6,07	13,72	3,10	12,28	10,58
	B	2,50	6,43	15,20	3,21	10,51	4,25
6	A	3,09	9,69	13,44	2,54	12,73	6,23
	B	3,35	10,38	14,94	2,85	12,82	5,29
7	A	5,12	6,02	12,91	3,39	19,64	19,41
	B	5,06	6,02	17,88	3,47	20,23	19,11
8	A	3,96	8,33	12,26	2,56	12,23	7,15
	B	3,03	9,16	12,83	2,57	9,12	2,81
9	A	4,04	13,96	9,22	2,44	9,43	0,01
	B	4,34	13,43	12,44	2,15	8,79	0,01
10	A	5,35	7,11	10,93	3,54	20,59	18,17
	B	5,27	7,16	14,24	3,98	20,39	16,84
11	A	1,12	5,19	13,97	2,65	0,99	0,01
	B	1,05	4,44	14,16	2,65	1,03	0,01
12	A	3,58	8,91	10,42	4,16	12,52	3,47
	B	3,30	8,63	12,78	3,60	12,60	5,15
13	A	5,11	10,76	15,28	2,97	12,65	7,65
	B	5,23	11,02	15,64	3,18	12,97	6,68
14	A	4,16	14,52	13,68	2,74	8,75	0,01
	B	3,95	14,59	14,87	2,71	7,93	0,01
15	A	4,55	12,58	14,36	2,60	6,30	0,74
	B	4,57	12,32	16,43	2,86	6,54	0,90

As amostras de solo cujos teores de carbono orgânico (CO) são maiores do que 20,0 g/kg possuem relação silte/argila bastante elevada (Quadro 3). Isto mostra uma relação forte do CO com o silte. Neste caso, trata-se de agregados formados por partículas do tamanho argila (silte funcional), que não foram destruídos na separação das frações. Para os maiores valores de CO correspondem os maiores de silte.

		6,0	19	0,18
	A	21,6	25	0,40
	B	10,5	19	0,26
1	A	30,0	27	0,53
	B	13,2	19	0,32
4	A	24,2	23	0,41
	B	12,9	14	0,22
5	A	18,3	19	0,32
	B	9,0	17	0,26
6	A	11,3	18	0,25
	B	7,2	20	0,29
7	A	21,8	29	0,57
	B	11,9	22	0,37
8	A	27,5	31	0,53
	B	11,3	23	0,35
9	A	39,9	27	0,53
	B	11,9	16	0,23
10	A	25,5	30	0,70
	B	12,3	22	0,41
11	A	14,0	9	0,20
	B	5,4	10	0,18
12	A	44,2	38	0,86
	B	12,7	21	0,32
13	A	18,5	19	0,32
	B	9,4	19	0,32
14	A	18,7	16	0,29
	B	12,7	15	0,26
15	A	17,1	29	0,36
	B	9,5	17	0,27

Quadro 3 - Teores de carbono orgânico, silte e relação silte/argila para o latossolo estudado, nos horizontes A e B

Amostra	Horizonte	CO	Silte	Silte/Argila
		-----g/kg-----	-----%-----	
1	A	18,9	17	0,27
	B	6,6	13	0,18
2	A	21,6	25	0,40
	B	10,5	19	0,26
3	A	30,0	27	0,53
	B	13,2	19	0,32
4	A	24,2	23	0,41
	B	12,9	14	0,22
5	A	18,3	19	0,32
	B	9,0	17	0,26
6	A	11,3	18	0,25
	B	7,2	20	0,29
7	A	21,8	29	0,57
	B	11,9	22	0,37
8	A	27,5	31	0,53
	B	11,3	23	0,35
9	A	39,9	27	0,53
	B	11,9	16	0,23
10	A	25,5	30	0,70
	B	12,3	22	0,41
11	A	14,0	9	0,20
	B	8,4	10	0,18
12	A	44,2	38	0,96
	B	12,7	21	0,32
13	A	18,5	19	0,32
	B	9,4	19	0,32
14	A	18,7	16	0,29
	B	12,7	15	0,26
15	A	17,1	20	0,36
	B	9,5	17	0,27

Quadro 4 A relação  $Ti/(Ti+Fe)$  para as amostras de latossolo estudadas é baixa, variando de 0,14 a 0,22 (Quadro 4). FITZPATRICK et al. (1978) verificaram que óxidos “amorfo” rico em ferro, com  $Ti/(Ti+Fe) < 0,70$ , tinham carga positiva dependente de pH. TESSENS e ZAUZYAH (1982) sugeriram que carga permanente positiva em vários Oxissolos titaníferos da Malásia estava relacionada com a substituição isomórfica do  $Fe^{3+}$  pelo  $Ti^{4+}$  nos óxidos de ferro. Neste sentido, no solo estudado pode haver o desenvolvimento de cargas positivas permanentes ou dependentes de pH.

Para os Latossolos Roxos a relação  $Fe_2O_3/TiO_2$  encontra-se até o limite máximo de 15 (CURI e FRANZMEIER, 1987), e o teor de  $Fe_2O_3$ , entre 18 e 40% (OLIVEIRA et al., 1992). Conforme pode ser verificado no Quadro 4, esta relação ficou bem abaixo deste valor, e o teor de  $Fe_2O_3$ , dentro do limite citado. Estas características são importantes para definir, em conjunto com outras, a classe deste solo.

Amostra	Horizonte	$Fe_2O_3$ (%)	$TiO_2$ (%)	$Fe_2O_3/TiO_2$	$Ti/(Ti+Fe)$
8	A	3,2	31,5	0,10	3,10
	B	3,6	36,3	0,10	5,06
9	A	6,7	27,1	0,25	4,54
	B	5,0	24,9	0,20	3,72
10	A	6,1	23,7	0,26	4,02
	B	5,5	30,7	0,18	5,73
11	A	5,0	31,6	0,16	3,75
	B	6,9	17,3	0,25	3,46
12	A	7,0	15,5	0,21	3,70
	B	6,0	24,1	0,25	3,40
13	A	5,9	24,5	0,20	4,08
	B	6,9	31,5	0,16	5,34
14	A	5,4	31,8	0,10	5,20
	B	5,8	24,1	0,14	6,31
15	A	5,7	34,4	0,14	5,93
	B	7,1	30,4	0,16	5,33

Quadro 4 - Teores de titânio e ferro do ataque sulfúrico na TFSA, nos horizontes A e B

Amostra	Horizonte	Ataque Sulfúrico		TiO <sub>2</sub> / TiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / TiO <sub>2</sub>
		TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
-----dag/kg-----					
1	A	6,2	25,1	0,20	4,05
	B	4,2	22,4	0,16	5,33
2	A	5,6	27,3	0,17	4,88
	B	5,4	26,8	0,17	4,96
3	A	5,7	22,2	0,20	3,89
	B	5,8	24,3	0,19	4,19
4	A	6,7	23,7	0,22	3,54
	B	4,4	24,5	0,15	5,57
5	A	4,9	28,4	0,15	5,80
	B	5,4	30,1	0,15	5,57
6	A	3,6	26,7	0,12	7,42
	B	5,6	27,8	0,17	4,96
7	A	6,6	31,3	0,17	4,74
	B	6,3	31,5	0,17	5,00
8	A	5,2	26,3	0,17	5,06
	B	5,6	27,1	0,17	4,84
9	A	6,7	24,9	0,21	3,72
	B	5,9	23,7	0,20	4,02
10	A	6,1	30,7	0,17	5,03
	B	5,5	31,6	0,15	5,75
11	A	5,0	17,3	0,22	3,46
	B	5,0	18,5	0,21	3,70
12	A	7,0	24,4	0,22	3,49
	B	6,0	24,5	0,20	4,08
13	A	5,9	31,5	0,16	5,34
	B	6,0	31,8	0,16	5,30
14	A	5,4	34,1	0,14	6,31
	B	5,8	34,4	0,14	5,93
15	A	5,7	30,4	0,16	5,33
	B	7,1	31,9	0,18	4,49

#### 4.2. Propriedades mineralógicas das amostras do latossolo estudado

Os teores de ferro cristalino, extraído com ditionito-citrato-bicarbonato (FeDCB), e ferro amorfo, extraído com oxalato ácido de amônio (FeOX), para os horizontes A e B, do solo estudado, são apresentados no Quadro 5. Por se tratar de latossolo de avançado estágio de desenvolvimento, esses solos apresentam minerais de ferro bem cristalizados, em quantidade muito superior aos chamados minerais amorfos ou de baixa cristalinidade.

A amostra de solo 12 do horizonte A apresenta relação FeOX/FeDCB muito elevada (0,16), devido ao alto teor de ferro amorfo, atingindo 1,43 dag/kg (Quadro 5). Isto evidencia a presença de grande quantidade de minerais de baixa cristalinidade, o que não é característico do latossolo. Esta amostra apresenta teor de CO, também, elevado (44,2 g/kg). Possivelmente está ocorrendo uma complexação do ferro pela matéria orgânica, não permitindo que haja cristalização do mesmo.

Os difratogramas de raios-X das frações argila, silte, areia fina e areia grossa, dos horizontes A e B, da amostra de solo 4, são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Esta amostra é representativa da constituição mineralógica, geralmente, encontrada neste latossolo.

No horizonte A observa-se a presença dos seguintes minerais: caulinita, hematita e gibbsita, na fração argila; caulinita, ilmenita, rutilo, hematita, gibbsita e quartzo, na fração silte; e ilmenita, hematita, gibbsita e quartzo, nas frações areia fina e areia grossa.

No horizonte B observa-se a presença dos seguintes minerais: caulinita, hematita e gibbsita, na fração argila; caulinita, ilmenita, hematita, gibbsita e quartzo, na fração silte; e ilmenita, hematita, gibbsita e quartzo, nas frações areia fina e areia grossa.

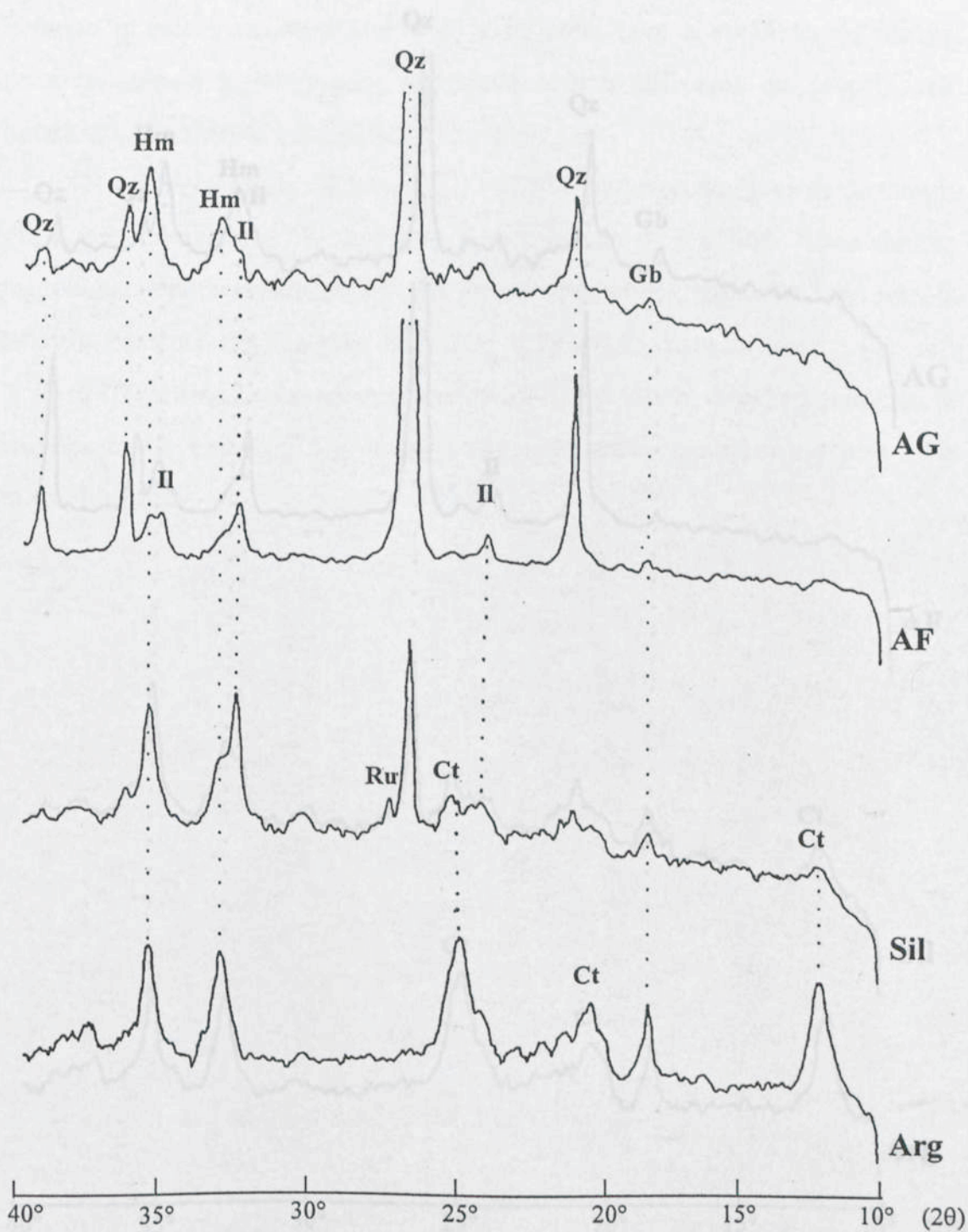
Nos difratogramas das frações areia grossa, areia fina e silte, de ambos os horizontes, foram observados os minerais hematita e gibbsita, indicando a presença de agregados de tamanho destas frações, o que caracteriza a dispersão

incompleta deste latossolo. Isto reafirma a hipótese de haver agregados altamente estáveis presentes neste solo.

Amostra	Horizonte	FeDCB	FeOX	FeOX/FeDCB
		mg/kg		
1	A	12,41	0,36	0,03
	B	9,90	0,19	0,02
2	A	12,67	0,22	0,02
	B	10,88	0,17	0,02
3	A	9,90	0,41	0,04
	B	10,14	0,19	0,02
4	A	8,54	0,30	0,03
	B	10,89	0,21	0,02
5	A	12,93	0,21	0,02
	B	10,88	0,17	0,02
6	A	10,39	0,24	0,03
	B	10,67	0,22	0,02
7	A	12,15	0,28	0,02
	B	10,88	0,19	0,02
8	A	11,38	0,22	0,02
	B	10,88	0,19	0,02
9	A	8,71	0,42	0,05
	B	8,01	0,28	0,03
10	A	10,39	0,33	0,03
	B	10,39	0,21	0,02
11	A	11,13	0,27	0,02
	B	9,66	0,19	0,02
12	A	9,18	1,43	0,16
	B	8,48	0,41	0,05
13	A	11,38	0,25	0,02
	B	10,40	0,19	0,02
14	A	11,63	0,27	0,02
	B	13,20	0,21	0,02
15	A	9,43	0,19	0,02
	B	12,15	0,19	0,02

Quadro 5 - Teores de ferro cristalino (FeDCB) e ferro amorfo (FeOX) na fração argila para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	FeDCB	FeOX	FeOX/FeDCB
		-----dag/kg-----		
1	A	12,41	0,36	0,03
	B	9,90	0,19	0,02
2	A	12,67	0,22	0,02
	B	10,88	0,17	0,02
3	A	9,90	0,41	0,04
	B	10,14	0,19	0,02
4	A	8,94	0,30	0,03
	B	10,89	0,21	0,02
5	A	12,93	0,21	0,02
	B	10,88	0,17	0,02
6	A	10,39	0,24	0,02
	B	10,67	0,22	0,02
7	A	12,15	0,28	0,02
	B	10,88	0,19	0,02
8	A	11,38	0,22	0,02
	B	10,88	0,19	0,02
9	A	8,71	0,42	0,05
	B	8,01	0,28	0,03
10	A	10,39	0,33	0,03
	B	10,39	0,21	0,02
11	A	11,13	0,27	0,02
	B	9,66	0,19	0,02
12	A	9,18	1,43	0,16
	B	8,48	0,41	0,05
13	A	11,38	0,25	0,02
	B	10,40	0,19	0,02
14	A	11,63	0,27	0,02
	B	13,20	0,21	0,02
15	A	9,43	0,19	0,02
	B	12,15	0,19	0,02

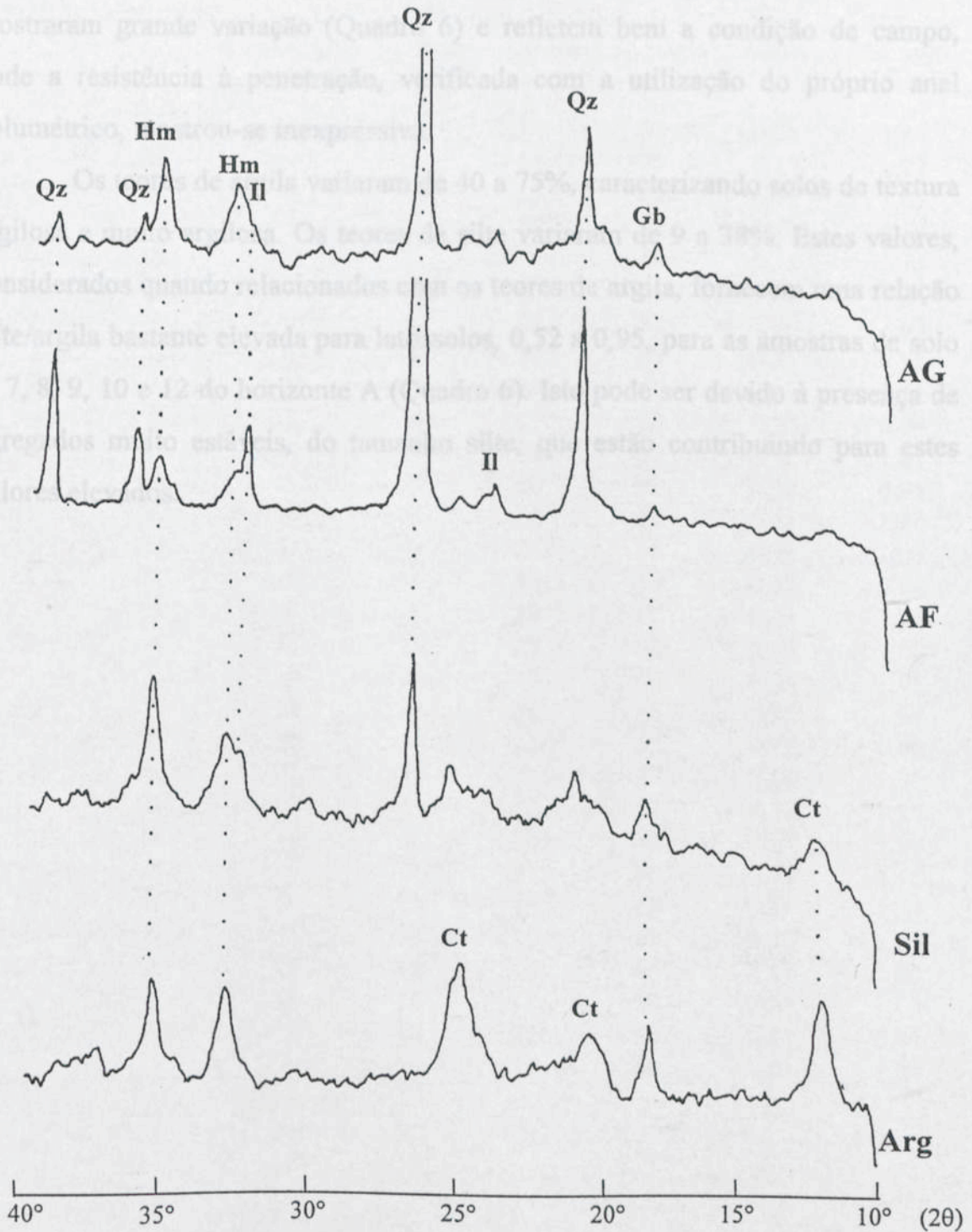


Ct - Caulinita; Il = Ilmenita; Ru = Rutilo; Hm = Hematita; Gb = Gibbsita e Qz = Quartzo.

Figura 3 - Difratoigramas de raios-X das frações argila (Arg), silte (Sil), areia fina (AF) e areia grossa (AG), do horizonte A, do solo 4.

4.3. Propriedades físicas das amostras do latossolo esbranquiado

Os resultados de densidade de solo das amostras, de modo geral, não mostraram grande variação (Quadro 6) e refletem bem a condição de campo, onde a resistência à penetração, verificada com a utilização do próprio anal volumétrico, mostrou-se inexpressiva. Os teores de argila variaram de 40 a 75% caracterizando solos de textura argilosa a muito argilosa. Os teores de silte variaram de 29 a 38%. Estes valores, considerados em relação aos teores de argila, são altos, tendo em vista a relação silte/argila bastante elevada para latossolos, 0,52 e 0,95 para as amostras de solo 3, 7, 9, 10 e 12 do horizonte A (Quadro 6). Isto pode ser devido à presença de agregados muito estáveis, do tipo *crust*, que estão contribuindo para estes valores.



Ct - Caulinita; Il = Ilmenita; Hm = Hematita; Gb = Gibbsita e Qz = Quartzo.

Figura 4 - Difratoogramas de raios-X das frações argila (Arg), silte (Sil), areia fina (AF) e areia grossa (AG), do horizonte B, do solo 4.

### 4.3. Propriedades físicas das amostras do latossolo estudado e densidade do solo das amostras do latossolo estudado, para os horizontes A e B

Os resultados de densidade de solo das amostras, de modo geral, não mostraram grande variação (Quadro 6) e refletem bem a condição de campo, onde a resistência à penetração, verificada com a utilização do próprio anel volumétrico, mostrou-se inexpressiva.

Os teores de argila variaram de 40 a 75%, caracterizando solos de textura argilosa e muito argilosa. Os teores de silte variaram de 9 a 38%. Estes valores, considerados quando relacionados com os teores de argila, fornecem uma relação silte/argila bastante elevada para latossolos, 0,52 a 0,95, para as amostras de solo 3, 7, 8, 9, 10 e 12 do horizonte A (Quadro 6). Isto pode ser devido à presença de agregados muito estáveis, do tamanho silte, que estão contribuindo para estes valores elevados.

Amostra	Horizonte	Argila (%)	Silte (%)	Relação Silte/Argila	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
3	A	5	20	0,23	0,91
7	A	12	39	0,58	1,30
8	B	11	23	0,13	1,03
9	A	5	31	0,53	0,98
9	B	4	23	0,24	1,02
10	A	11	37	0,52	1,00
10	B	8	16	0,23	1,05
11	A	14	30	0,70	1,07
11	B	13	22	0,42	0,98
12	A	22	9	0,19	1,23
12	B	19	10	0,19	1,17
13	A	14	38	0,95	1,05
13	B	9	7	0,35	1,16
14	A	10	19	0,33	1,04
14	B	9	19	0,33	1,05
15	A	12	16	0,28	1,05
15	B	12	15	0,26	1,02
15	A	11	20	0,36	0,97
15	B	9	14	0,28	1,04

Quadro 6 - Resultados da análise textural, relação silte/argila e densidade do solo das amostras do latossolo estudado, para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	Composição Granulométrica				Silte/ Argila	Densidade do Solo (g/cm <sup>3</sup> )
		A.Grossa	A. Fina	Silte	Argila		
		----- (%) -----					
1	A	7	13	17	63	0,27	1,34
	B	4	8	13	75	0,17	1,21
2	A	5	7	25	63	0,40	1,05
	B	3	6	19	72	0,26	0,86
3	A	11	11	27	51	0,53	1,17
	B	10	12	19	59	0,32	1,21
4	A	10	10	23	57	0,40	1,01
	B	10	9	14	67	0,21	0,98
5	A	11	10	19	60	0,32	1,05
	B	8	8	17	67	0,25	0,94
6	A	5	5	18	72	0,25	1,01
	B	5	5	20	70	0,28	0,91
7	A	12	9	29	50	0,58	1,30
	B	11	9	22	58	0,38	1,05
8	A	5	6	31	58	0,53	0,88
	B	4	6	23	67	0,34	1,02
9	A	11	10	27	52	0,52	1,00
	B	8	8	16	68	0,23	1,05
10	A	14	13	30	43	0,70	1,07
	B	13	13	22	52	0,42	0,98
11	A	22	22	9	47	0,19	1,23
	B	19	19	10	52	0,19	1,17
12	A	14	8	38	40	0,95	1,05
	B	9	7	21	63	0,33	1,16
13	A	10	13	19	58	0,33	1,04
	B	9	13	19	59	0,32	1,05
14	A	12	16	16	56	0,28	1,05
	B	12	15	15	58	0,26	1,02
15	A	11	14	20	55	0,36	0,97
	B	9	14	17	60	0,28	1,04

#### 4.3.1. Análise de trilha no estudo da agregação do solo

Os próximos dois quadros apresentam efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre o diâmetro médio ponderado (DMP). Os conjuntos das variáveis selecionadas apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) elevados, 0,97 e 0,73, para os horizontes A e B, respectivamente (Quadros 7 e 8). Portanto, explicam em boa parte o comportamento do fenômeno da agregação.

##### 4.3.1.1. Efeitos diretos e indiretos sobre o diâmetro médio ponderado para os horizontes A e B

Os teores de titânio na areia fina – TiAF e de carbono orgânico – CO, de ambos os horizontes, foram as variáveis de maior importância na formação de agregados, apresentando relação positiva de causa e efeito com o diâmetro médio ponderado - DMP (Quadros 7 e 8). Portanto, aumento destas variáveis implica aumento na formação de agregados.

As variáveis teor de titânio na areia grossa – TiAG e teor de titânio na argila - TiArg do horizonte A (Quadro 7) apresentaram comportamento semelhante, porém seus efeitos diretos foram menos expressivos.

Para SAINI et al. (1966), GREENLAND (1971), TISDALL e OADES (1982) e CARPENEDO e MIELNICZUK (1990), a matéria orgânica tem grande importância na formação de agregados. Alguns autores, citados por MILNES e FITZPATRICK (1989) e FITZPATRICK e LeROUX (1975), têm sugerido que o titânio em conjunto com o ferro promove ligação de frações argila dentro de macroagregados.

Quadro 7 - Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos<sup>1/</sup>, entre o diâmetro médio ponderado (DMP) e titânio, ferro, alumínio do ataque sulfúrico nas frações texturais e carbono orgânico, para o horizonte A

Var.	TiAG	TiAF	TiSil	TiArg	FeAG	FeArg	AlArg	CO	Total <sup>2/</sup>
TiAG	<u>0,18</u>	0,14	0,00	-0,02	0,05	-0,10	-0,18	0,05	0,12
TiAF	0,06	<u>0,41</u>	0,02	-0,11	0,04	-0,01	0,02	0,02	0,45°
TiSil	0,00	0,05	<u>0,12</u>	-0,08	-0,01	-0,16	-0,30	-0,19	-0,57°
TiArg	-0,01	-0,23	-0,05	<u>0,19</u>	0,00	0,02	0,17	0,08	0,18
FeAG	0,09	0,15	-0,01	0,00	<u>0,11</u>	-0,01	-0,06	0,03	0,30
FeArg	0,07	0,01	0,07	-0,01	0,00	<u>-0,26</u>	-0,30	-0,13	-0,55°
AlArg	0,06	-0,01	0,06	-0,06	0,01	-0,14	<u>-0,54</u>	-0,17	-0,79*
CO	0,04	0,04	-0,10	0,07	0,01	0,14	0,39	<u>0,23</u>	0,82*

Coefficiente de determinação ( $R^2$ ) = 0,97

Efeito residual do modelo ( $p\epsilon$ ) = 0,16

\* e ° = significativos a 1 e 5%, respectivamente, pelo teste t.

1/ Leitura dos efeitos diretos na diagonal, em grifo, e dos efeitos indiretos na horizontal.

2/ Coeficiente de correlação linear.

TiAG = teor de titânio na areia grossa; TiAF = teor de titânio na areia fina; TiSil = teor de titânio no silte; TiArg = teor de titânio na argila; FeAG = teor de ferro na areia grossa; FeArg = teor de ferro na argila; AlArg = teor de alumínio na argila; e CO = carbono orgânico.

O teor de titânio no silte – TiSil do horizonte A (Quadro 7), apesar de possuir coeficiente de correlação significativo (-0,57°), tem efeito direto menor que o efeito residual do modelo. Neste caso, o TiSil influencia o diâmetro médio ponderado somente em conjunto com outras variáveis, principalmente o teor de alumínio na argila – AlArg, que possui coeficiente negativo e elevado (- 0,30).

As variáveis teor de ferro na areia grossa – FeAG, do horizonte A (Quadro 7) e teor de titânio no silte - TiSil, teor de titânio na argila - TiArg, teor de ferro na areia grossa - FeAG, teor de ferro na areia argila – FeArg e teor de alumínio no silte - AlSil, do horizonte B (Quadro 8), não apresentaram, entre as variáveis selecionadas, quaisquer efeitos consideráveis em relação à agregação. Portanto, tais variáveis não contribuem individualmente para a formação de agregados, tendo efeito somente em conjunto.

Quadro 8 - Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos<sup>1/</sup>, entre o diâmetro médio ponderado (DMP) e titânio, ferro, alumínio do ataque sulfúrico nas frações texturais e carbono orgânico, para o horizonte B

Var.	TiAG	TiAF	TiSil	TiArg	FeAG	FeArg	AlSil	AlArg	CO	Total <sup>2/</sup>
TiAG	<u>-0,53</u>	0,23	0,01	0,03	0,07	0,05	-0,09	-0,17	0,37	-0,03
TiAF	-0,23	<u>0,53</u>	0,00	-0,18	0,06	0,01	-0,01	0,03	-0,01	0,20
TiSil	-0,20	0,00	<u>0,04</u>	0,05	0,01	0,10	0,07	-0,24	-0,07	-0,24
TiArg	-0,05	-0,34	0,01	<u>0,28</u>	0,01	0,01	-0,05	-0,06	0,27	0,08
FeAG	-0,22	0,19	0,00	0,02	<u>0,17</u>	0,02	-0,06	-0,05	0,29	0,36
FeArg	-0,22	0,04	0,03	0,05	0,02	<u>0,13</u>	0,02	-0,27	-0,04	-0,24
AlSil	-0,27	0,03	-0,01	0,07	0,05	-0,01	<u>-0,19</u>	-0,07	0,55	0,15
AlArg	-0,22	-0,03	0,02	0,04	0,02	0,09	-0,04	<u>-0,40</u>	0,07	-0,45°
CO	-0,24	-0,01	0,00	0,09	0,06	-0,01	-0,13	-0,04	<u>0,79</u>	0,52°

Coefficiente de determinação ( $R^2$ ) = 0,73

Efeito residual do modelo ( $p\epsilon$ ) = 0,52

° = significativo a 5% pelo teste t.

1/ Leitura dos efeitos diretos na diagonal, em grifo, e dos efeitos indiretos na horizontal.

2/ Coeficiente de correlação linear.

TiAG = teor de titânio na areia grossa; TiAF = teor de titânio na areia fina; TiSil = teor de titânio no silte; TiArg = teor de titânio na argila; FeAG = teor de ferro na areia grossa; FeArg = teor de ferro na argila; AlSil = teor de alumínio no silte; AlArg = teor de alumínio na argila; e CO = carbono orgânico.

A variável teor de titânio na areia grossa - TiAG do horizonte B (Quadro 8) possui efeito direto elevado, porém negativo, e coeficiente de correlação praticamente nulo com o mesmo sinal. Neste caso, esta variável contribui apenas indiretamente para a formação de agregados. No entanto, se fosse possível impor restrições para anular os efeitos indiretos indesejáveis via teores de titânio na areia fina - TiAF e de carbono orgânico, poder-se-ia considerar a contribuição direta da variável TiAG.

Os teores de ferro na argila - FeArg e de alumínio na argila - AlArg do horizonte A (Quadro 7) e de alumínio na argila - AlArg do horizonte B (Quadro 8) apresentaram relação de causa e efeito negativa com o diâmetro médio ponderado.

Quadro 9 - Efeito das variáveis explicativas sobre o DMP para os horizontes A e B

Variável	TiAG	TiAF	TiSil	TiArg	FeAG	FeArg	AlSil	AlArg	CO
DMP-A	+	+	°	+	°	-	x	-	+
DMP-B	*	+	°	°	°	°	°	-	+

+ = efeito positivo na formação de agregado.

° = efeito somente em conjunto com outras variáveis.

\* = efeito indireto na formação de agregado.

- = efeito negativo na formação de agregado.

x = variável descartada devido à multicolinearidade.

DMP-A = diâmetro médio ponderado para o horizonte A; e DMP-B = diâmetro médio ponderado para o horizonte B.

Nos solos, quanto mais próximo o pH estiver do PCZ, melhores serão as condições de floculação, mantendo-se constantes os demais fatores que influenciam esse fenômeno. Neste caso, maiores serão as chances de agregação. Por outro lado, quanto mais afastado o pH estiver do PCZ, maior a quantidade de cargas presentes no solo e melhores serão as condições para a dispersão. Para todas as amostras estudadas, o PCZ encontra-se próximo do pH do solo (Quadro 10), o que caracteriza condições favoráveis à agregação.

Quadro 10 - Resultados do Ponto de Carga Zero (PCZ), pH em água e pH em cloreto de potássio para os horizontes A e B do solo estudado

Amostra	Horizonte	PCZ	pH		$\Delta\text{pH}^{1/}$
			H <sub>2</sub> O	KCl	
1	A	4,0	6,6	5,3	-1,3
	B	4,5	6,8	5,7	-1,1
2	A	4,6	7,0	5,9	-1,1
	B	4,9	6,6	5,8	-0,8
3	A	4,2	6,2	5,0	-1,2
	B	4,8	6,3	5,4	-0,9
4	A	4,3	6,2	5,1	-1,1
	B	4,8	6,0	5,1	-0,9
5	A	4,3	6,0	5,0	-1,0
	B	4,6	5,7	5,0	-0,7
6	A	4,5	6,7	5,6	-1,1
	B	5,2	7,0	6,1	-0,9
7	A	4,5	6,0	5,0	-1,0
	B	5,2	6,1	5,5	-0,6
8	A	4,3	6,5	5,3	-1,2
	B	4,7	6,6	5,7	-0,9
9	A	4,2	6,7	5,6	-1,1
	B	4,3	6,7	5,5	-1,2
10	A	4,6	6,7	5,7	-1,0
	B	5,3	6,3	5,6	-0,7
11	A	4,4	6,0	4,8	-1,2
	B	5,2	6,3	5,7	-0,6
12	A	5,3	6,9	5,9	-1,0
	B	3,6	6,6	5,3	-1,3
13	A	4,4	5,4	4,6	-0,8
	B	4,8	5,7	5,4	-0,3
14	A	4,4	6,2	4,9	-1,3
	B	4,9	5,7	5,0	-0,7
15	A	4,8	6,4	5,4	-1,0
	B	5,5	6,5	5,8	-0,7

<sup>1/</sup>  $\Delta\text{pH} = \text{pHKCl} - \text{pHH}_2\text{O}$

- Os teores de titânio na fração de areia grossa e de titânio na argila do horizonte A contribuíram diretamente para a agregação, demonstrando a capacidade do titânio na formação de agregados, porém seus efeitos diretos foram pouco expressivos.

- As demais variáveis estudadas influenciaram apenas indiretamente ou em conjunto o fenômeno da agregação.

- Existe uma relação direta entre elevados teores de carbono orgânico e silte fino.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do titânio, ferro, alumínio e carbono orgânico na agregação de um Latossolo Roxo do Triângulo Mineiro.

Foram realizadas análises químicas, mineralógicas e físicas, em amostras coletadas nos horizontes A e B. Para a interpretação dos resultados foi utilizada a análise de trilha, a fim de avaliar o efeito do titânio, ferro e alumínio obtidos pelo ataque sulfúrico nas frações areia grossa, areia fina, silte e argila e do carbono orgânico, dos horizontes A e B, sobre o diâmetro médio ponderado das classes de agregados de tamanho 2,0 a 1,0 mm, 1,0 a 0,5 mm, 0,5 a 0,25 mm, 0,25 a 0,105 mm e 0,105 a 0,053 mm.

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- O teor de titânio na fração areia fina e o teor de carbono orgânico foram as variáveis que melhor se relacionaram com o diâmetro médio ponderado, exercendo influência direta na formação de agregados, para os dois horizontes estudados.

- Os teores de ferro na argila e de alumínio na argila do horizonte A e de alumínio na argila do horizonte B apresentaram relação de causa e efeito negativa com o diâmetro médio ponderado.

- Os teores de titânio na fração na areia grossa e de titânio na argila do horizonte A contribuíram diretamente para a agregação, demonstrando a capacidade do titânio na formação de agregados, porém seus efeitos diretos foram pouco expressivos.

- As demais variáveis estudadas influenciaram apenas indiretamente ou em conjunto o fenômeno da agregação.

- Existe uma relação direta entre elevados teores de carbono orgânico e silte funcional.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, W.A. The effect of organic matter on the bulk densities of some uncultivated podzolic soils. *J. Soil Sci.*, v.24, n.1, p.10-17, 1973.
- ANAND, R.R., GILKES, R.J. Weathering of illinite in a laterite pallidone. *Clays Clay Miner.*, v.32, n.3, p.363-374, 1984.
- ARCA, M.N., WEED, S.B. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxides and clay. *Soil Sci.*, v.101, n.3, p.164-170, 1966.
- BAILEY, S.W., CAMERON, E.M., SPEDDEN, H.R., WEEGE, R.J. The alteration of illinite in beach sands. *Econ. Geol.*, v.51, p.263-279, 1956.
- BAIN, D.C. A Titanium-rich soil clay. *J. Soil Sci.*, v.27, n.1, p.68-78, 1976.
- BARBERIS, E., AJMONNEMARSAN, P., BOERO, V., ARDUINO, E. Aggregation of soil particles by iron oxides in various size fractions of soil B horizons. *J. Soil Sci.*, v.42, p.535-542, 1991.
- BAVER, L.D., GARDNER, W.H., GARDNER, W.R. Física de solos. México: Centro Regional de Ayuda Técnica Americana, 1975. 520p.
- BLACKMORE, A.V. Aggregation of clay by the products of iron(II) hydrolysis. *Aust. J. Soil Res.*, v.11, n.1, p.75-82, 1973.
- BLEEKER, P. The mineralogy of eight lateritic and related soil from Papua New Guinea. *Geoderma*, v.8, n.3/3, p.191-205, 1972.

BRYAN, R.J. The efficiency of aggregation indices in the comparison of some english and canadian soils. *J. Soil Sci.*, v.22, n.2, p.156-178, 1971.

CARPENEDO, V., MIELNICZUK, J. Estados de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Rev. bras. cienc. solo*, v.14, n.1, p.99-105, 1990.

CARVALHO, A.F. Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da Região Sudeste. Viçosa, MG: UFV, 1991. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHAPMAN, S.L. Soil aggregation and origin of silty soils in northwest Arkansas based on Zirconium-Titanium contents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, v.32, n.2, p.255-274, 1968.

CHESTERS, G., ATTOE, O.J., ALLEN, G.N. Soil aggregation in relation to

ADAMS, W.A. The effect of organic matter on the bulk densities of some uncultivated podzolic soils. *J. Soil Sci.*, v.24, n.1, p.10-17, 1973.

ANAND, R.R., GILKES, R.J. Weathering of ilmenite in a lateritic pallid zone. *Clays Clay Miner.*, v.32, n.5, p.363-374, 1984.

ARCA, M.N., WEED, S.B. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxides and clay. *Soil Sci.*, v.101, n.3, p.164-170, 1966.

BAILEY, S.W., CAMERON, E.M., SPEDDEN, H.R., WEEGE, R.J. The alteration of ilmenite in beach sands. *Econ. Geol.*, v.51, p.263-279, 1956.

BAIN, D.C. A Titanium-rich soil clay. *J. Soil Sci.*, v.27, n.1, p.68-70, 1976.

BARBERIS, E., AJMONNEMARSAN, F., BOERO, V., ARDUINO, E. Aggregation of soil particles by iron oxides in various size fractions of soil B horizons. *J. Soil Sci.*, v.42, p.535-542, 1991.

BAVER, L.D., GARDNER, W.H., GARDNER, W.R. **Física de suelos**. México: Centro Regional de Ayuda Técnica. Americana, 1973. 529p.

BLACKMORE, A.V. Aggregation of clay by the products of iron(III) hydrolysis. *Aust. J. Soil Res.*, v.11, n.1, p.75-82, 1973.

BLEEKER, P. The mineralogy of eight latosolic and related soil from Papua New Guinea. *Geoderma*, v.8, n.2/3, p.191-205, 1972.

DE FELIPE, B.V., BIREIRO, A.C. Análise química de solos pedológicos. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17p. (Módulo de trabalho 29)

- BRYAN, R.B. The efficiency of aggregation indices in the comparison of some english and canadian soils. **J. Soil Sci.**, v.22, n.2, p.166-178, 1971.
- CARPENEDO, V., MIELNICZUK, J. Estados de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Rev. bras. cienc. solo**, v.14, n.1, p.99-105, 1990.
- CARVALHO, A.F. **Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da Região Sudeste**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 73p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CHAPMAN, S.L., HORN, M.E. Parent material uniformity and origin of silty soils in northwest Arkansas based on Zirconium-Titanium contents. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.32, n.2, p.265-271, 1968.
- CHESTERS, G., ATTOE, O.J., ALLEN, O.N. Soil aggregation in relation to various soil constituents. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.21, n.3, p.272-277, 1957.
- CLOOS, P., LEONARD, A.J., MOREAU, J.P., HERBILLION, A., FRIPIAT, J.J. Structural organization in amorphous silico-aluminas. **Clays Clay Miner.**, v.17, p.279-287, 1969.
- COSTA, L.M., MORAIS, E.J., RIBEIRO, A.C., FONSECA, S. Cargas elétricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo com diferentes coberturas florestais. **Rev. Ceres**, v.31, n.177, p. 351-359, 1984.
- CORREIA, J.R. **Uso de técnicas multivariadas no estudo das interrelações de características do solo e a produtividade do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1993. 106p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- CRUZ, C.D., REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390p.
- CRUZ, C.D. **Programa GENES: Aplicativo computacional em Genética e Estatística**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1997. 420p.
- CURI, N., FRANZMEIER, D.P. Effect of parent rocks of chemical and mineralogical properties of some oxisols in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.51, n.1, p.153-158, 1987.
- DEFELIPO, B.V., RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo: metodologia**. Viçosa, MG: UFV, 1981. 17p. (Boletim de extensão, 29).

- DESHPANDE, T.L., GREENLAND, D.J., QUIRK, J.P. Role of iron oxides in bonding of soil particles. **Nature**, v.201, p.107-108, 1964.
- DESHPANDE, T.L., GREENLAND, D.J., QUIRK, J.P. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. **J. Soil Sci.**, v.19, n.1, p.108-122, 1968.
- DREES, L.R., WILDING, L.P. Elemental distribution in the light mineral isolate of soil separates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.42, n.6, p.976-978, 1978.
- EDWARDS, A.P., BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **J. Soil Sci.**, v.18, n.1, p.65-73, 1967.
- ELSON, J., LUTZ, J.F. Factors affecting aggregation of Cecil soils and effect of aggregation on run-off and erosion. **Soil Sci.**, v.50, p.265-275, 1940.
- EI RAYAH, H.M.E., ROWELL, D.L. The influence of iron and aluminum hydroxides on the swelling of Na-montmorillonite and the permeability of Na-soil. **J. Soil Sci.**, v.24, n.1, p.137-144, 1973.
- EI SWAIFY, S.A., EMERSON, W.W. Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminum and iron hydroxides: I. Swelling and aggregate stability after drying. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.39, p.1056-1063, 1975.
- EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. **J. Soil Sci.**, v.10, n.2, p.235-244, 1959.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- FERREIRA, M.M. **Influência da mineralogia nas propriedades físicas de Latossolos Brasileiros**. Viçosa, MG: UFV, 1988. 79p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- FITZPATRICK, R.W., LeROUX, J. Pedogenic and solid solution studies on iron-titanium oxides. In BAILE, S.W. (Ed.) **Proc. Int. Clay Conf. Mexico City**. Wilmette: Applied Publ., 1975. p. 585-599.
- FITZPATRICK, R.W., LeROUX, J., SCHWERTMANN, U. Amorphous and crystalline iron-titanium oxides in synthetic preparation, at near ambient conditions, and in soil clays. **Clays Clay Miner.**, v.26, p.189-201, 1978.

- FONTES, M.P.F. Iron oxide-clay mineral association in Brazilian oxisols: a magnetic separation study. **Clays Clay Miner.**, v.40, n.2, p.175-179, 1992.
- FORDHAM, A.W., NORRISH, K. Electron microprobe and electron microscope studies of soil clay particles. **Aust. J. Soil Res.**, v.17, p.283-306, 1979.
- FORDHAM, A.W., NORRISH, K. The nature of soil particles particularly those reacting with arsenate in a series of chemically treated samples. **Aust. J. Soil Res.**, v.21, n.4, p.455-477, 1983.
- FUJIMOTO, G., SHERMAN, G.D., CHANG, A.E. The chemical composition of the separated mineral fractions of a Ferruginous Humic Latosol profile. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.13, p.166-169, 1949.
- GAREY, C.L. Properties of soil aggregates: I. Relations to size, water stability and mechanical composition. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.18, n.1, p.16-18, 1954.
- GREENLAND, D.J., OADES, J.M., SHERWIN, T.W. Electron microscope observations of iron oxides in some red soils. **J. Soil Sci.**, v.19, n.1, p.123-126, 1968.
- GREENLAND, D.J. Interactions between humic and fulvic acids and clays. **Soil Sci.**, v.111, n.1, p.34-41, 1971.
- GREY, I., REID, F. The structure of pseudorutile and its role in the natural alteration of ilmenite. **Am. Miner.**, v.60, p. 898-906, 1975.
- HSU, P.H. Aluminum oxides and oxyhydroxides. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison: Soil Science of America Book Series, 1989. Cap. 7, p.331-378.
- JOFFE, J.S., PUGH, A.J. Soil profile studies, distribution of titanium in soils with special reference to podzols. **Soil Sci.**, v.38, p.245-257, 1934.
- JONES, R.C., HUDNALL, W.H., SAKAI, W.S. Some highly weathered soils of Puerto Rico. **Geoderma**, v.27, n.1/2, p.75-137, 1982.
- JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho - Escuro**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 37 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- KARIN, A. The pedological significance of titanium. **J. Soil Sci.**, v.4, n.1, p.56-58, 1953.

- KATSURA, T., KUSHIRO, I., AKIMOTO, S., WALKER, J.L., SHERMAN, G.D. Titanomagnetite and titanomaghemite in a Hawaiian soil. **J. Sediment. Petrol.** V.32, p.299-308, 1962.
- KAUP, B.S., CARTER, B.J. Determining Ti source and distribution within a Paleustalf by micromorphology, submicroscopy and elemental analysis. **Geoderma**, v.40, n.1/2, p.141-156, 1987.
- KELLERMAN, V.V., TSYURUPA, I.G. Role of iron and organic matter in the aggregation of a soil's clay components. **Soviet Soil Sci.**, n.8, p.940-947, 1966.
- KENG, J.C., UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of oxisols and ultisols. **Proc. - Soil Crop Sci. Soc. Fla.**, v.31, p.119-126, 1974.
- KITAGAWA, Y. Goethite and hematite in some soil from the Amazon Region. **Soil Sci. Plant. Nutr.**, v.29, n.2, p.209-217, 1983.
- KROTH, E.M., PAGE, J.B. Aggregate formation in soils with special reference to cementing substances. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.11, n.1, p.27-34, 1947.
- MARTIN, J.P. The effect of composts and compost materials upon the aggregation of the silt and clay particles of collington sandy loam. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.7, p.218-222, 1943.
- McINTYRE, D.S. The effect of free ferric oxide on the structure of some terra rossa and rendizina soils. **J. Soil Sci.**, v.7, n.2, p.302-306, 1956.
- McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. 2.ed. Canadian Society of Soil Science, 1978. 212 p.
- McNEAL, B.L., LAYFIELD, D.A., NORVELL, W.A., RHOADES, J.D. Factors influencing hydraulic conductivity of soils in the presence of mixed salt solution. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.32, n.2, p.187-190, 1968.
- MILNES, A.R., FITZPATRICK, R.W. Titanium and Zirconium Minerals. In: DIXON, J.B., WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2ed. Madison: Soil Science of America Book Series, 1989. Cap. 23, p.1132-1205.
- MONIZ, A.C., BUOL, S.W., WEED, S.B. Formation of an Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brasil. I. Double-water flow model of soil development. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.46, n.6, p.1228-1233, 1982.

- MORAD, S., ALDAHAN, A.A. Authigenesis of titanium minerals in two proterozoic sedimentary rocks from southern and central sweden. **J. Sediment Petrol.**, v.52, p.1295-1305, 1982.
- MOURA FILHO, W., BUOL, S.W. Studies of a Latosol Roxo (Eustrtox) in Brazil: Micromorphology effect on ion release. **Experiantiae**, v.21, n.8, p.161-177, 1976.
- OLIVEIRA, J.B., JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.
- OLIVEIRA, T.S. **Efeitos dos ciclos de umedecimento e secagem sobre propriedades físicas e químicas de quatro latossolos brasileiros**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 104p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- OLIVEIRA, L.C.A. **Comportamento de colóides e microagregados em colunas de materiais de dois latossolos submetidos a sucessivos ciclos de umedecimento e secagem**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- PARKS, G.A. The isoelectric points of solid oxides, solid hydroxides, and aqueous hydroxo complex systems. **Chem. Rev.**, v.65, p.177-198, 1965.
- PETERSON, J.B. The effect of montmorillonitic and kaolinitic clays on the formation of platy structures. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.9, p.37-48, 1944.
- RAMAN, K.V., JACKSON, M.L. Rutile and anatase determination in soils and sediments. **Am. Mineral.** v.50, p.1086-1092, 1965.
- RICH, C.I. Hydroxy interlayers in expansible layer silicates. **Clays Clay Miner.** v.16, p.15-30, 1968.
- ROTH, C.H., CASTRO FILHO, C., MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. **Rev. bras. cienc. solo**, v.15, n.3, p.241-248, 1991.
- SAINI, G.R., MacLEAN, A.A., DOYLE, J.J. The influence of some physical and chemical properties on soil aggregation and response to VAMA. **Can. J. Soil Sci.**, v.46, p.155-160, 1966.

- SCHWERTMANN, U., KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of Southern and Central Brasil. **Soil Sci.**, v.139, n.4, p.344-350, 1985.
- SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. 2ed. Madison: Soil Science of America Book Series, 1989. Cap. 8, p.379-438.
- SHADFAN, H., DIXON, J.B., CALHOUN, F.G. Iron oxide properties versus strength of ferruginous crust and iron-glaebules in soils. **Soil Sci.**, v.140, n.5, p.317-325, 1985.
- SHERMAN, G.D., FOSTER, Z.C., FUJIMOTO, C.K. Some of the properties of the Ferruginous Humic Latosols of the hawaiian islands. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.13, p.471-476, 1949.
- SHERMAN, G.D. The titanium content of hawaiian soils and its significance. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v.16, n.1, p.15-18, 1952.
- TESSENS, E., ZAUYAH, S. Positive permanent charge in Oxisols. **Soil Sci. Soc. J.** v.46, n.5, p.1103-1106, 1982.
- TEUFER, G., TEMPLE, A.K. Pseudorutile - a new mineral intermediate between ilmenite and rutile in the N alteration of ilmenite. **Nature**, v.211, p.179-181, 1966.
- TISDALL, J.M., OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Sci.**, v.33, n.2, p.141-163, 1982.
- WELDON, T.A., HIDE, J.C. Some chemical properties of soil organic matter and of sesquioxides associated with aggregation in soils. **Soil Sci.**, v.54, n.4, p.343-352, 1942.
- WHITE, E.M. Subsoil structure genesis: Theoretical consideration. **Soil Sci.**, v.101, n.2, p.135-141, 1966.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **J. Am. Soc. Agron.**, v.28, p.337-351, 1936.
- YOUKER, R.E., McGUINNESS, J.L. A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. **Soil Sci.**, v.83, n.4, p.291-294, 1956.

APÊNDICE

Quadro 1A - Caracterização física dos materiais do lat-ssolo estrilado para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	Composição Química		Argila	Bolo	Zenizante (g/cm <sup>3</sup> )	MADA	QF
		Δ Gravim	Δ P <sub>100</sub> (%)					
1	A	4	13,0	63	1,34	2,99	29,14	53,89
2	A	4	8	72	1,21	2,85	31,37	68,71
3	A	4	7	65	1,05	3,06	32,70	64,36
4	B	4	6	72	0,86	2,95	2,86	96,23
5	A	11	11	51	1,37	2,81	10,41	79,58
6	B	10	12	58	1,31	2,94	12,64	76,34
7	A	10	10	57	1,01	2,50	8,38	83,33
8	B	10	7	67	0,68	2,94	5,17	96,16
9	A	11	10	60	1,05	2,90	6,50	82,12
10	B	8	8	67	0,94	2,94	0,08	99,92
11	A	1	3	72	1,01	2,94	18,72	74,04
12	B	12	1	70	0,91	2,67	6,97	88,61
13	A	11	9	58	1,30	3,08	11,05	75,79
14	B	11	7	58	1,05	3,08	0,12	99,79
15	A	4	6	73	0,68	2,99	17,51	66,85
16	B	4	6	67	1,05	2,95	1,39	96,68
17	A	11	11	61	1,08	2,80	15,49	64,07
18	B	9	8	69	1,05	2,95	16,85	75,22
19	A	14	13	41	1,07	2,96	2,68	92,11
20	B	15	15	52	0,95	3,56	4,64	97,45
21	A	22	22	47	1,22	2,85	5,15	82,62
22	B	19	10	53	1,17	2,93	0,12	99,17
23	A	14	8	46	1,04	2,88	14,83	62,70
24	B	7	7	63	1,16	2,94	29,42	31,31
25	A	10	10	55	1,04	2,90	5,03	89,67
26	B	8	13	50	1,03	3,05	0,16	99,67
27	A	12	16	55	1,05	3,05	10,95	80,41
28	B	12	15	58	1,02	3,10	2,78	91,15
29	A	11	14	53	0,97	2,90	12,83	76,61
30	B	8	14	60	1,04	3,03	0,57	99,39

APÊNDICE

## APÊNDICE

Quadro 1A - Caracterização física dos materiais do latossolo estudado para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	Composição Granulométrica		Argila	Densidade		ADA	GF
		A. Grossa	A. Fina		Solo	Partícula		
1	A	7	13	63	1,34	2,99	29,14	53,99
2	B	4	8	75	1,21	2,88	23,37	68,75
3	A	5	7	63	1,05	3,06	22,70	64,14
3	B	3	6	72	0,86	2,99	2,40	96,65
4	A	11	11	51	1,17	2,80	10,41	79,55
4	B	10	12	59	1,21	2,84	13,64	76,74
5	A	10	10	57	1,01	2,80	8,28	85,35
5	B	10	9	67	0,98	2,94	9,17	86,19
6	A	11	10	60	1,05	2,80	8,30	86,13
6	B	8	8	67	0,94	2,94	0,08	99,88
7	A	5	5	72	1,01	2,94	18,72	74,04
7	B	5	5	70	0,91	3,03	0,97	98,61
8	A	12	9	50	1,30	3,03	12,05	75,79
8	B	11	9	58	1,05	3,08	0,12	99,79
9	A	5	6	58	0,88	2,99	17,51	69,89
9	B	4	6	67	1,02	2,92	1,29	98,08
10	A	11	10	52	1,00	2,80	18,49	64,07
10	B	8	8	68	1,05	2,90	16,86	75,22
11	A	14	13	43	1,07	2,96	7,69	82,11
11	B	13	13	52	0,98	3,08	1,08	97,95
12	A	22	22	47	1,23	2,86	8,19	82,42
12	B	19	19	52	1,17	2,90	0,43	99,17
13	A	14	8	40	1,05	2,68	14,83	62,70
13	B	9	7	63	1,16	2,84	29,42	53,59
14	A	10	13	58	1,04	2,99	6,05	89,67
14	B	9	13	59	1,05	3,08	0,18	99,69
15	A	12	16	56	1,05	3,05	10,96	80,48
15	B	12	15	58	1,02	3,10	2,79	95,15
15	A	11	14	55	0,97	2,96	12,86	76,61
15	B	9	14	60	1,04	3,03	0,55	99,09

Quadro 2A - Caracterização química dos materiais do latossolo estudado para os horizontes A e B

Amostra	Horizonte	pH		Complexo Sortivo							V	m	
		H <sub>2</sub> O	KCl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	S			T
1	A	6,6	5,3	2,93	0,57	0,69	0,36	0,30	3,83	4,75	8,59	55,36	5,94
2	B	6,8	5,7	2,04	0,40	0,28	0,24	0,30	1,83	2,97	4,81	61,87	9,16
3	A	7,0	5,9	3,06	0,84	0,20	0,18	0,35	2,50	4,28	6,78	63,12	7,56
3	B	6,6	5,8	1,65	0,54	0,08	0,07	0,25	2,67	2,34	5,01	46,77	9,64
4	A	6,2	5,0	2,36	0,59	0,44	0,37	0,35	6,83	3,76	10,59	35,47	8,53
4	B	6,3	5,4	1,47	0,42	0,19	0,18	0,30	3,67	2,26	5,93	38,16	11,71
5	A	6,2	5,1	1,72	0,63	0,24	0,22	0,30	5,67	2,81	8,48	33,18	9,64
5	B	6,0	5,1	0,83	0,32	0,05	0,05	0,30	3,83	1,25	5,08	24,54	19,39
6	A	6,0	5,0	1,28	0,36	0,06	0,05	0,35	5,50	1,75	7,25	24,09	16,70
6	B	5,7	5,0	0,24	0,32	0,03	0,03	0,35	3,83	0,62	4,45	13,87	36,18
7	A	6,7	5,6	2,39	0,46	0,49	0,40	0,30	3,00	3,74	6,74	55,48	7,43
7	B	7,0	6,1	1,87	0,34	0,35	0,30	0,25	1,00	2,86	3,86	74,11	8,03
8	A	6,0	5,0	0,91	0,42	0,12	0,11	0,35	5,67	1,56	7,22	21,56	18,35
8	B	6,1	5,5	0,56	0,16	0,03	0,03	0,35	4,17	0,78	4,94	15,70	31,09
9	A	6,5	5,3	3,43	0,49	0,10	0,10	0,25	3,17	4,12	7,29	56,56	5,72
9	B	6,6	5,7	1,99	0,26	0,04	0,04	0,25	2,17	2,34	4,50	51,87	9,67
10	A	6,7	5,6	1,95	0,27	0,25	0,23	0,25	4,67	2,70	7,37	36,63	8,47
10	B	6,7	5,5	3,73	0,75	0,15	0,14	0,30	2,50	4,77	7,27	65,60	5,92
11	A	6,7	5,7	2,49	0,55	0,06	0,06	0,25	4,17	3,15	7,32	43,08	7,34
11	B	6,3	5,6	0,95	0,24	0,03	0,02	0,30	3,17	1,25	4,42	28,31	19,35
12	A	6,0	4,8	0,83	0,23	0,07	0,06	0,50	4,50	1,20	5,70	21,04	29,43
12	B	6,3	5,7	0,71	0,26	0,04	0,04	0,30	2,00	1,05	3,05	34,39	22,25
13	A	6,9	5,9	2,45	0,36	0,97	0,79	0,25	4,33	4,57	8,90	51,35	5,19
13	B	6,6	5,3	1,64	0,30	0,28	0,24	0,30	3,83	2,46	6,29	39,11	10,87
14	A	5,4	4,6	0,35	0,10	0,05	0,04	1,00	6,33	0,54	6,87	7,88	64,85
14	B	5,7	5,4	0,21	0,04	0,02	0,02	0,35	3,17	0,30	3,46	8,58	54,09
15	A	6,2	4,9	0,58	0,28	0,62	0,51	0,40	5,83	1,99	7,82	25,42	16,75
15	B	5,7	5,0	0,11	0,15	0,13	0,12	0,40	4,17	0,51	4,68	10,98	43,77
15	A	6,4	5,4	1,28	0,36	0,14	0,13	0,40	3,83	1,90	5,73	33,16	17,38
15	B	6,5	5,8	0,83	0,13	0,03	0,03	0,25	2,50	1,02	3,52	28,98	19,68

Quadro 3A - Determinação de fósforo e carbono orgânico e de silício, ferro, alumínio e titânio do ataque sulfúrico nos horizontes A e B, do latossolo estudado

Amostra	Horizonte	P mg/dm <sup>3</sup>	CO g/kg	Ataque Sulfúrico (d=1,47)				SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Ki)	SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Kr)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>			
				-----dag/kg-----						
1	A	17,39	18,9	16,9	14,7	25,1	6,2	1,95	0,52	0,92
	B	3,25	6,6	20,2	19,0	22,4	4,2	1,81	1,03	1,33
2	A	4,17	21,6	15,4	18,4	27,3	5,6	1,42	0,73	1,06
	B	2,31	10,5	15,8	20,2	26,8	5,4	1,33	0,72	1,18
3	A	13,47	30,0	12,8	20,2	22,2	5,7	1,08	0,63	1,43
	B	3,45	13,2	13,2	19,4	24,3	5,8	1,16	0,64	1,25
4	A	4,04	24,2	13,8	20,6	23,7	6,7	1,14	0,65	1,36
	B	2,04	12,9	13,5	20,7	24,5	4,4	1,11	0,63	1,33
5	A	2,95	18,3	13,5	18,5	28,4	4,9	1,24	0,62	1,02
	B	1,06	9,0	14,6	20,2	30,1	5,4	1,23	0,63	1,05
6	A	7,07	11,3	17,6	22,0	26,7	3,6	1,36	0,76	1,29
	B	1,04	7,2	17,3	20,5	27,8	5,6	1,43	0,77	1,16
7	A	6,60	21,8	10,0	20,5	31,3	6,6	0,83	0,42	1,03
	B	0,94	11,9	10,2	22,0	31,5	6,3	0,79	0,41	1,10
8	A	3,67	27,5	15,9	21,1	26,3	5,2	1,28	0,71	1,26
	B	1,29	11,3	16,8	21,1	27,1	5,6	1,35	0,74	1,22
9	A	2,13	39,9	18,0	15,0	24,9	6,7	2,04	0,99	0,94
	B	1,35	11,9	20,7	16,9	23,7	5,9	2,08	1,10	1,12
10	A	12,45	25,5	10,3	21,1	30,7	6,1	0,83	0,43	1,08
	B	0,84	12,3	11,0	21,9	31,6	5,5	0,85	0,44	1,09
11	A	2,40	14,0	11,0	14,6	17,3	5,0	1,28	0,73	1,32
	B	0,45	8,4	12,3	14,4	18,5	5,0	1,45	0,80	1,22
12	A	2,15	44,2	16,7	13,5	24,4	7,0	2,10	0,97	0,87
	B	0,47	12,7	21,5	15,9	24,5	6,0	2,30	1,16	1,02
13	A	2,21	18,5	11,6	18,6	31,5	5,9	1,06	0,51	0,93
	B	0,39	9,4	12,3	18,3	31,8	6,0	1,14	0,54	0,90
14	A	1,29	18,7	10,2	18,9	34,1	5,4	0,92	0,42	0,87
	B	0,35	12,7	9,9	19,3	34,4	5,8	0,87	0,41	0,88
15	A	1,66	17,1	12,3	19,4	30,4	5,7	1,08	0,54	1,00
	B	0,47	9,5	11,6	18,0	31,9	7,1	1,09	0,51	0,88

Quadro 4A - Determinação de titânio, ferro e alumínio do ataque sulfúrico nas frações texturais nos horizontes A e B, do latossolo estudado

Amostra	Horizonte	Ataque Sulfúrico (d=1,47)											
		TiO <sub>2</sub>				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			
		A.Grossa	A.Fina	Silte	Argila	A.Grossa	A.Fina	Silte	Argila	A.Grossa	A.Fina	Silte	Argila
1	A	1,77	7,77	12,33	4,01	28,25	12,45	26,75	23,55	3,67	0,01	6,17	25,37
	B	1,47	7,01	12,96	3,38	27,40	11,40	28,10	21,80	3,37	0,01	5,92	27,47
2	A	3,25	7,70	13,35	3,49	27,35	18,20	35,55	25,28	11,23	3,45	10,57	27,33
	B	2,44	7,44	15,80	3,58	27,25	14,60	37,58	25,30	7,20	0,21	4,71	28,12
3	A	2,97	4,08	10,22	3,80	36,20	13,68	28,08	21,38	10,96	7,90	14,84	28,65
	B	2,99	3,84	12,67	3,92	44,65	14,85	27,85	22,75	11,59	9,00	11,33	30,00
4	A	3,89	4,86	11,43	4,17	50,30	18,68	29,85	21,00	12,82	12,10	14,92	29,39
	B	3,80	4,89	15,60	4,28	51,75	17,53	29,75	22,78	11,88	10,78	8,16	31,70
5	A	3,18	6,07	13,72	3,10	53,55	20,85	34,40	25,65	12,28	10,58	6,29	27,62
	B	2,50	6,43	15,20	3,21	58,10	17,85	32,20	26,25	10,51	4,25	4,49	28,20
6	A	3,09	9,69	13,44	2,54	45,50	26,20	34,50	23,10	12,73	6,23	7,24	28,91
	B	3,35	10,38	14,94	2,85	44,30	26,10	36,25	24,50	12,82	5,29	5,68	28,81
7	A	5,12	6,02	12,91	3,39	37,15	26,63	38,00	27,05	19,64	19,41	13,43	29,74
	B	5,06	6,02	17,88	3,47	38,15	25,80	43,85	27,95	20,23	19,11	6,79	31,49
8	A	3,96	8,33	12,26	2,56	34,60	27,20	34,60	22,50	12,23	7,15	8,02	27,84
	B	3,03	9,16	12,83	2,57	35,85	25,83	42,28	22,48	9,12	2,81	8,08	30,04
9	A	4,04	13,96	9,22	2,44	45,00	30,70	27,75	19,74	9,43	0,01	12,45	24,02
	B	4,34	13,43	12,44	2,15	46,35	28,95	30,35	18,38	8,79	0,01	9,93	26,83
10	A	5,35	7,11	10,93	3,54	30,75	27,75	34,30	26,55	20,59	18,17	18,42	29,59
	B	5,27	7,16	14,24	3,98	31,25	27,75	39,95	27,88	20,39	16,84	11,68	30,14
11	A	1,12	5,19	13,97	2,65	5,70	8,25	27,30	22,60	0,99	0,01	3,53	27,52
	B	1,05	4,44	14,16	2,65	5,95	8,15	26,75	22,85	1,03	0,01	3,75	28,41
12	A	3,58	8,91	10,42	4,16	39,20	24,35	26,75	21,10	12,52	3,47	7,51	18,93
	B	3,30	8,63	12,78	3,60	39,10	24,25	34,35	19,38	12,60	5,15	6,66	22,98
13	A	5,11	10,76	15,28	2,97	41,75	30,45	39,75	25,18	12,65	7,65	9,11	30,38
	B	5,23	11,02	15,64	3,18	42,95	30,35	45,75	25,93	12,97	6,68	7,22	30,85
14	A	4,16	14,52	13,68	2,74	57,95	30,65	33,90	25,98	8,75	0,01	10,91	30,60
	B	3,95	14,59	14,87	2,71	59,50	30,95	40,00	27,78	7,93	0,01	8,40	30,00
15	A	4,55	12,58	14,36	2,60	32,40	28,55	35,73	24,68	6,30	0,74	7,40	30,12
	B	4,57	12,32	16,43	2,86	34,00	25,85	38,55	27,35	6,54	0,90	5,03	31,15

Quadro 5A - Valores percentuais da estabilidade das classes de agregados em água, para os horizontes A e B, do latossolo estudado

Amostra	Horizonte	Classes de Agregados (mm)					
		2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	0,105-0,053	<0,053
		-----%					
1	A	2,47	8,05	8,98	16,88	6,31	57,31
	B	1,54	7,03	10,31	22,11	8,96	50,05
2	A	1,31	7,71	12,01	21,37	6,02	51,58
	B	1,78	6,52	14,09	25,87	5,41	46,33
3	A	1,75	7,06	13,17	21,89	9,97	46,16
	B	1,79	8,17	18,52	30,18	8,33	33,01
4	A	3,40	9,78	17,85	23,03	9,75	36,19
	B	1,33	7,72	21,18	33,19	9,96	26,62
5	A	2,46	7,34	20,23	30,46	9,85	29,66
	B	2,50	8,64	22,51	35,51	10,07	20,77
6	A	1,65	9,23	13,01	25,73	11,74	38,64
	B	0,81	4,46	12,37	30,66	13,39	38,31
7	A	1,20	5,66	22,33	27,90	7,51	35,40
	B	1,12	6,16	24,85	33,56	6,66	27,65
8	A	2,41	13,62	16,50	20,10	7,37	40,00
	B	1,48	8,29	15,90	29,37	11,37	33,59
9	A	4,94	18,74	16,12	14,78	4,65	40,77
	B	1,38	9,87	16,04	25,99	9,27	37,45
10	A	1,72	7,51	22,23	30,82	8,73	28,99
	B	0,83	5,07	24,56	37,64	7,67	24,23
11	A	0,96	5,14	15,67	36,95	12,40	28,88
	B	1,36	6,74	19,46	39,83	13,19	19,42
12	A	6,79	19,35	14,42	10,99	3,67	44,78
	B	1,45	8,65	11,98	16,60	6,55	54,77
13	A	2,03	9,19	26,39	31,11	7,27	24,01
	B	1,49	6,87	22,90	37,02	9,70	22,02
14	A	2,67	12,41	28,76	27,79	5,41	22,96
	B	2,76	10,62	25,85	32,08	7,73	20,96
15	A	1,96	12,67	25,56	27,73	5,91	26,17
	B	1,45	8,10	20,05	36,13	10,40	23,87