

40639

OLÍVIO PEDRO FACCI

**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E
MINERALÓGICAS SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE
DIFERENTES GRUPAMENTOS DE SOLOS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "MESTRE".

MINAS GERAIS

1995

**Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e
Catalogação da Biblioteca Central da UFLA**

Faccin, Olívio Pedro.

Influência das características químicas, físicas e mineralógicas sobre a estabilidade de agregados de diferentes grupamentos de solos. -- Lavras : UFLA, 1995.

67p. : il.

Orientador: Mozart Martins Ferreira.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Solo - Propriedade - Física - Química - Mineralógica. 2. Estabilidade de agregado. 3. Grupamento de solo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

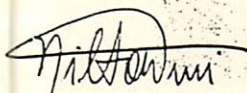
CDD - 631.4

OLÍVIO PEDRO FACCIN

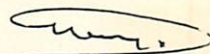
**INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E
MINERALÓGICAS SOBRE A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE
DIFERENTES GRUPAMENTOS DE SOLOS.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de "MESTRE".

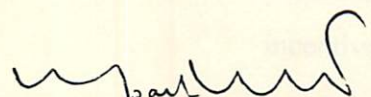
APROVADA em 24 de outubro de 1995.



Prof. Nilton Curi



Prof. Moacir de Souza Dias Júnior



Prof. Mozart Martins Ferreira
ORIENTADOR

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de realizar o curso;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Professor Mozart Martins Ferreira pela orientação, incentivo, apoio e amizade.

Aos Professores Geraldo A. de A. Guedes, Valdemar Faquin, Hércio Andrade, Fabiano R. do Vale, Marco A. V. Ribeiro e Vitor Bahia pela amizade e ensinamentos;

Aos professores Vicente Gualberto e Geraldo C. de Oliveira, ao colega Joel C. Pereira e ao funcionário José Roberto "Pezão" pela colaboração nas coletas de amostras no campo;

À Silvio T. Spera, Carlos A. Medeiros, Jorge S. de Mattos, Wilson Moraes, Veridiano A. Cutrin, Rodrigo Leitão, Carlos H. A. Oliveira, Enrique P. Rojas, Murilo C. M. Veras e Jarbas T. Costa, pelo convívio familiar e amizade;

À todos meus colegas de curso, especialmente Sílvio, Renato Lara, Rosa, Edinaldo, André, César, Davi, Régis, Marcílio, Carla, Eduardo, João José, Paulo Henrique, Marx, Paulo Emílio, Tereza, Luiz, Ivo, Adriana, Luzia, Fabíola, Zenaide e Henrique pela grande amizade;

Aos professores Nilton Curi e Moacir de Souza Dias Jr. pelas sugestões e questionamentos;

Ao bolsista de iniciação científica Renato Ramalho Dantas Lopes, ao bolsista recém doutor Antonio Furtini Neto e aos laboratoristas Jairo, Ana Maria, Daniel, Carlos, Joseane e Delanne pela colaboração na realização das análises de laboratório;

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo pela amizade e por estarem sempre dispostos a contribuir para a melhoria do curso;

À todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO

BIOGRAFIA DO AUTOR

OLIVIO PEDRO FACCIN, filho de Olindo Rocco Faccin e Armelinda Bisognin Faccin, nascido em Mata, Rio grande do Sul , à 25 de janeiro de 1968.

Graduou-se em Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria (RS) em janeiro de 1993.

Iniciou o curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas, à nível de Mestrado, na Universidade Federal de Lavras (MG) em fevereiro de 1993.

Atualmente é bolsista do CNPq (Bolsa de Desenvolvimento Técnico Industrial), exercendo suas atividades no Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental - EMBRAPA, em Manaus (AM).

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO.....	xiii
SUMMARY.....	xv
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Gênese e estabilidade da estrutura do solo.....	03
2.1.1 Efeito dos cátions, ânions e pH na estabilidade dos agregados.....	05
2.1.2 Efeito da granulometria do solo na estabilidade dos agregados.....	07
2.1.3 Efeitos dos óxidos e tipo argila sobre a estabilidade de agregados.....	08
2.1.4 Efeito da matéria orgânica na estabilidade dos agregados.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Localização e coleta de amostras.....	15
3.2 Caracterização química dos solos.....	18
3.2.1 Complexo sortivo.....	18
3.2.2 pH em água e em KCl.....	18

	Página
3.2.3 Ataque sulfúrico.....	18
3.2.4 Carbono orgânico.....	19
3.2.5 Óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo DCB (Fe_d e Al_d).....	19
3.2.6 Óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo oxalato de amônio (Fe_o Al_o).....	19
3.3 Caracterização mineralógica.....	20
3.4 Caracterização física dos solos.....	20
3.4.1 Análise granulométrica, argila dispersa em água e índice de floculação (I.F.).....	20
3.4.2 Estabilidade de agregados.....	21
3.5 Análises estatísticas.....	21
 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	 22
4.1 Caracterização química e mineralógica dos diferentes solos estudados.....	22
4.1.1 Complexo sortivo, pH em água e em KCl, carbono orgânico.....	22
4.1.2 Ataque sulfúrico.....	25
4.1.3 Teores de óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo DCB (Fe_d e Al_d) e pelo oxalato de amônio (Fe_o e Al_o).....	25
4.1.4 Caracterização mineralógica.....	26
4.2 Caracterização física dos diferentes solos estudados.....	29
4.3 Relações entre estabilidade de agregados e a composição química, física e mineralógica dos diferentes solos.....	31
4.3.1 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B latossólico.....	32
4.3.2 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B textural.....	45

Página

4.3.3 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B incipiente.....	51
5 CONCLUSÕES.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
01	Classificação e localização dos diferentes solos estudados.....	17
02	Caracterização química das amostras dos solos estudados.....	23
03	Determinação do ataque sulfúrico no horizonte B dos solos estudados	26
04	Fe e Al extraídos pelo DCB e oxalato de amônio.....	28
05	Teores de caulinita e gibbsita da fração argila do horizonte B dos solos estudados, determinados pela análise térmica diferencial.....	29
06	Caracterização física dos solos estudados.....	30
07	Coefficientes de correlações simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes das caracterizações químicas dos solos com horizonte B latossólico estudados.....	32
08	Coefficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio nos solos com horizonte B latossólico estudados.....	35
09	Coefficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes das caracterizações físicas dos solos com horizonte B latossólico estudados.....	35

Quadros	Página
10 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e análise mineralógica dos solos com horizonte B latossolico.....	39
11 Coeficientes das correlações simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização química dos solos com horioznte B textural.....	45
12 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio nos solos com horizonte B textural.....	49
13 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização física dos solos com horizonte B textural.....	49
14 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e da caracterização mineralógica dos solos com horizonte B textural.....	50
15 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização química dos solos com horizonte B incipiente.....	51
16 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio dos solos com horizonte B incipiente.....	57
17 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização físicas dos solos com horizonte B incipiente.....	57
18 Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e análise mineralógica dos horizontes subsuperficiais dos solos com horizonte B incipiente.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
01	Localização dos solos amostrados em relação ao estado de Minas Gerais.....	16
02	Relação entre DMG e carbono dos solos com horizonte B latossólico estudados.....	34
03	Relação entre DMG e índice de floculação dos solos com horizonte B latossólico estudados.....	37
04	Relação entre DMG e argila dispersa em água (ADA) nos solos com horizonte B latossólico estudados.....	38
05	Relação entre DMG e teor de Al_2O_3 do ataque sulfúrico nos solos com horizonte B latossólico.....	40
06	Relação entre DMG e Ki dos solos com horizonte B latossólico estudados.....	41
07	Relação entre DMG e teor de TiO_2 do ataque sulfúrico nos solos com horizonte B latossólico estudados.....	43
08	Relação entre DMG e teor de caulinita nos solos com horizonte B latossólico estudados.....	44
09	Relação entre o teor de potássio dos solos com horizonte B textural estudados.....	47

Figura		Página
10	Relação entre teor de carbono dos solos com horizonte B textural estudados.....	48
11	Relação entre DMG e teor de magnésio dos solos com horizonte B.incipiente estudados.....	52
12	Relação entre DMG e teor de potássio nos solos com horizonte B incipiente estudados.....	53
13	Relação entre DMG e teor de H + Al nos solos com horizontes B incipiente estudados.....	54
14	Relação entre DMG e teor de carbono dos solos com horioznte B incipiente estudados.....	55
15	Relação entre DMG e valor T dos solos com horizonte B incipiente estudados.....	56

RESUMO

FACCIN, Olívio Pedro. Influência das características químicas, físicas e mineralógicas sobre a estabilidade de agregados de diferentes grupamentos de solos. Lavras: UFLA, 1995. 67p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

No presente estudo avaliou-se a influência de características químicas, físicas, e mineralógicas sobre a estabilidade de agregados de três diferentes grupamentos de solos.

Baseando-se em BRASIL (1983) e nos trabalhos de Curi et al. (1990), Oliveira (1993), Chagas (1994), Giarola (1994), Andrade e Souza (comunicação pessoal) além de observações da paisagem, foram coletadas amostras indeformadas (torrões) dos horizontes superficiais de vinte perfis de solos com horizonte diagnóstico, B latossólico, B textural, e B incipiente localizados nos municípios de Lavras, Ijaci, São João Del Rei e Barroso.

Procederam-se às seguintes análises: a) químicas: complexo sortivo, ataque sulfúrico, pH em água e em KCl, carbono orgânico, óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio; b) mineralógica: análise térmica diferencial; c) físicas: granulometria, argila dispersa em água e estabilidade de agregados, expressa pelo DMG (Diâmetro Médio Geométrico).

Estudos de correlação levados a efeito com os resultados das diversas caracterizações mostraram que: no agrupamento dos solos com horizonte B latossólico ocorreu correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre DMG e: K ($r=0,61^{**}$), C ($r=0,91^{**}$), valor t ($r=0,54^{**}$), valor T ($r=0,59$), TiO_2 ($r=0,75^{**}$) e correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade entre DMG e: H + Al ($r=0,47^*$), valor S ($r=0,40^*$), Silte ($r=0,43^*$), IF ($r=0,71^*$), ADA ($r=0,67^*$), Al_2O_3 ($r=0,72^*$), Ki ($r=0,69^*$), Kr ($r=-0,70^*$), Al_2O_3/Fe_2O_3 ($r=0,62^*$), caulinita ($r=-0,69^*$), Gb/Gb + ($r=0,69^*$); no agrupamento de solos com horizonte B textural ocorreu

* Orientador: Prof. Dr. Mozart Martins Ferreira. Membros da Banca: Prof. Dr. Nilton Curi, Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre DMG e K ($r=0,77^{**}$), C ($r=0,81^{**}$), valor T ($r = 0,63^{**}$), argila ($r=0,67^{**}$) e correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade entre DMG e Mg ($r=0,53^{**}$), H + Al ($r=0,46^*$), t ($r=0,45^*$), areia ($r=0,56^*$), IF ($r = - 0,50^{**}$); no agrupamento de solos com horizonte B incipiente ocorreu correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade entre DMG e: H + Al ($r=0,98^{**}$), C ($r=0,97^{**}$), valor T ($r=0,96^{**}$) e correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade entre DMG e: Mg ($r=0,83^*$), K ($r=0,79^*$).

Os resultados encontrados revelaram que a estabilidade dos agregados em água dos três diferentes grupamentos de solos é marcadamente influenciada pela composição química dos mesmos, e que, possivelmente, devido maior homogeneidade, dos atributos, as tendências são mais evidentes no grupamento envolvendo solos com horizonte B latossólico.

SUMMARY

INFLUENCE OF THE CHEMICAL PHYSICAL, AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS ON THE AGGREGATES STABILITY OF DIFFERENT GROUPINGS OF SOILS

In the present study it was evaluated the influence of chemical, physical and mineralogical characteristics on the aggregates stability of three different groupings of soils.

Based upon Brasil (1983), Curi et al. (1990), Oliveira (1993), Chagas (1994), Giarola (1994), Andrade and Souza (personal communication), besides observations of the landscape, undisturbed samples were collected from the surface and subsurface horizons of twenty soil profiles with diagnostic: latosolic B, texture B, and incipient B horizons, situated in the counties of Lavras, including Ijaci, São João Del Rei and Barroso.

The following analyses were performed: a) chemical: sorptive complex, sulphuric attack, pH in water and in KCl, organic carbon and iron and aluminium oxides extracted by DCB and ammonium oxalate; b) mineralogical: differential thermal analysis; c) physical: particle-size-distribution, water-dispersible clay and aggregates stability.

Correlation studies carried on with the results of the several characterizations showed that: in the grouping of the soils with latosolic B horizon, a significant correlation at the level of 1% of probability occurred between GAD (geometrical average diameter) and K ($r=0,61^{**}$), organic C ($r=0,91^{**}$), t (effective CEC) ($r=0,54^{**}$), T (CEC at pH 7,0) ($r=0,59^{**}$), TiO_2 ($r=0,75^{**}$) and significant correlation at the level of 5% of probability occurred between DMG and H + Al ($r=0,47^*$), S (sum of bases) ($r=0,40^*$), silt ($r=0,43^*$), FI (flocculation index) ($r=0,70^*$), Al_2O_3 ratio ($r= - 0,62^*$), Kaolinit ($r= - 69^*$), Gb/Gb + Ka (Gibbsite/Gibbsite + Kaolinite ratio) ($r=0,69^*$); in the grouping of the soils with texture B horizon, a significant correlation at the level of 1% of probability occurred between GAD and K ($r=0,77^{**}$), organic C ($r=0,81^{**}$), T ($r=$

0,63**), clay ($r=0,67^{**}$) and significant correlation at the level of 5% of probability occurred between GAD and Mg ($r=0,53^*$), H + Al ($r=0,46^*$), t ($r=0,45^*$), sand ($r=0,56^*$), FI ($r= - 0,50^*$); and in the grouping of the soils with incipient B horizon, a significant correlation at the level of 1% probability occurred between GAD and H + Al ($r=0,98^{**}$), organic C ($r = 0,97^{**}$), T ($r = 0,96^{**}$) and significant correlation at the level of 5% of probability occurred between GAD and Mg ($r=0,83^*$), K ($r=0,79^*$).

The obtained results revealed that the stability of the aggregates in water of the three different groupings of soils is markedly influenced by their chemical composition, and that possibly, due to its higher homogeneity of attributes, the trends are more apparent in the grouping involving soils with latosolic B horizon.

1 INTRODUÇÃO

O arranjo, organização e orientação das partículas primárias formam os agregados do solo e estes por sua vez determinam o espaço necessário à movimentação da água e do ar no perfil. Uma vez formados os agregados, torna-se importante conhecer suas estabilidades, ou seja, suas capacidades de resistir à desagregação provocada pela passagem da água ou pelo impacto das gotas de chuva.

Sabe-se que a estabilidade dos agregados em água é um dos principais fatores que influenciam a degradação do solo, sendo adotada nos principais modelos de predição das perdas de solo devidas à erosão hídrica. Entretanto, até relativamente pouco tempo, a maioria dos trabalhos desenvolvidos visando a conservação do solo e da água preocupava-se apenas com os efeitos da erosão, sem contudo, avaliar os fatores do solo predisponentes da mesma, como por exemplo a pequena estabilidade dos agregados.

A existência de argila flokulada se constitui no pré-requisito da agregação. Todavia, sabe-se também que, a floclulação é condição necessária, mas não suficiente, para a agregação, havendo ainda a necessidade da cimentação das partículas. Trabalhos conduzidos em condições de clima temperado são categóricos ao afirmar que matéria orgânica, íons floclulantes e os óxidos de Fe e de Al, são os responsáveis pela elevada estabilidade dos agregados dos solos tropicais. Entretanto, apesar do elevado número de trabalhos conduzidos em solos tropicais envolvendo esse importante atributo do solo, não existe até o momento uma teoria única capaz de explicar os mecanismos que efetivamente governam o fenômeno da estabilidade dos agregados desses solos .

Buscando um melhor entendimento dos mecanismos que governam o fenômeno da estabilidade de agregados dos solos tropicais, o presente trabalho, envolvendo diferentes grupamentos de solos, tem por objetivo avaliar a participação dos parâmetros químicos, físicos e mineralógicos na estabilidade dos agregados dos mesmos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Gênese e estabilidade da estrutura do solo

Um dos conceitos mais abrangente para estrutura do solo foi elaborado por Marshall (1962), e segundo esse autor o termo estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas do solo e do espaço poroso entre elas; incluindo ainda o tamanho, forma e arranjo dos agregados formados quando partículas primárias se agrupam em unidades separáveis.

O termo estrutura do solo como normalmente é empregado é apenas descritivo não expressando nenhuma medida numérica (Laws e Evans, 1949). Em função disso vários autores sugeriram métodos e fórmulas para definir a estabilidade estrutural como uma forma de avaliar a estruturação do solo (Yoder, 1936; Russel e Feng, 1947; Mazurak, 1950; Grohmann, 1960; Grohmann e Conagin, 1960, Bryan, 1971; Galindo, Margolis e Cantalice, 1991; Reichert, Veiga e Cabeda, 1993).

A formação de agregados no solo tem uma relação direta com a flocculação e comportamento da dupla camada elétrica. Solos que possuem dupla camada elétrica compacta, tendem a floccular a argila e formar agregados estáveis em água. Solos com proporções elevadas de sódio (Na^+) na dupla camada elétrica tendem a permanecer dispersos não ocorrendo a formação de agregados por meio de processos naturais (Gavande, 1976). Segundo Baver, Gardner e Gardner (1972), a espessura da dupla camada elétrica é determinada pela valência e

concentração de íons de sinais contrários àqueles existentes na superfície das partículas. Quanto maior a valência e concentração do íon, maior é a compressão da dupla camada elétrica, levando à floculação, ou seja, em concentrações eletrolíticas equivalentes cátions divalentes são mais flocculantes que cátions monovalentes. Segundo Gavande (1976), para a formação de agregados estáveis no solo é necessário que o material coloidal seja primeiro flocculado. A floculação é de natureza eletrocinética, e assim, partículas primárias com elevado potencial eletrocinético repelem-se quando colidem em uma suspensão. Quando este potencial é reduzido suficientemente, uma colisão entre partículas resulta em atração mútua e na formação de um flóculo. O flóculo será estável enquanto o agente flocculante estiver presente. Esse tipo de floculação (tipo sal) ocorre rapidamente com cargas divalentes ou trivalentes. A floculação também pode resultar de uma atração eletrostática entre bordas positivas e faces negativas de minerais de argila. Este tipo de floculação (borda-face) é muito mais estável do que o tipo sal (Schofield e Sanson, 1954 citado por Baver, Gardner e Gardner, 1972). Todavia a floculação, apesar de ser um pré-requisito, não é suficiente para que ocorra agregação. Para haver a formação de agregados estáveis as partículas primárias tem que estar firmemente unidas umas nas outras para que elas não se dispersem em água, ou seja, a formação de agregados estáveis exige uma cimentação das partículas flocculadas. A matéria orgânica, os silicatos e as argilas, quando se combinam com os cátions apropriados no complexo de troca do solo, parecem formar os ingredientes básicos dos cimentos (Gavande, 1976). Para formar agregados é necessário que, além da floculação exista uma pressão produzindo um contato mais íntimo entre as partículas. As raízes de plantas, pequenos animais escavadores e variações periódicas de umidade e temperatura são os principais agentes que exercem pressão no solo (Baver, Gardner e Gardner, 1972).

O efeito físico e mecânico das raízes sobre a agregação do solo também foi observado por Bradfield (1937). O autor constatou que as pressões de crescimento, formação de zonas de depleção de água e acumulação e precipitação de sais, decorrentes de fluxos ocasionados pela atividade da planta, são importantes na formação e estabilização de agregados em zonas próximas as raízes.

Pelo exposto, percebe-se que a gênese e estabilização da estrutura envolve impactos dos cátions, interações entre argila e matéria orgânica, bem como vegetação, fauna do solo e microorganismos. Alguns desses aspectos serão tratados a seguir.

2.1.1 Efeito dos cátions, ânions e pH na estabilidade dos agregados

Geralmente Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ induzem à floculação da argila, ao mesmo tempo são importantes na nutrição das plantas e proporcionam ao solo uma condição favorável ao crescimento de raízes e microrganismos (Gavande, 1976). O sódio tem ação deletéria na formação de agregados. Solos ricos nesse elemento são tratados com cátions de grande valor floculante, como o cálcio, os quais irão substituir o elemento indesejável que será eliminado do solo pela lavagem com água das chuvas ou de irrigação (Jorge, 1983).

Vários trabalhos têm demonstrado os efeitos benéficos do calcário na agregação do solo (Baver, Gardner e Gardner, 1972; Roth et al. 1986 e Roth, Castro Filho e Medeiros, 1991). Com base em dados de laboratório onde verificou-se a floculação de suspensões de argila pelo cálcio, surgiu a idéia amplamente aceita de que os efeitos benéficos do calcário são devidos à sua capacidade de flocular os colóides do solo. Islam e Hossain (1954) encontraram correlação positiva entre Ca^{2+} e K_2O , com o índice de estabilidade de agregados.

Em solos neutros ou alcalinos o efeito agregante do cálcio é indiscutível, todavia em solos ácidos este efeito é menos pronunciado. Baver (1928), verificou que colunas de solos saturados por H^+ ou Ca^{2+} apresentaram resultados de agregação semelhantes entretanto, em alguns casos, solos saturados com H^+ eram mais floculados que solos saturados com Ca^{2+} e em outros, o contrário era verdadeiro. Segundo Baver, Gardner e Gardner (1972), o cálcio tem que estar presente em excesso, além da capacidade de saturação, para efetuar maior floculação que o íon hidrogênio. Roth, Castro Filho e Medeiros (1991) trabalhando com um Latossolo Roxo distrófico muito argiloso constaram que a calagem aumentou a estabilidade de agregados determinada por impacto de gotas, porém, não afetou a distribuição do tamanho de agregados, espessa através do diâmetro médio ponderado (DMP).

Em que pese as informações anteriores, vários autores observaram uma diminuição na agregação do solo com a adição de calcário entre os quais, Peele, Beale e Lathan (1938); Elson e Lutz (1940); Ghani, Hassan e Khan (1955); Grohmann, Oliveira e Queiroz Neto (1966); Queiroz Neto, Oliveira e Grohmann (1966); Morelli e Ferreira (1987); Jucksch et al. (1986); Jucksch (1987); Roth e Pavan (1991). Neste sentido, Jorge, Camargo e Valadares (1991) trabalhando com

um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico argiloso cultivado com milho durante 4 anos verificaram que a calagem diminuiu a estabilidade de agregados, e atribuíram esse efeito ao fato do corretivo ter aumentado o pH do solo (de 4,0 na testemunha para 6,0 nos outros tratamentos) e ter reduzido o teor de Al^{3+} (originalmente 2,3 meq/100 g) do sistema, por ser o Al^{3+} um cátion com maior poder de floculação que o Ca^{2+} .

Segundo El-Swaify e Dangler (1977), o ΔpH (pH em KCl - pH em água), o qual pode ser negativo, positivo ou zero, conforme o solo esteja com predomínio de cargas negativas, positivas, ou neutro, expressa a influência das cargas do solo na estruturação, e a magnitude mais do que o sinal é que está relacionada com a estabilidade estrutural.

Roth e Pavan (1991), trabalhando com Latossolo Roxo, no Paraná, mostraram que após a calagem, o Latossolo Roxo evidenciou maior dispersão de argila indicando menor estabilidade de agregados. Segundo estes autores o aumento do pH, proporciona a mudança das cargas variáveis, predominam cargas negativas, conseqüentemente, ocorre repulsão entre caulinita e hematita, predominantes neste solo, ocasionando dispersão das argilas.

Tama e El-Swaify (1978), citados por Roth e Pavan (1991) demonstraram que o aumento dos valores de pH de solos oxidicos induziu à dispersão, caracterizada por uma alta estabilidade da suspensão coloidal, com valores de pH acima do PCZ.

Baver, Gardner e Gardner (1972), verificaram que estudos efetuados em 77 solos dos Estados Unidos, não encontraram correlação entre a quantidade de Ca disponível e a agregação. Por outro lado Roth et al. (1986) encontraram correlação positiva e altamente significativa entre pH e DMG, Ca^{+2} e DMG e, $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e DMG, ressaltando que a agregação também pode ter sofrido a influência da atividade microbiana visto que no pH mais alto ocorreu diminuição do teor de carbono orgânico.

Evidências experimentais indicam que o efeito do Ca sobre a formação de agregados é indireta, isto é, afeta a produção e decomposição de matéria orgânica, bem como os mecanismos de ação de ligação entre colóides orgânicos e partículas de argila (Baver, Gardner e Gardner, 1972).

Alguns ânions, por sua vez, também podem causar a dispersão das partículas. Shanmuganathan e Oades (1983), reconheceram três grupos de ânions de acordo com suas eficiências em causar dispersão: fosfato, fulvato > citrato, oxalato, tartarato > silicato, lactato.

2.1.2 Efeito da granulometria do solo na estabilidade dos agregados

As partículas mais grosseiras como areia e silte para formar agregados tem que ser cimentadas por material coloidal como: colóides inorgânicos como os óxidos de ferro e de alumínio, e os colóides orgânicos. Os efeitos da cimentação da argila são mais pronunciados com os agregados menores e principalmente quando o conteúdo de matéria orgânica é baixo (Baver, Gardner e Gardner 1972).

Trabalhando com um Podzólico Vermelho-Amarelo, Queiroz Neto, Oliveira e Grohmann, (1966) consideraram a argila como a principal responsável pela manutenção de um estado de agregação elevado nas parcelas cultivadas com maior intensidade e com menor teor de matéria orgânica, sugerindo que essas parcelas sofreriam uma variação sazonal das condições de estrutura, em função da flutuação do teor de umidade durante o ano. Todavia ressaltaram que o papel da argila na estabilidade de agregados parecia ser secundário. Segundo Gavande (1976) o efeito agregante da argila seria devido à sua ação cimentante e a propriedade de expansão e contração, com a mudança de umidade do solo. A alternância de umedecimento e secagem causa alteração nas unidades estruturais do solo, uma vez que o principal fator que determina a distribuição do tamanho de agregados do solo é a forma pela qual a massa do solo é rompida em agregados (Kemper e Chepil, 1965).

Islam e Hossain (1954) trabalhando com 14 solos do leste de Bengala encontraram correlação positiva ao nível de 1% de probabilidade entre o teor de argila e a estabilidade de agregados. Vários autores encontraram correlação negativa entre silte e agregação do solo (Wischmeier, Johnson e Cross, 1961; Wischmeier e Mannering, 1969). Por outro lado Reichert e Cabeda (1992) trabalhando com sete solos do Rio Grande do Sul, encontraram maior estabilidade de agregados em um Brunizem Avermelhado com 40% de silte, atribuindo esse resultado aos altos teores de carbono orgânico e argila desse solo, além disso, a fração silte pode em certos casos apresentar considerável quantidade de cargas negativas e propiciar a agregação do solo.

De acordo com Reichert, Vieira e Cabeda (1993), a fração areia apresentou correlação negativa significativa ao nível de 1% de probabilidade com o diâmetro médio ponderado de agregados secos ao ar livre (DMPAS) e diâmetro médio ponderado de agregados

sob chuva (DMPAC), porém não apresentou correlação significativa com o diâmetro médio ponderado de agregados em água (DMPAA). O teor de argila correlacionou-se significativamente com o DMPAC, mas não com o DMPAA.

2.1.3 Efeitos dos óxidos e tipo argila sobre a estabilidade de agregados

*Segundo McIntyre (1966), Schwertmann (1988) e Goldberg (1989) os óxidos de ferro desempenham um importante papel na agregação dos solos. Walter (1965), citado por Baver, Gardner e Gardner (1972) constatou que a estabilidade de agregados aumentou com a adição de oxidrato de ferro e ácido húmico a um sistema silte-argila. Segundo Russel (1971) a estrutura de um solo com grande conteúdo de óxidos de ferro uniformemente distribuídos é geralmente estável. Apesar de existir grande número de artigos sobre o papel dos óxidos de ferro na agregação, existem ainda relativamente poucos conhecimentos sobre: (a) os mecanismos pelos quais as partículas de óxidos de ferro ligam as partículas umas às outras e (b) as relações entre o grau de cristalinidade e mineralogia dos óxidos de ferro e grau e tipo de agregação (Colombo e Torrent, 1991). Segundo Colombo e Torrent (1991) óxidos de ferro pouco cristalinos e alguns compostos de alumínio e sílica pouco cristalinos, ligam-se preferencialmente a partículas grosseiras. Arduino, Barberis e Boero (1989) e Barberis et al. (1991), verificaram que os óxidos de ferro pouco cristalinos agregaram maior quantidade de argila fina por unidade de massa que os óxidos de ferro cristalinos. Emerson (1956) verificou que o revestimento de grãos de quartzo por óxidos aumentava a força de ligação argila-quartzo. Evidências de que a sílica contribui para a agregação, provavelmente formando pontes entre óxidos de ferro e outras partículas do solo foram encontradas por Colombo e Torrent (1991), em Terra Rossa no sul da Itália. Os autores constataram que a mudança na distribuição do tamanho de partículas foi melhor correlacionada com a relação Si_0/Fe_0 que com qualquer outra propriedade isolada. Verificaram ainda que os óxidos de ferro cristalinos, predominantes nestes solos, promoveram a agregação das partículas de argila. Segundo estes autores, como os óxidos de ferro cristalinos são mais abundantes que os pouco cristalinos, as partículas de óxido de Fe podem estar muito próximas umas das outras

podendo ser facilmente ligadas pela sílica. As partículas ligadas criam por sua vez uma estrutura capaz de manter outras partículas do solo unidas. Constataram que nesses solos a agregação era afetada pela natureza dos óxidos de ferro cristalinos, sendo que hematita contribuiu mais para a agregação que a goethita, contrapondo-se aos resultados encontrados por Arduíno, Barberis e Boero (1989) que verificaram que o grau de agregação do solo não foi afetado pela natureza dos óxidos de ferro cristalinos. Por outro lado, trabalhando com Alfisols e Inceptisols, Barberis et al. (1991) encontraram correlação negativa entre a relação $Hm/(Hm + Gt)$ e agregação, sugerindo que os processos que são desfavoráveis para a formação de hematita favorecem a agregação.

Schwertman e Kämpf (1985) trabalhando com solos cauliniticos do sul e centro do Brasil verificaram que a influência da goethita e hematita na agregação do solo parece estar ligada a superfície específica destes óxidos.

El-Swaifi e Emerson (1975), constataram que a precipitação de hidróxidos de alumínio e ferro em soluções de argilas dispersas seguidas pela secagem tem sido bem sucedida em aumentar as ligações entre as partículas de argila. Estes autores concluíram que o $Fe(OH)_3$ pouco cristalino pode ligar as partículas de argila umas com às outras, embora não tão eficazmente como o $Al(OH)_3$. Correlação positiva significativa entre Fe_2O_3 e Al_2O_3 e estabilidade de agregados em solos do leste de Bengala foi encontrada por Islam e Hossain (1954). Edwards e Bremner (1967) constataram que a ligação do alumínio pode contribuir substancialmente para a formação de agregados estáveis em solos ácidos com argila 2:1 apesar das evidências de que os óxidos de ferro são importantes agentes agregantes, alguns autores encontraram pequeno ou nenhum efeito sobre a agregação do solo (Deshpande, Greenland e Quirk, 1968; Ferreira, 1988).

Existem relatos na literatura que sugerem que além dos óxidos de ferro e de alumínio minerais de titânio desempenham, direta e indiretamente, um papel determinante na estrutura do solo (Milnes e Fitzpatrick, 1989). Segundo esses autores o potencial do titânio juntamente com ferro na ligação (cimentação) das frações argila dentro dos macroagregados de solos ricos em titânio foram sugeridos por vários trabalhos em muitas partes do mundo, inclusive Havai, Nova Zelândia e África do sul.

De acordo com Shermann (1952), titanio magnetita em alguns solos havaianos altera-se para uma variedade de óxidos de Ti e de Fe-Ti secundários quando os solos são expostos à desidratação pela remoção da vegetação protetora. O desenvolvimento de um horizonte

superficial endurecido, com um significativo aumento na densidade do solo e de partículas é sugerido como consequência dessas mudanças mineralógicas. Resultados similares foram encontrados por Fitzpatrick e LeRoux (1975), citados por Milnes e Fitzpatrick (1989), estes autores observaram mudanças estruturais caracterizadas pela formação de densos macroagregados endurecidos, após a exposição de Red Titaniferous Soils ricos em titanomaghemita e titanohematita, devido a cultivos sucessivos.

Barberis et al. (1991), trabalhando com Terra Rossa no sul da Itália verificou que o processo de agregação, nesses solos, parece ser pouco afetado por argilominerais, apesar dos diferentes argilominerais observados. Baseados nisso, sugerem que o mecanismo de agregação está mais relacionado com o tamanho das partículas do que com a natureza química das suas superfícies. Todavia em solos tropicais tanto o tipo de argila do solo quanto a natureza dos cátions adsorvidos no seu complexo de troca têm significado importante na estabilidade de agregados do solo.

✕ Segundo Troeh, Hobbs e Danahue (1980) os solos tropicais, geralmente dominados mineralogicamente por óxidos de ferro e alumínio e de por argilas do tipo 1:1, tendem a ser melhor agregados do que solos com elevados teores de material 2:1 e pobres em óxidos de ferro e de alumínio. Os óxidos de ferro (hematita e goethita) e de alumínio (gibbsita) são importantes fatores na granulação do solo, pois sendo considerados agentes desorganizadores, com um aumento dos seus teores as partículas tendem a um arranjo mais casualizado e a estrutura tende a granular (Resende, 1985). Ferreira (1988) encontrou resultados que confirmam a importância de óxidos de alumínio na agregação do solo, este autor verificou correlação positiva e altamente significativa (ao nível de 1% de probabilidade) entre alumínio pouco cristalino e diâmetro médio geométrico (DMG), encontrando também correlação positiva e significativa (ao nível 5% de probabilidade) entre o teor de Al_2O_3 e DMG.

Os minerais de argila do solo são importantes constituintes sob o aspecto de cimentação em agregados estáveis em água, sendo a caulinita, gibbsita, hematita e goethita, em diferentes proporções, os principais componentes desta fração nos latossolos brasileiros (Resende e Franzmeier, 1982).

A caulinita tem favorecida a sua formação por alto regime de carbono orgânico e baixo teor de ferro e titânio na rocha de origem. Já a formação de gibbsita é inibida por condições que favorecem a caulinita (Resende, 1976, citado por Lima, 1987).

A gibbsita, principalmente, e os óxidos de ferro e matéria orgânica favorecem a formação de pequenos grânulos, tanto menores e mais arredondados quanto maiores forem os teores desses constituintes (Resende, Rezende e Carmo, 1984).

Koth e Page (1946) verificaram experimentalmente que o sistema caulinita-húmus não forma agregados estáveis devido à pequena superfície ativa desse tipo de argila. Todavia, Santos, Mermut e Ribeiro (1989) estudando os microagregados de um Podzólico Vermelho-Amarelo do sertão Pernambucano, observaram que a caulinita mal cristalizada era o mineral dominante e que existiam oxi-hidróxidos de ferro preenchendo os espaços por entre as partículas de caulinita.

Ferreira (1992) verificou que a Terra Roxa Estruturada apresentou os menores teores de óxidos de ferro, de gibbsita, de matéria orgânica e os maiores teores de caulinita, o que proporcionou uma estrutura moderada, prismática, composta de blocos; já o Latossolo Roxo devido aos maiores teores de óxidos de ferro, gibbsita e matéria orgânica apresentou estrutura forte muito pequena granular com agregados de tamanho diminuto no horizonte Bw.

Os latossolos tendem a concentrar residualmente óxidos de alumínio e de ferro, proporcionando a formação de pequenos grânulos, onde as forças coesivas, entre os grânulos, são menos expressivas e a permeabilidade é maior em relação aos solos com horizonte B textural, que geralmente são mais pobres em óxidos apresentando estrutura predominantemente em blocos (Resende, 1982; Resende e Rezende, 1983). Dentro do grupamento dos latossolos, o Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo possuem uma relação mais adequada entre coerência, entre os agregados, e permeabilidade quando comparados com o Latossolo Roxo que possui pouca coerência entre os grânulos e alta permeabilidade (Lima, 1987).

Ferreira (1988) propôs dois modelos de agregação para latossolos: um modelo gibbsítico onde o solo apresenta estrutura granular, menor densidade aparente, maior porosidade total e maior proporção de macroporos, maior estabilidade de agregados em água e maior tendência para erosão em sulcos, e o modelo caulinitico, onde o solo apresenta estrutura em blocos, maior densidade aparente, menor porosidade total e maior proporção de microporos, menor condutividade hidráulica, menor estabilidade de agregados em água e maior tendência para

erosão laminar. Ao contrário do que se apregoa, acrescenta o autor, os óxidos de ferro apresentam discreta atuação sobre as propriedades físicas envolvendo a estrutura dos latossolos. O comportamento destas propriedades é controlado principalmente pelos teores de gibbsita e caulinita que aparentemente governam o desenvolvimento estrutural dos latossolos.

2.1.4 Efeito da matéria orgânica na estabilidade dos agregados

A vegetação e seus resíduos exercem uma ação protetora contra a desagregação dos agregados da superfície pela chuva (Carpenedo e Mielniczuk, 1990).

Segundo Campos et al. (1995) a influência da matéria orgânica na agregação do solo é um processo dinâmico. O fornecimento contínuo de material orgânico por secreções radiculares, renovação do sistema radicular e da parte aérea ou dos resíduos de colheita servem como fonte de energia para ativar a fauna microbiana, cujos subprodutos são constituídos por moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, e atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados (Harris, Chester e Allen, 1966). Indícios de que os compostos orgânicos e a ação microbiana atuam na estabilidade de agregados foram constatados por Campos et al. (1995), estes autores encontraram alta correlação entre o conteúdo de carbono orgânico e a atividade microbiana com o DMG.

A vegetação apresenta comportamento diferenciado sobre a agregação do solo. As pastagens de gramíneas anuais e perenes, devido ao sistema radicular em constante renovação, permitindo intensa atividade microbiana, e a pressão que o mesmo exerce sobre as partículas do solo mantendo-as unidas, são os tipos de vegetação mais eficientes na agregação do solo segundo Bradfield (1937) e Tisdall e Oades (1979).

Segundo Stallings (1957) o efeito da matéria orgânica é devido à sua qualidade e ao teor disponível no sistema, possibilitando, segundo Troeh, Hobbs e Danahue (1980), intensa atividade microbiana favorável ao desenvolvimento de agregados mais estáveis.

A adição de resíduos de vegetais, compostos ou esterco, introduz uma mistura de substratos no solo onde uma população microbiana heterogênea começa a decompor produzindo

biomassa, CO₂ e secreções, que por sua vez afetam as propriedades estruturais do solo. Contudo que lixiviação rápida não ocorra, todo substrato e espécies envolvidas nesse processo são praticamente imóveis, sendo seu efeito localizado em volta dos pacotes orgânicos introduzidos no solo. Um efeito imediato no aumento do diâmetro médio geométrico e na força tencil foi observado na adição de resíduos com uma alta relação C:N. Esse efeito foi atribuído ao reforço externo pelas hifas dos fungos e persistiu por um curto período de 1 a 3 semanas. Ao contrário, grandes quantidades de resíduos com uma relação C:N moderada pode ajudar a estabilizar a estrutura do solo por longos períodos, sendo seu efeito atribuído ao reforço interno dos agregados pelas secreções bacterianas (Hadas et al., 1994).

A formação de agregados ao redor das raízes envolve a aderência de partículas finas do solo, pêlos radiculares vivos, hifas de fungos e estreptomicetos (Hubbel e Chapman, 1946). A conversão microbiana, de secreções de raízes e resíduos de plantas em agentes agregantes foi proposta como um mecanismo principal pelo qual a agregação é afetada pela vegetação (Harris, Chesters e Allen, 1966). Segundo Baver, Gardner e Gardner (1972), a matéria orgânica sem atividade microbiológica tem pouco ou nenhum efeito sobre a estrutura do solo. A formação de agregados estáveis no solo a partir de produtos da decomposição da matéria orgânica ocorre em função de: (a) ação de ligação mecânica das células e filamentos de organismos, (b) efeitos de cimentação de produtos de síntese microbiana, e (c) ação estabilizadora dos produtos de decomposição que atuam individualmente ou em combinação. Segundo esses autores a estabilidade de agregados é dependente do tipo de organismo, da espécie dentro de um tipo de organismo e da presença de uma fonte de energia e nitrogênio para o metabolismo microbiano.

Greenland (1965) verificou a ocorrência de ligação entre colóides orgânicos e minerais formando complexos, sendo que entre 51,6 e 97,8% do carbono total estava na forma de complexos. Os polímeros orgânicos ligam-se às superfícies inorgânicas através de cátions polivalentes e polímeros hidroximetálicos (Tisdall e Oades, 1982).

Segundo Baver, Gardner e Gardner (1972), o aumento de húmus no solo pode não melhorar a estrutura a não ser que óxido de ferro hidratado esteja presente. Segundo esses autores, os mecanismos pelos quais os colóides orgânicos estabilizam a estrutura do solo podem ser atribuídos a ligações de polímeros orgânicos a superfície de argilas através de: pontes de cátions, ligação de hidrogênio, forças de Van der Waals e complexo óxido-húmus.

Demolon e Henin (1932), verificaram que a matéria orgânica é mais efetiva que argila em formar agregados estáveis com areia.

O efeito da matéria orgânica é mais pronunciado em solos que contém menor conteúdo de argila. De acordo com Baver, Gardner e Gardner (1972) existe uma correlação muito alta entre matéria orgânica e agregação em solos com até 25% de argila, para solos com conteúdo de argila superior a 35% a correlação apesar de significativa não é tão pronunciada.

Ferreira (1988) trabalhando com latossolos sugeriu que a matéria orgânica atua de duas maneiras na formação dos agregados desses solos, diretamente como agente cimentante, e indiretamente governando o tipo de óxido de ferro presente (hematita ou goethita).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e coleta de amostras

Baseado em BRASIL (1983) e nos trabalhos de Curi et al. (1990), Oliveira (1993), Chagas (1994), Giarola (1994) Andrade e Souza (comunicação pessoal)* além de observações da paisagem, coletou-se amostras indeformadas (torrões) dos horizontes superficial e subsuperficial de 20 perfis de solos com horizonte diagnóstico, B latossólico, B incipiente e B textural. Para isso percorreu-se trechos dos municípios de Barroso (21° 11' latitude Sul, 43° 53' longitude oeste), São João Del Rei (21° 08' latitude sul, 44° 16' longitude Oeste), componentes da região dos Campos das Vertentes, microregião dos Campos da Mantiqueira; Lavras (21° 15' latitude sul, 45° longitude Oeste) e Ijaci (21° 10' latitude sul, 44° 55' longitude oeste), componentes da região sul de Minas, (Figura 1).

A relação dos solos amostrados com suas respectivas localizações é apresentada no Quadro 1. As amostras foram coletadas em trincheiras e cortes de estradas, segundo as normas preconizadas por Lemos e Santos (1984) e EMBRAPA (1988).

*HÉLCIO ANDRADE doutor em Solos e Nutrição de plantas pela ESALQ, professor DCS/UFLA e JUVENTINO JÚLIO de SOUZA doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ, professor aposentado DCS/UFLA.

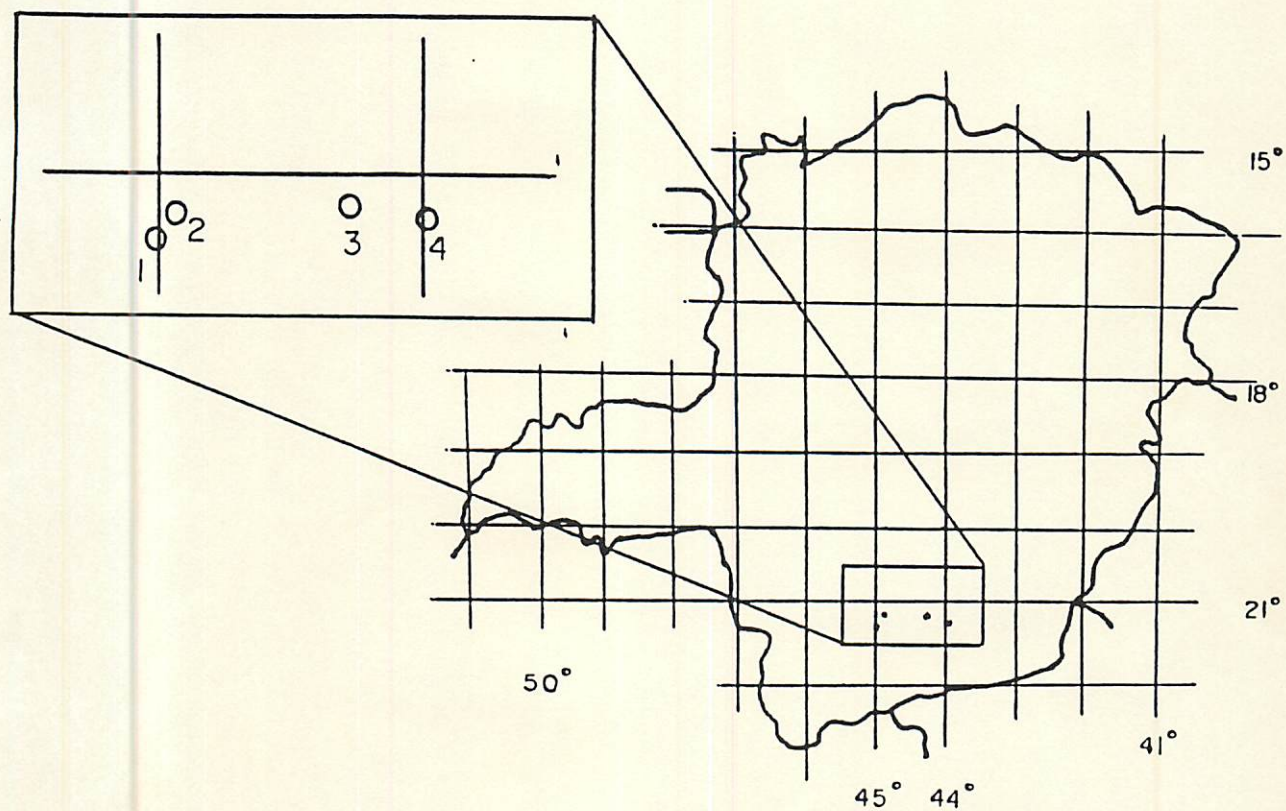


FIGURA 1. Localização dos solos amostrados em relação ao estado de Minas Gerais.

Legenda 1. Lavras

2. Ijaci

3. São João Del Rei

4. Barroso

QUADRO 1. Classificação e localização dos diferentes solos estudados.

Amostra	Classificação	Localização
1	LVd - Latossolo Vermelho-Amarelo álico epidistrófico textura argilosa	Campus da UFLA
2	LVa - Latossolo Vermelho-Amarelo álico textura muito argilosa	Campus da UFLA
3	LVd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura argilosa	Campus da UFLA
4	LRd - Latossolo Roxo distrófico textura muito argilosa	Campus da UFLA
5	LVd - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico epieutrófico textura muito argilosa	Povoado da Serra- (Ijaci)
6	LUd - Latossolo Variação Una distrófico textura muito argilosa	Jaguará (S. João Del Rei)
7	LVd - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico epialóico textura argilosa	Barroso
8	LEd - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura muito argilosa	Jaguara (S. João Del Rei)
9	LEd - Latossolo Vermelho-Escuro distrófico epialóico textura muito argilosa	Aeroporto (Lavras)
10	Ca - Cambissolo álico epidistrófico textura média	Barroso
11	Cd - Cambissolo distrófico textura argilosa	Campus da UFLA
12	Cd - Cambissolo distrófico epialóico textura média	São João Del Rei
13	PVd -Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico epieutrófico textura média/muito argilosa	Campus da UFLA
14	PEd - Podzólico Vermelho-Escuro distrófico textura média/muito argilosa	Campus da UFLA
15	PVd - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa	Campus da UFLA
16	PVd - Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico textura média/argilosa	Cachoeirinha (Lavras)
17	PVe - Podzólico Vermelho-Escuro eutrófico epidistrófico textura média/argilosa	Cachoeirinha (Lavras)
18	TRe - Terra Roxa Estruturada eutrófica textura argilosa/muito argilosa	Faz. Porto Velho (Lavras)
19	TRd - Terra Roxa Estruturada distrófica textura argilosa/muito argilosa	Campus da UFLA
20	PVd - Podzólico Vermelho-amarelo distrófico epieutrófico textura média/argilosa	Campus da UFLA

3.2 Caracterização química dos solos

3.2.1 Complexo Sortivo

Os componentes do complexo sortivo foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1979), com exceção do $H + Al$ que foi determinado segundo metodologia descrita por Quaggio (1983): Ca, Mg e Al (extraídos pelo KCl 1 N); P, Na e K (extrator de Mehlich - 1) e $H + Al$ (leitura potenciométrica do pH da solução tampão SMP).

3.2.2 pH em água e em KCl

O pH foi determinado através do método potenciométrico empregando-se a relação 1:2,5 de solo: água e solo: KCl 1N.

3.2.3 Ataque sulfúrico

Ferveu-se 2 g de TFSA, provenientes dos horizontes B, durante 1 hora em presença de H_2SO_4 (1:1), determinando-se os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , e P_2O_5 , segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1979).

3.2.4 Carbono Orgânico

O teor de carbono orgânico foi determinado segundo metodologia descrita por IAC (1986).

3.2.5 Óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo DCB (Fe_d e Al_d).

Estes foram extraídos da fração argila com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, de acordo com Mehra e Jackson (1960). O Fe foi lido no sobrenadante, por absorção atômica. A leitura do alumínio foi feita utilizando-se o método colorimétrico da aluminona em espectrofotômetro a 525 nm após digestão nitro-sulfúrica do extrato (Mc Keague, 1978).

3.2.6 Óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo oxalato de amônio (Fe_o e Al_o).

Estes foram determinados adicionando-se em tubos de centrífuga de 100 ml, 200 mg da fração argila e 40 ml de solução oxalato de amônio. Após agitação por duas horas no escuro, procedeu-se a centrifugação e posterior determinação do Fe no sobrenadante por absorção atômica. A determinação do alumínio foi feita utilizando-se o método colorimétrico da aluminona em espectrofotômetro a 525 nm após digestão nitro-sulfúrica do extrato (Mc Keague, 1978).

3.3 Caracterização mineralógica

Os teores de caulinita e gibbsita foram quantificados na fração argila desferrificada das amostras dos horizontes B através de análise térmica diferencial (ATD).

3.4 Caracterização física dos solos

3.4.1 Análise granulométrica, argila dispersa em água e índice de floculação (I.F.)

Na análise granulométrica, a dispersão foi efetuada mecanicamente (agitação) e quimicamente (NaOH 1N), ao passo que na determinação da argila dispersa em água, usou-se apenas dispersão mecânica e água destilada. Para determinar a fração argila empregou-se o método do hidrômetro proposto por Bouyoucos (1926), sendo leitura realizada na proveta proposta por Fontes (1982). A areia foi determinada por tamisagem e o silte foi obtido por diferença.

O índice de floculação foi calculado segundo EMBRAPA (1979), utilizando-se a expressão:

$$IF\% = \frac{\text{Argila total} - \text{Argila dispersa em água}}{\text{Argila total}} \times 100$$

3.4.2 Estabilidade de agregados

As amostras para esta determinação consistiram de torrões de material de solo com estrutura natural. Uma vez secos ao ar, os blocos foram peneirados manualmente em peneiras de malhas de 9,51 e 4,76 mm. Os agregados retidos em peneira de 4,76 mm foram agitados durante quinze minutos em jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, adaptado em dispositivo mecânico com movimento oscilatório vertical, dentro de um recipiente contendo água, conforme proposição de Yoder (1936). Avaliou-se a distribuição dos agregados nas diversas classes de diâmetro, tendo-se adotado como índice de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG), de acordo com Mazurak (1950).

3.5 Análises estatísticas

Os dados resultantes das determinações químicas, físicas e mineralógica foram submetidos a análises de correlação simples e regressão, visando avaliar suas participações no comportamento da estabilidade de agregados dos solos estudados. Para tanto utilizou-se o Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG).



4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química e mineralógica dos diferentes solos estudados

4.1.1 Complexo sortivo, pH em água e em KCl, Carbono orgânico

Os dados referentes às determinações do complexo sortivo, pH em água e em KCl e carbono orgânico dos diferentes solos estudados são apresentados no Quadro 2. Independente da classificação dos solos, observa-se que todos eles apresentam reação ácida e predomínio de carga líquida negativa. Os teores de P e Mg^{2+} são sistematicamente baixos; os teores de Ca^{2+} e K^+ variam de baixo a alto; a capacidade de troca de cátions (valor T) é muito baixa, observando-se que o íon H^+ contribui com a maior parcela de seu valor final; a saturação por alumínio (m%) varia de baixa a alta e finalmente os teores de matéria orgânica (carbono orgânico x 1,724) variam de baixo a alto (CFSEMG, 1989).

Quadro 2 - Caracterização química das amostras dos solos estudados.

Amostra	Horizonte	pH (Relação 1:25)			Δ pH	Complexo Sortivo								Saturação Por		
		Água	KCl 1N			P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	H + Al	Valor t	Valor T	Bases (V)	Al(m) C
		(ppm)				meq/100 cc								%		
1	A	4,4	5,4	-1,0	2	0,9	0,2	0,13	1,2	1,1	8,0	2,2	9,1	10	47	2,0
	Bw	4,4	5,7	-1,3	1	0,3	0,1	0,06	0,5	0,8	5,3	1,3	5,8	8	62	0,7
2	A	4,0	4,8	-0,8	2	0,4	0,1	0,09	0,6	1,9	14,1	2,5	14,8	4	74	2,5
	Bw	4,4	5,5	-1,1	1	0,2	0,1	0,02	0,3	1,0	7,0	1,4	7,4	5	74	0,9
3	A	5,3	6,4	-1,1	1	1,6	0,1	0,14	1,9	0,1	2,6	1,9	4,4	42	6	1,1
	Bw	5,3	6,7	-1,4	1	0,6	0,2	0,09	0,9	0,1	1,8	1,0	2,8	32	10	0,5
4	A	5,5	5,9	-0,4	5	2,4	0,2	0,05	2,7	0,1	4,1	2,8	6,8	39	5	2,0
	Bw	4,7	6,0	-1,3	1	0,4	0,1	0,04	0,6	0,1	3,9	0,7	4,5	14	19	0,5
5	A	6,3	6,6	-0,3	1	4,8	0,1	0,08	5,0	0,1	2,1	5,1	7,1	70	2	1,9
	Bw	4,7	5,9	-1,2	1	0,1	0,1	0,02	0,2	0,2	4,3	0,4	4,5	9	43	0,7
6	A	5,1	5,8	-0,7	1	0,2	0,1	0,08	0,4	0,3	4,9	0,7	5,3	8	41	2,1
	Bw	5,6	6,6	-1,0	1	0,1	0,1	0,01	0,2	0,1	2,0	0,3	2,2	9	32	0,6
7	A	4,8	5,1	-0,3	1	1,0	0,1	0,04	1,2	0,8	10,7	2,5	11,9	10	52	2,2
	Bw	5,2	6,5	-1,3	1	0,2	0,1	0,01	0,3	0,1	2,3	0,4	2,5	11	31	0,1
8	A	5,1	5,8	-0,7	1	0,3	0,1	0,12	0,5	0,3	4,9	0,8	5,1	10	37	2,0
	Bw	5,4	6,5	-1,1	1	0,1	0,1	0,02	0,2	0,1	2,3	0,3	2,5	10	29	0,8
9	A	4,9	5,7	-0,8	1	0,2	0,1	0,07	0,4	0,5	5,2	0,9	5,6	7	57	1,9
	Bw	5,0	6,4	-1,4	1	0,1	0,1	0,02	0,2	0,1	2,5	0,3	2,8	10	27	0,7
10	A	5,0	6,7	-1,7	1	1,0	0,1	0,06	1,2	0,4	1,9	1,6	3,1	39	25	0,4
	Bi	5,1	6,7	-1,6	1	0,4	0,1	0,04	0,5	0,7	1,9	1,2	2,4	23	54	0,1
11	A	5,1	6,0	-0,9	3	1,3	0,2	0,14	1,6	0,4	3,7	2,0	5,3	30	22	1,0
	Bi	4,6	6,3	-1,7	1	1,3	0,1	0,05	1,5	0,4	2,9	1,9	4,4	35	23	0,7

(Continuação Quadro 2)

Amostra	Horizonte	pH (Relação 1:25)		Δ pH	Complexo Sortivo								Saturação por			
		Água	KCl 1N		P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Valor S	Al ³⁺	H + Al	Valor t	Valor T	Bases (V)	Al(m)	C
					(ppm)				meq/100 cc				%			
12	A	4,3	5,5	-0,8	1	0,6	0,2	0,12	0,9	1,0	7,1	1,9	8,0	12	50	2,3
	Bi	5,3	6,8	-1,5	1	0,2	0,1	0,02	0,3	0,1	1,6	0,4	1,9	15	26	0,5
13	A	5,3	6,1	-0,8	2	2,7	1,3	0,18	4,0	0,2	3,6	4,4	7,9	54	4	2,2
	Bt	5,1	6,1	-1,0	1	0,3	0,1	0,02	0,4	0,2	3,4	0,6	3,8	10	36	0,6
14	A	4,9	5,9	-1,0	3	1,5	0,3	0,13	1,6	0,3	4,3	2,4	6,1	30	16	2,1
	Bt	5,1	6,2	-1,1	1	0,3	0,1	0,01	0,4	0,1	3,1	0,5	3,6	12	22	0,6
15	A	5,3	6,0	-0,7	3	2,8	0,2	0,11	3,1	0,2	4,0	3,3	7,2	43	5	2,0
	Bt	4,9	5,9	-1,0	2	1,1	0,1	0,06	1,3	0,5	4,4	1,8	5,7	23	29	0,8
16	A	5,5	6,0	-0,5	2	2,2	0,6	0,19	3,1	0,2	3,9	3,2	7,0	44	6	1,4
	Bt	5,5	6,5	-1,0	1	1,8	0,4	0,03	2,2	0,1	2,3	2,3	4,4	49	4	0,4
17	A	5,4	5,9	-0,5	2	2,7	0,7	0,16	3,6	0,2	4,6	3,8	8,2	44	6	1,9
	Bt	5,5	6,4	-0,9	1	2,0	0,8	0,06	2,9	0,1	2,6	3,0	5,5	53	3	0,5
18	A	5,6	6,0	-0,4	2	3,5	1,0	0,23	4,7	0,1	3,9	4,8	8,6	54	3	2,3
	Bt	5,7	6,4	-0,7	2	3,6	0,5	0,04	4,1	0,1	2,6	4,2	6,7	61	2	0,6
19	A	5,0	5,8	-0,8	1	2,6	0,8	0,11	3,6	0,2	4,6	3,8	8,2	44	5	2,3
	Bt	5,5	6,2	-0,7	1	1,6	0,2	0,02	1,7	0,1	3,1	1,8	4,8	37	5	0,8
20	A	6,3	6,6	-0,3	6	5,4	0,1	0,07	5,6	0,0	2,0	5,6	7,6	73	0	1,6
	Bt	5,5	6,1	-0,6	1	1,7	0,1	0,02	1,8	0,2	3,4	2,0	5,2	35	12	0,8

4.1.2 Ataque sulfúrico

Os teores de óxidos do ataque sulfúrico, bem como as relações moleculares K_i e K_r dos solos estudados encontram-se no Quadro 3. Conforme registrado no item Material e Métodos a determinação do ataque sulfúrico foi efetuada apenas nas amostras relativas aos horizontes de subsuperfície. Observando-se o Quadro 3 percebe-se que os solos apresentam-se com suas composições de óxidos bastante contrastantes. Neste particular, o contraste mais acentuado verifica-se com os teores de Fe_2O_3 com valores, variando de 3,00 a 23,17%. O comportamento das relações moleculares K_i e K_r refletem os contrastes apontados anteriormente. Tentando-se fazer uma distinção entre os diferentes solos com base nos índices K_i , dois grupos podem ser destacados. O primeiro, englobando os materiais latossólicos (amostras 1 a 9), que via de regra apresentam valores de K_i inferiores, e o segundo grupo, englobando as amostras dos materiais com horizonte B incipiente e B textural (amostras 10 a 20), apresentam valores de K_i relativamente mais elevados. Entretanto, o fato das amostras 2, 13, 14 e 19 apresentarem resultados conflitantes entre si, corrobora com Ker (1988) ao afirmar que o índice K_i nem sempre, reflete o grau de intemperismo do solo, mostrando-se vulnerável em muitos casos.

4.1.3 Teores de óxidos de ferro e de alumínio extraídos pelo DCB (Fe_d e Al_d) e pelo oxalato de amônio (Fe_o e Al_o)

O Quadro 4 apresenta os resultados das extrações de Fe e Al pelas soluções de DCB e de Oxalato de amônio. Mais uma vez observa-se grande variação nos valores apresentados, não sendo possível destacar qualquer tendência digna de registro, exceto o fato da solução de DCB extrair maior quantidade de Fe e de Al, que a solução de oxalato de amônio. Usando-se da relação Fe_o/Fe_d e Al_o/Al_d como medida da atividade desses óxidos, conforme proposto por Schwertmann (1973) e Ker (1988) observa-se que tanto o Fe quanto o Al encontram-se predominantemente nas suas formas cristalinas.

Quadro 3 - Determinação do ataque sulfúrico no horizonte B dos solos estudados

Amostra	Ataque pelo H ₂ SO ₄ (1:1 solo:H ₂ SO ₄)					SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ti O ₂	P ₂ O ₅	(Ki)	(Kr)	
	%							
1	20,54	28,33	8,88	0,10	0,02	1,23	1,03	5,01
2	24,10	27,56	9,29	1,01	0,02	1,49	1,22	4,66
3	15,76	24,98	7,67	0,95	0,01	1,07	0,90	5,11
4	13,14	26,26	23,17	1,30	0,03	0,85	0,54	1,78
5	13,73	32,51	12,34	1,15	0,04	0,72	0,58	4,14
6	14,75	30,20	15,45	1,23	0,02	0,83	0,63	3,07
7	15,70	24,22	4,70	0,57	0,01	1,10	0,98	8,09
8	13,69	30,79	15,22	1,25	0,02	0,76	0,57	3,18
9	16,08	29,88	11,73	1,21	0,01	0,91	0,73	4,00
10	19,78	20,40	3,80	0,57	0,01	1,65	1,47	8,43
11	21,00	20,91	3,00	0,36	0,00	1,71	1,56	10,94
12	19,36	20,40	8,90	0,26	0,01	1,61	1,26	3,60
13	21,21	27,30	9,29	0,89	0,01	1,32	1,08	4,61
14	19,17	25,75	8,78	0,70	0,01	1,26	1,04	4,60
15	23,59	24,47	7,87	0,67	0,01	1,64	1,36	4,88
16	18,83	19,83	6,46	0,67	0,01	1,61	1,34	4,82
17	21,22	23,11	15,24	1,23	0,03	1,56	1,10	2,38
18	24,08	24,43	15,55	1,34	0,03	1,67	1,19	2,47
19	18,99	23,93	15,30	1,08	0,02	1,35	0,96	2,46
20	19,92	8,92	4,04	0,55	0,10	3,80	2,94	3,47

4.1.4 Caracterização mineralógica

Os resultados da análise térmica diferencial dos diferentes materiais encontram-se no Quadro 5. Observa-se que os valores de caulinita variam de 6 a 62 % enquanto que os de gibbissita variam de 12 a 55 %. Analisando a relação Gb/Gb + Ct, percebe-se que, com raras exceções, os

horizontes B latossólicos (amostras 1 a 9), apresentam maiores valores dessa relação, enquanto que os horizontes B incipientes e B texturais (amostras 10 a 20) apresentam os menores valores. Esses resultados, embora não sejam, na sua totalidade, respaldados por estudos anteriores, parecem concordar com a natureza dos diferentes solos.

Quadro 4 - Fe e Al extraídos pelo DCB e oxalato de amônio

Solo	Horizonte	Fe _d	Fe _o	Fe _o / Fe _d	Al _d	Al _o	Al _o / Al _d
		%			%		
1	A	6,52	0,48	0,07	3,23	0,86	0,27
	B	3,13	0,39	0,12	2,58	0,94	0,36
2	A	2,73	0,51	0,19	2,26	0,90	0,40
	B	3,18	0,38	0,12	2,62	0,50	0,19
3	A	3,80	0,41	0,11	3,00	1,02	0,34
	B	3,37	0,31	0,09	2,53	0,22	0,09
4	A	9,62	0,63	0,06	10,18	1,12	0,11
	B	7,65	0,58	0,08	4,33	0,61	0,14
5	A	7,56	0,72	0,09	4,29	1,87	0,44
	B	8,75	0,76	0,09	4,94	1,28	0,26
6	A	8,00	0,56	0,07	5,50	0,65	0,12
	B	6,35	0,52	0,08	4,30	1,22	0,28
7	A	3,95	0,57	0,14	2,87	0,91	0,32
	B	3,72	0,45	0,12	1,95	0,76	0,39
8	A	6,41	0,57	0,09	4,71	0,77	0,16
	B	7,51	0,60	0,08	4,39	0,84	0,19
9	A	5,76	0,44	0,08	4,20	0,81	0,19
	B	7,28	0,50	0,07	2,98	0,82	0,27
10	A	6,10	0,64	0,10	3,48	0,53	0,15
	B	9,25	0,57	0,06	2,81	0,73	0,26
11	A	2,93	0,61	0,21	2,04	0,80	0,39
	B	2,24	0,43	0,19	2,91	0,73	0,25
12	A	5,32	0,53	0,10	3,59	0,96	0,27
	B	6,72	0,51	0,08	4,60	0,82	0,18
13	A	4,60	0,44	0,10	3,05	0,90	0,29
	B	4,74	0,49	0,10	2,91	0,67	0,23
14	A	4,14	0,58	0,14	2,88	1,00	0,35
	B	5,74	0,37	0,06	3,30	0,39	0,12
15	A	4,56	0,48	0,10	3,05	1,76	0,58
	B	4,40	0,39	0,09	2,93	0,91	0,31
16	A	3,86	0,67	0,17	3,12	1,11	0,36
	B	5,24	0,49	0,09	3,35	0,91	0,27
17	A	9,56	1,03	0,11	5,65	1,09	0,19
	B	8,04	0,78	0,10	2,96	0,94	0,32
18	A	7,04	0,52	0,07	4,38	0,50	0,11
	B	8,39	0,75	0,09	4,59	1,06	0,23
19	A	6,42	0,65	0,10	3,17	0,83	0,26
	B	6,12	0,65	0,11	3,39	0,97	0,29
20	A	3,12	0,59	0,14	3,20	0,83	0,26
	B	3,87	0,51	0,13	2,83	0,89	0,31

Quadro 5 - Teores de caulinita e gibbsita da fração argila do horizonte B dos solos estudados, determinados pela análise térmica diferencial.

SOLOS	CAULINITA (Ct)	GIBBSITA (Gb)	Gb/ Gb + Ct
	%	%	
1	48	27	0,36
2	62	23	0,27
3	40	33	0,45
4	15	52	0,78
5	18	56	0,76
6	18	42	0,70
7	32	42	0,57
8	6	38	0,86
9	21	41	0,66
10	50	15	0,23
11	58	20	0,26
12	8	37	0,82
13	47	24	0,34
14	30	26	0,46
15	43	17	0,28
16	46	13	0,22
17	24	13	0,35
18	52	12	0,19
19	26	22	0,46
20	56	17	0,23

4.2 Caracterização física dos diferentes solos estudados

Os resultados da caracterização física dos diferentes materiais são apresentados no Quadro 6. Com relação à composição granulométrica, verifica-se que os teores de argila variam de 16 a 69%; os teores de silte de 5 a 43% e os teores de areia de 10 a 60%. A argila dispersa em água (ADA) varia de 0 a 31%; o índice de floculação (IF) de 27 a 100% e finalmente o diâmetro médio geométrico (DMG) de 0,25 a 5,44 mm. Os dados relativos ao Quadro 6 confirmam o aspecto heterogêneo dos diferentes solos, fato observado nas caracterizações anteriores e mostra

apenas uma diferença digna de registro com respeito aos horizontes superficiais e subsuperficiais. Neste particular, verifica-se que os horizontes superficiais apresentam teores mais elevados de argila dispersa em água e maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG) que seus respectivos horizontes subsuperficiais.

Quadro 6 - Caracterização física dos solos estudados

Amostra	Horizonte	Areia	Silte	Argila	ADA	I.F.	DMG
				%			(mm)
1	A	31	17	52	8	85	5,13
	B	30	5	65	0	100	1,23
2	A	51	7	42	24	43	5,36
	B	29	6	65	13	80	1,72
3	A	46	13	41	21	49	3,64
	B	40	15	45	0	100	1,85
4	A	20	26	54	18	67	3,34
	B	18	14	68	0	100	1,81
5	A	20	34	46	17	62	5,33
	B	12	16	72	0	100	2,36
6	A	14	22	64	19	70	4,50
	B	11	20	69	23	67	2,54
7	A	45	12	43	11	74	4,60
	B	43	10	47	0	100	1,20
8	A	16	20	64	20	69	4,90
	B	13	18	69	11	84	3,06
9	A	29	14	57	14	75	5,06
	B	21	11	67	0	100	2,13
10	A	45	33	22	0	100	1,51
	B	46	38	16	0	100	0,25
11	A	50	16	34	23	32	2,35
	B	42	17	41	0	100	1,33
12	A	43	20	37	10	73	4,87
	B	29	43	28	9	68	0,57
13	A	61	13	26	18	31	5,44
	B	25	8	67	0	100	2,65
14	A	57	13	30	18	40	4,63
	B	27	7	66	0	100	2,47

(Continuação do Quadro 6)

Amostra	Horizonte	Areia	Silte	Argila %	ADA	I.F.	DMG (mm)
15	A	46	20	33	21	38	5,09
	B	29	20	51	31	39	2,43
16	A	61	17	22	16	27	3,94
	B	40	14	46	11	76	0,96
17	A	44	23	33	21	36	4,19
	B	24	17	59	0	100	4,14
18	A	31	30	39	18	54	4,79
	B	16	16	68	0	100	0,75
19	A	38	24	38	19	50	3,97
	B	23	17	60	14	77	2,37
20	A	50	16	34	13	62	3,79
	B	40	13	47	27	43	1,03

4.3 Relações entre estabilidade de agregados e a composição química, física e mineralógica dos diferentes solos

Procura-se a seguir verificar a participação dos componentes das diferentes caracterizações no comportamento da estabilidade estrutural expressa pelo DMG, dos solos estudados. Considerando que existem, do ponto de vista morfo genético, três grupamentos distintos de solos (solos com horizonte B latossólico, B incipiente e B textural), a análise que se segue procurará explorar esse aspecto, com vistas a se obter uma resposta mais definitiva para o comportamento do atributo em análise.

4.3.1 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B latossólico

A influência ou grau de associação dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica, e a estabilidade dos agregados dos solos com horizonte B latossólico, foi avaliada por meio de análises estatísticas de correlação. Os resultados das análises são apresentados nos Quadros 7, 8, 9 e 10.

O Quadro 7 apresenta os coeficientes das correlações efetuadas entre os componentes da caracterização química dos solos com horizonte B latossólico estudados. Constata-se correlações significativas e positivas entre o DMG dos agregados e: K, H + Al, S, t, T e C.

Quadro 7 - Coeficientes de correlações simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes das caracterizações químicas dos solos com horizonte B latossólico estudados.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	pH
DMG	0,39	0,04	0,61**	0,16	0,36	0,47*	0,07

(Continuação do Quadro 7)

	C	S	t	m	T	V
DMG	0,91**	0,40*	0,54**	0,09	0,59**	0,19

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

A correlação positiva significativa entre K e DMG ($r = 0,61^{**}$), confirma a afirmação de Gavande (1976), segundo a qual os íons Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ induzem a floculação da argila e esta é necessária para a formação de agregados estáveis no solo. Islam e Hossain (1954),

trabalhando com solos do leste de Bengala, também encontraram correlação positiva significativa ao nível de 1% de probabilidade entre K_2O e o índice de estabilidade de agregados.

A correlação positiva significativa entre DMG e o teor de $H^+ + Al^{3+}$ ($r = 0,47^*$) pode ser creditada, conforme Baver (1928), ao grande poder floculante desses íons. De acordo com o estudo desse autor, solos saturados com H^+ ou com Ca^{2+} apresentam agregações semelhantes, e em alguns casos, solos saturados com H^+ se mostraram mais floculados. Resultados que apontam no mesmo sentido foram relatados por Jorge, Camargo e Valadares (1991), ao observarem ser sistematicamente alta a estabilidade de agregados de latossolos argilosos ácidos. Esses autores constataram também que a diminuição do teor de alumínio do sistema, o qual foi substituído pelo cálcio que é um cátion com menor poder agregante que o alumínio, diminuiu a agregação. O efeito do Al^{3+} também é respaldado por Baver, Gardner e Gardner (1972), segundo esses autores quanto maior a valência do cátion, maior é seu poder floculante.

A correlação positiva entre o valor S e DMG ($r = 0,40^*$) é explicada em função dessa variável ser composta pela soma dos cátions Ca, Mg, K e Na, os quais com exceção do Na, são considerados agentes floculantes (Gavande, 1976), embora como foi discutido anteriormente desses cátions apenas o K apresenta correlação positiva e significativa com o DMG.

As correlações positivas altamente significativas entre os valores t e T e, DMG ($r = 0,54^{**}$ e $0,59^{**}$ respectivamente), embora também tenham sido relatadas no estudo de Reichert, Veiga e Cabeda (1993), simplesmente confirmam as discussões anteriores envolvendo os seus componentes.

Finalmente o Quadro 7 revela correlação altamente significativa entre DMG e o teor de carbono orgânico ($r = 0,91^{**}$). Esse resultado pode ser atribuído ao grande poder cimentante da matéria orgânica do solo, sendo respaldado por uma série de estudos envolvendo esse importante atributo do solo, entre os quais pode-se citar Stallings (1957); Queiroz Neto e Grohmann (1963); Queiroz Neto, Oliveira e Grohmann (1966); Troeh, Hobbs e Danarue, (1980); Tisdall e Oades (1982); Castro e Medeiros (1991). A Figura 2 ilustra a relação entre DMG e o teor de carbono dos solos com horizonte B latossólico analisados.

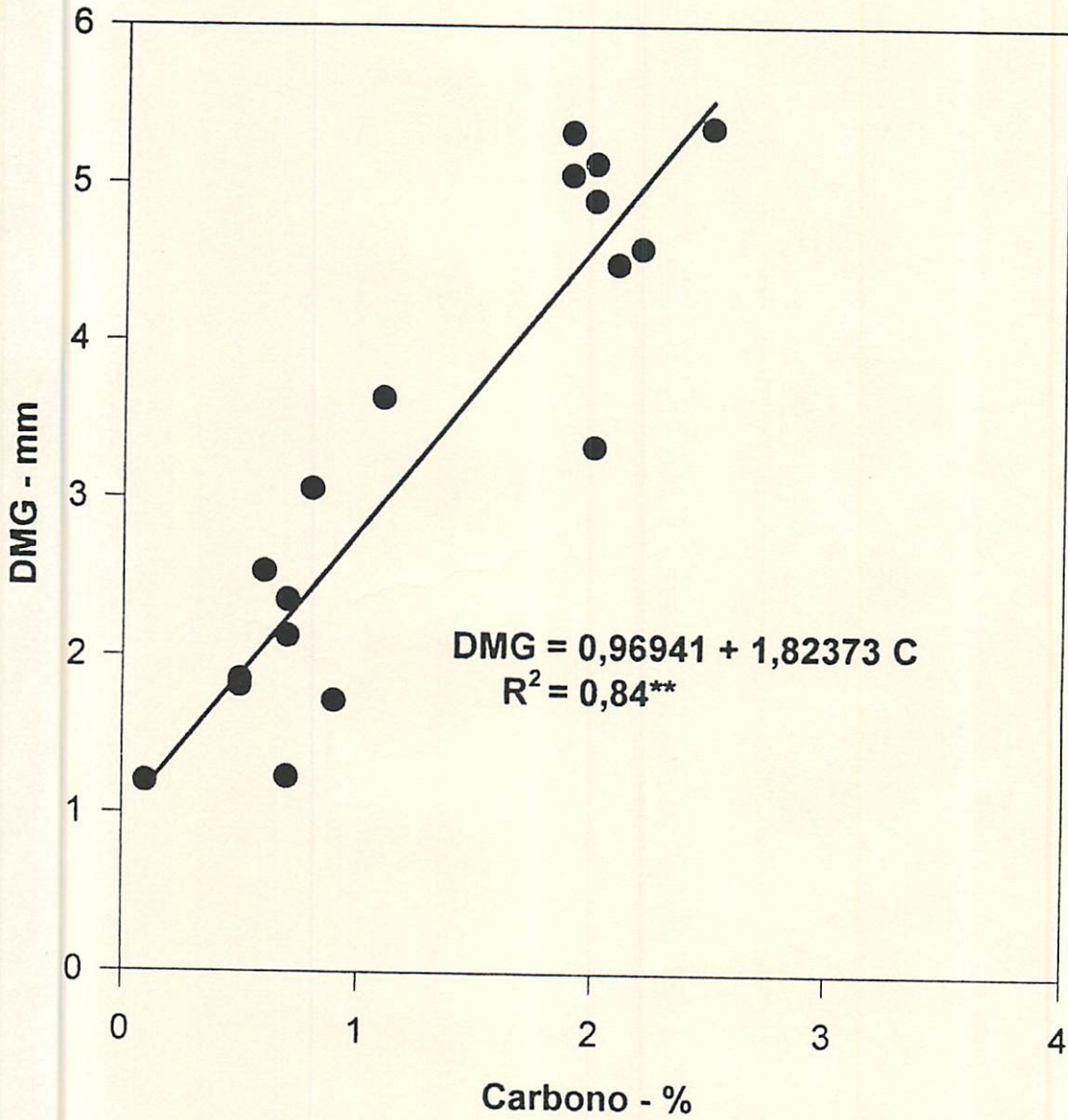


Figura 2 - Relação entre DMG e carbono dos solos com horizonte B latossólico estudados.

Os resultados das correlações envolvendo, o DMG e os teores de óxidos de Fe e Al extraídos pelo DCB e oxalato de amônio são apresentados no Quadro 8.

Verifica-se que os óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio não se correlacionam significativamente com a estabilidade de agregados dos solos com horizonte B latossólico estudados. Ao contrário do que afirmaram Colombo e Torrent (1991), embora tanto os óxidos de Fe quanto os óxidos de Al encontrem-se nesses solos predominantemente em suas formas cristalinas, esse aspecto não refletiu nos resultados da estabilidade dos agregados dos mesmos.

Quadro 8 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio nos solos com horizonte B latossólico estudados.

	Fe _d	Fe _o	Fe _o / Fe _d	Al _d	Al _o	Al _o / Al _d
DMG	0,15	0,32	0,09	0,17	0,34	0,13

No Quadro 9 são apresentados os resultados das análises de correlação entre os componentes das caracterizações físicas e o DMG dos materiais latossólicos estudados. Observam-se correlações significativas entre DMG e: Silte, IF e ADA.

Quadro 9 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes das caracterizações físicas dos solos com horizonte B latossólico estudados.

	Areia	Silte	Argila	IF	ADA
DMG	0,05	0,43*	-0,39	-0,71*	0,67*

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

Em que pese o fato dos valores da fração silte serem relativamente baixas nessa classe de solos, a correlação positiva encontrada contradiz os resultados obtidos por vários autores que encontraram correlação negativa entre silte e agregação do solo, dentre os quais pode-se citar

Wischmeier, Jonhson e Cross (1961); Wischmeier e Mannering (1969). A justificativa para esse resultado está no fato de que os teores de silte desses solos acompanham os teores de carbono, como pode ser observado no Quadro 6. Desse modo, como afirmaram Reichert e Cabeda (1992), a correlação positiva encontrada entre silte e DMG deve ser atribuída aos teores de carbono orgânico, muito embora, a fração silte possa, em certos casos, apresentar considerável quantidade de cargas negativas e propiciar a agregação do solo.

As correlações negativa entre IF e DMG ($r = -0,71^*$) e positiva entre ADA e DMG ($r = 0,67^*$), nos solos com horizonte B latossólico, não eram esperadas uma vez que, como foi apontado anteriormente, a floculação é a primeira etapa da agregação. Todavia, o índice de floculação é menor no horizonte superficial, e conseqüentemente o conteúdo de ADA é maior neste horizonte (Quadro 3) que é mais rico em matéria orgânica, logo o resultado encontrado pode estar ligado ao poder agregante da matéria orgânica uma vez que foram analisados os dados de ambos os horizontes conjuntamente. Dados que amparam esta afirmativa foram encontrados por Sans, Demote e Carvalho (1970), que encontraram os maiores teores de ADA nos horizontes superficiais dos solos, decrescendo em profundidade. Além disso, a argila floculada pode comportar-se como fração silte nos latossolos, conferindo-lhes os efeitos adversos dessa fração sobre a agregação (Lima, 1987). Essas altas correlações podem ser vistas nas Figuras 3 e 4.

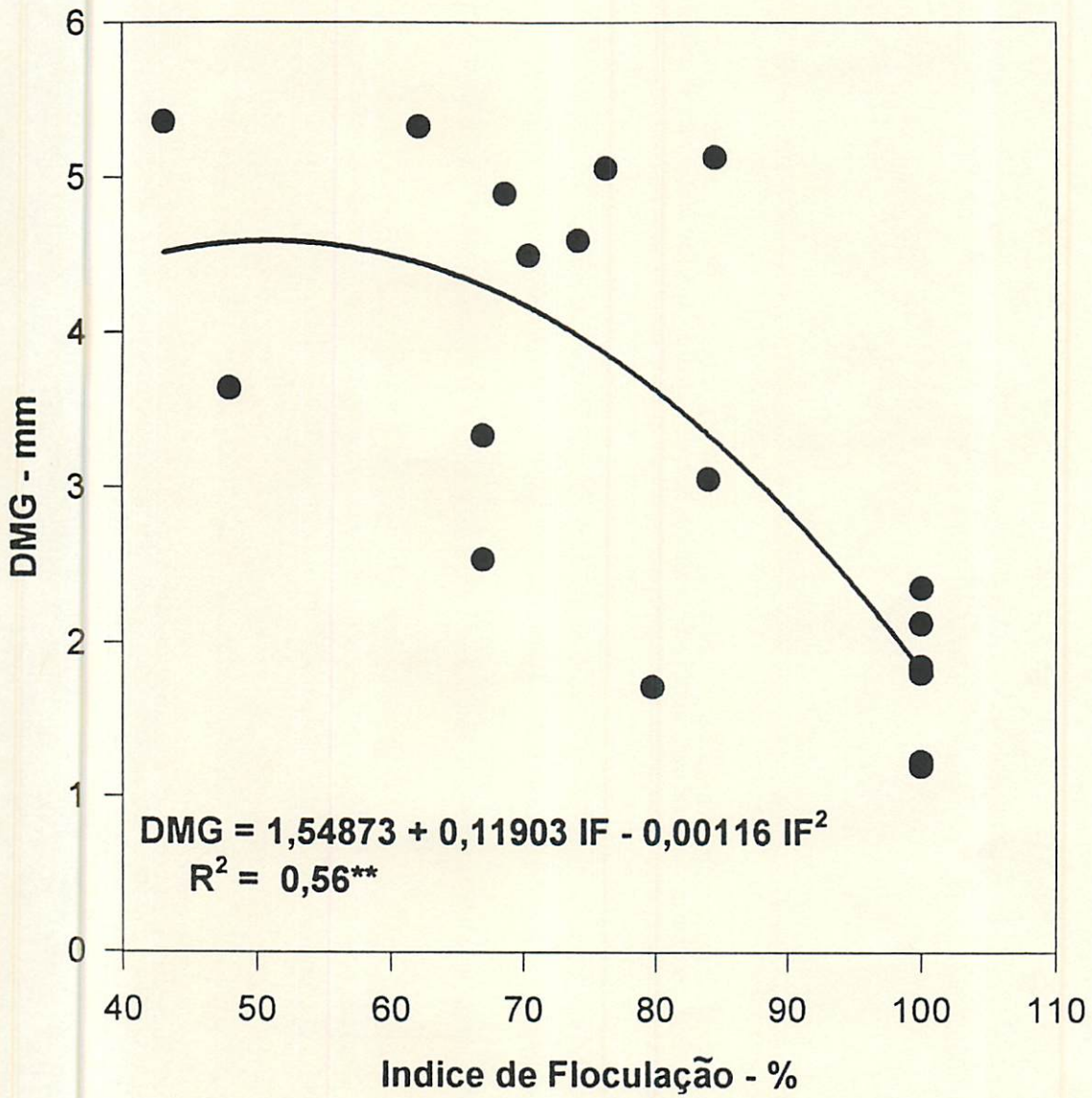


Figura 3 - Relação entre DMG e índice de floculação dos solos com horizonte B latossólico estudados.

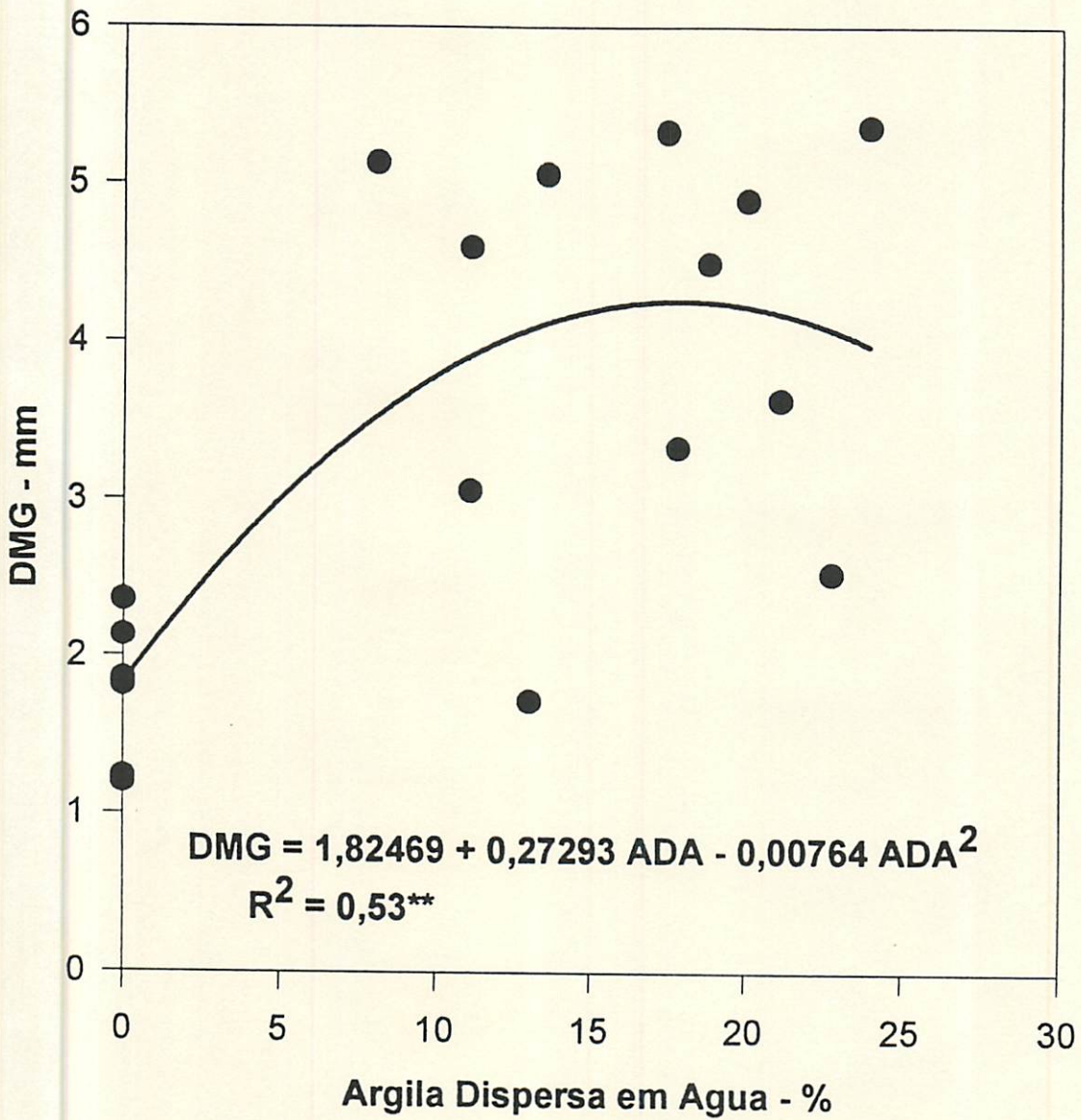


Figura 4 - Relação entre DMG e argila dispersa em água (ADA) nos solos com horizonte B latossólico estudados.

Finalmente no Quadro 10 são apresentados os resultados das análises de correlação entre DMG e os componentes do ataque sulfúrico e da análise mineralógica dos solos com horizonte B latossólico.

Quadro 10 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e análise mineralógica dos solos com horizonte B latossólico.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
DMG	-0,50	0,72*	0,49	-0,69*	-0,70*	-0,62*

(Continuação do Quadro 10)

	TiO ₂	P ₂ O ₅	Gibbsita (Gb)	Caulinita (Ct)	Gb/Gb + Ct
DMG	0,75**	0,28	0,30	-0,69*	0,69*

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significação ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Os teores de Al₂O₃ apresentam correlação positiva significativa com o DMG ($r = 0,72^*$). Essa correlação positiva confirma o efeito cimentante dos óxidos de alumínio, estando de acordo com Ferreira (1988) que constatou efeito positivo do Al₂O₃ sobre a estrutura dos latossolos. A Figura 5 ilustra a correlação entre DMG e Al₂O₃.

A correlação negativa entre Kr e DMG ($r = -0,70$), pode ser explicada em função do Kr ser inversamente proporcional aos teores de óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes do solo.

O índice Ki também apresenta correlação negativa com o DMG ($r = -0,69^*$). Esse resultado é explicado pelo fato que quanto menor for o Ki maior será o teor de óxidos em relação

a sílica, os quais são considerados agentes agregantes, favorecendo a formação de pequenos grânulos, os quais são bastante estáveis em água. (Resende, Rezende e Carmo, 1984). A Figura 6 ilustra a relação entre DMG e Ki.

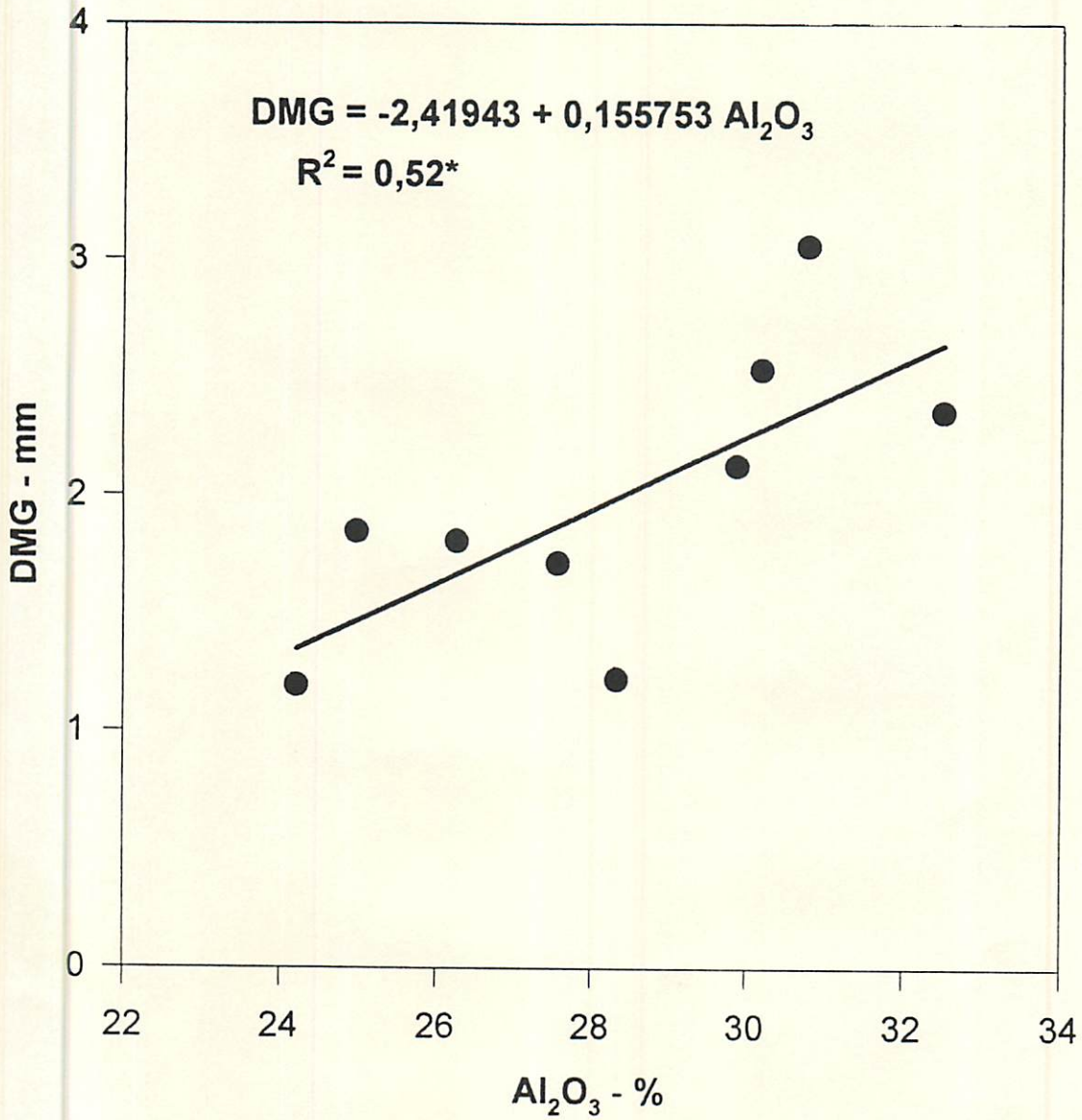


Figura 5 - Relação entre DMG e teor de Al₂O₃ do ataque sulfúrico nos solos com horizonte B latossólico.

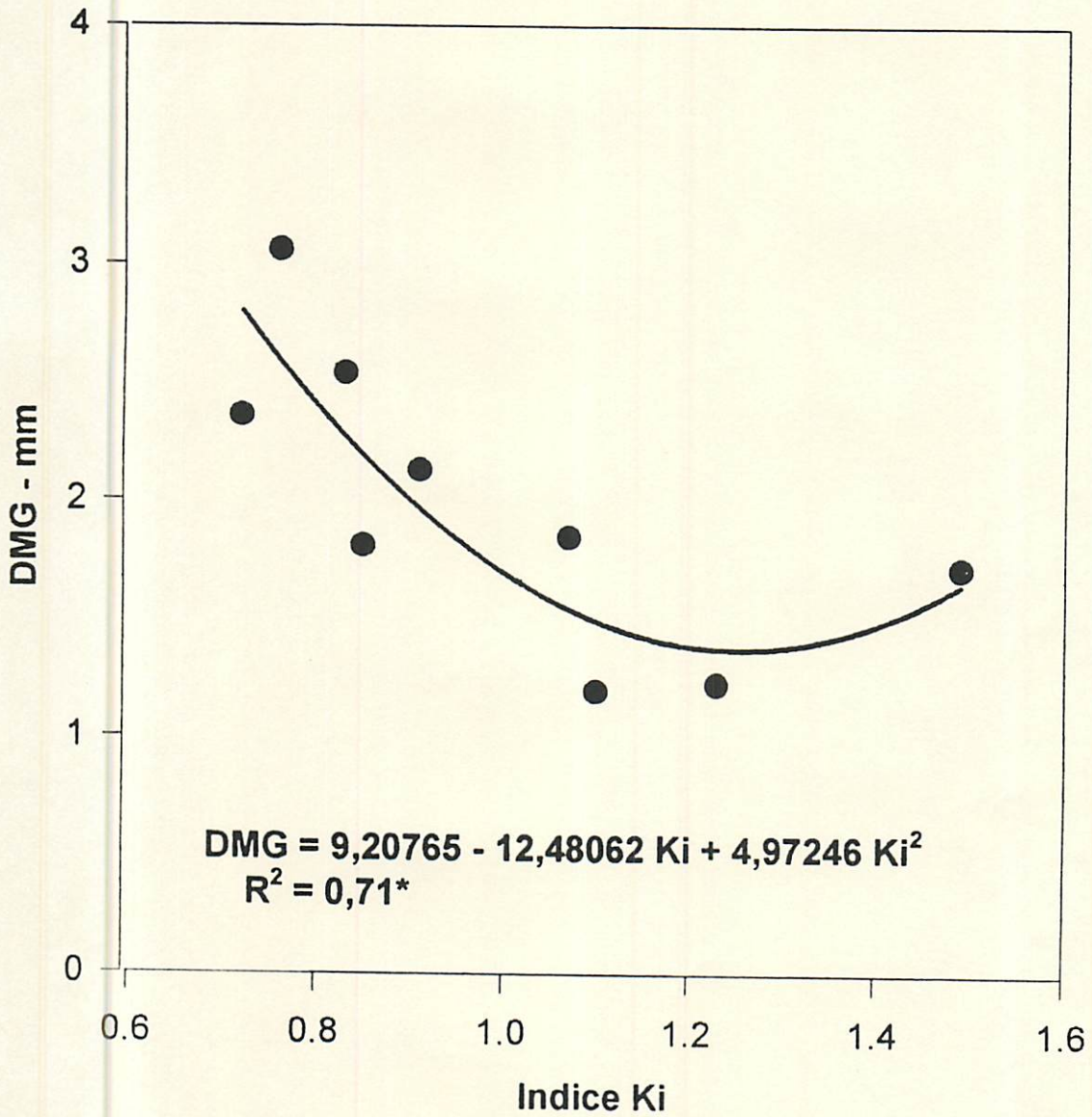


Figura 6 - Relação entre DMG e Ki dos solos com horizonte B latossólico estudados.

A relação Al_2O_3/Fe_2O_3 apresenta correlação negativa significativa com o DMG ($r = -0,62^*$). Observando-se o Quadro 4, verifica-se que a relação Al_2O_3/Fe_2O_3 é inversamente proporcional aos teores de óxidos (óxidos de Fe + óxidos de Al). Portanto, o DMG aumentou com o aumento do conteúdo de óxidos, confirmando a importância dos óxidos de Fe e Al na agregação do solo, salientada por vários autores (Emerson, 1956; McIntyre, 1966; Russel, 1971; El Swaifi e Emerson, 1975; Troe, Hobbs e Danarue, 1980; Resende, 1985; Ferreira, 1988; Schwertmann, 1988; Arduino, Barberis e Boero, 1989; Goldberg, 1989; Barberis et al., 1991; Colombo e Torrent, 1991).

O teor de titânio do ataque sulfúrico apresenta correlação positiva altamente significativa com o DMG ($r = 0,75^{**}$). Este resultado confirma a importância dos óxidos de titânio na agregação do solo. O papel dos óxidos de titânio na agregação do solo foi verificado por Shermann (1952), trabalhando com solos do Havai, onde constatou a formação de um horizonte superficial endurecido quando os solos eram expostos à desidratação, atribuiu esse endurecimento a óxidos de Ti e Fe-Ti. Milnes e Fitzpatrick (1989) destacam que vários trabalhos, em várias partes do mundo, encontraram correlação positiva entre os óxidos de titânio e agregação do solo. Esta correlação é ilustrada na Figura 7.

O teor de caulinita apresenta correlação negativa com o DMG ($r = -0,69^*$). Resultado semelhante foi verificado, em latossolos, por Ferreira (1988). A Figura 8 ilustra essa correlação negativa entre caulinita e DMG.

Para finalizar o Quadro 10, a relação $Gb/Gb + Ct$ apresenta correlação positiva com o DMG ($r = 0,69^*$). Esse resultado é devido ao fato de que os solos ricos em gibbsita possuem estrutura forte muito pequena granular com agregados muito pequenos no horizonte B (Ferreira, 1992), os quais são mais estáveis em água, que os agregados de solos caulínicos, neste horizonte.

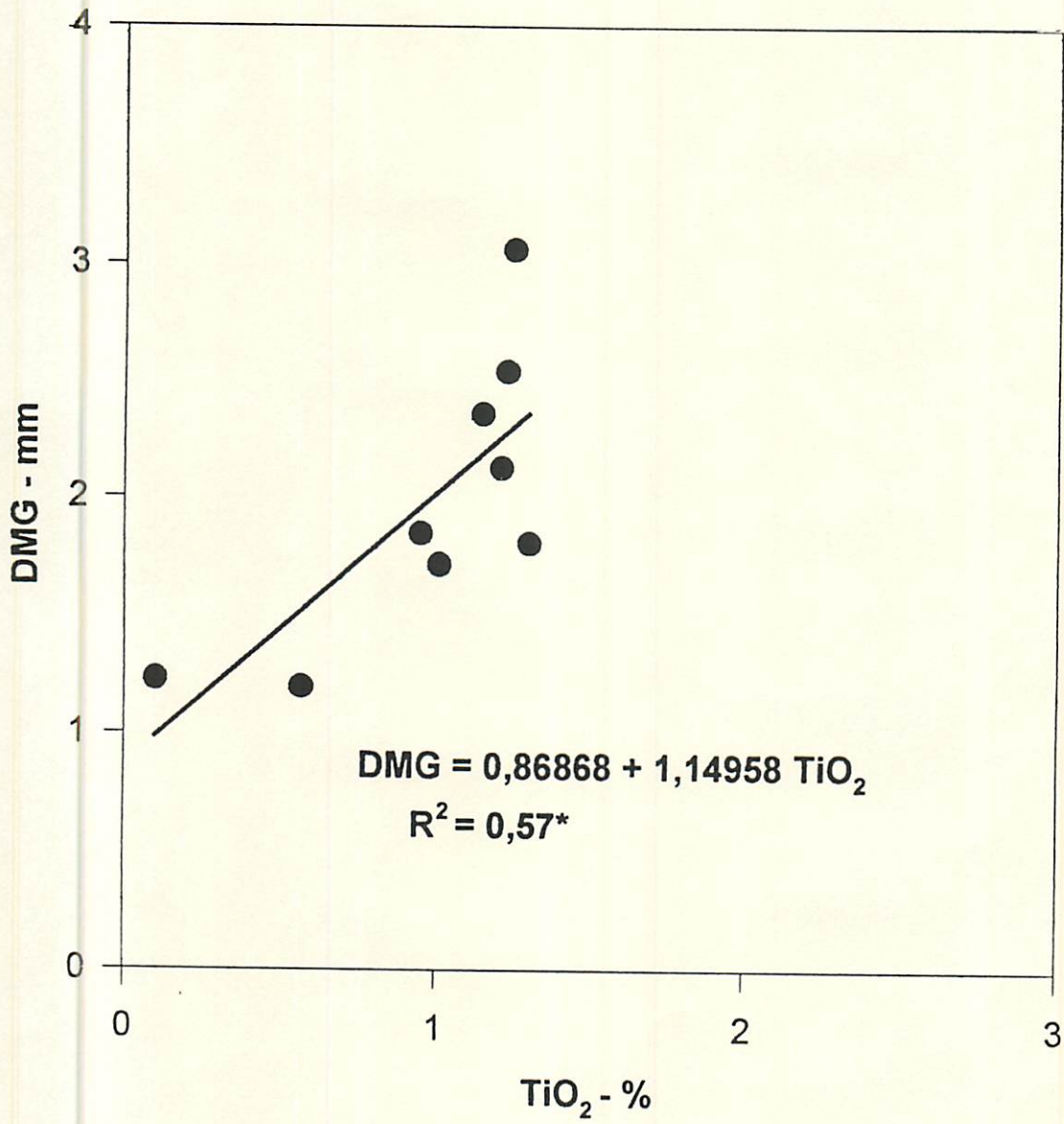


Figura 7 - Relação entre DMG e teor de TiO₂ do ataque sulfúrico nos solos com horizonte B latossólico estudados.

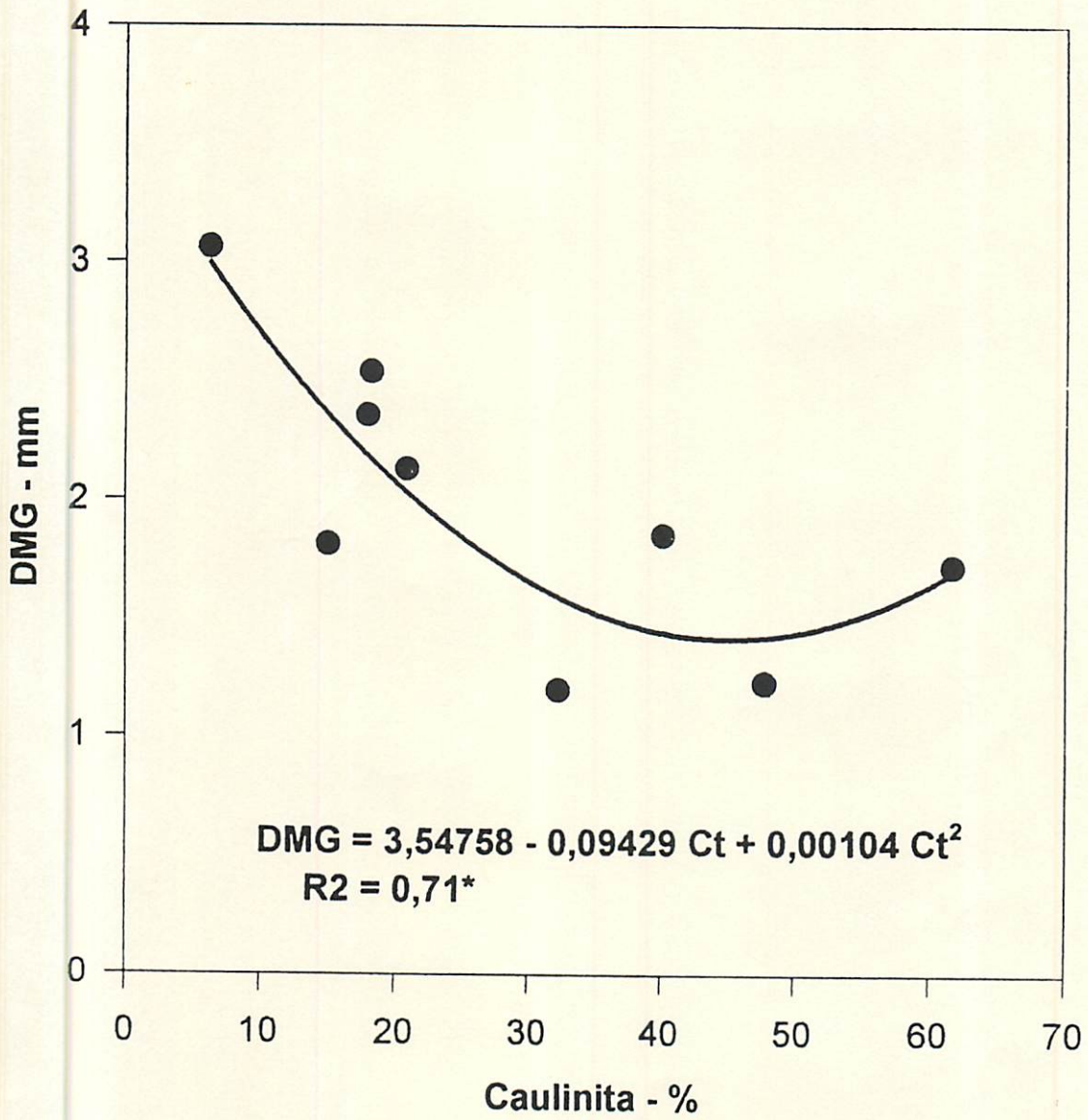


Figura 8 - Relação entre DMG e teor de caulinita nos solos com horizonte B latossólico estudados.

4.3.2 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B textural

O Quadro 11 apresenta os coeficientes das correlações entre o DMG e alguns componentes da caracterização química dos solos com horizonte B textural.

Quadro 11 - Coeficientes das correlações simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização química dos solos com horizonte B textural.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	pH
DMG	0,28	0,53*	0,77**	0,36	0,08	0,46*	-0,11

(Continuação do Quadro 11)

	C	S	t	m	T	V
DMG	0,81**	0,40	0,45*	-0,22	0,63**	0,20

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

Verifica-se que o teor de Mg correlaciona-se positiva e significativamente com o DMG ($r = 0,53^*$). Resultados semelhantes envolvendo o íon Mg foram encontrados por Gavande (1976), Roth et al (1986), Roth, Castro Filho e Medeiros (1991) e Reichert, Veiga e Cabeda (1993). Em alguns desses estudos, envolvendo a prática da calagem, a justificativa apresentada para o aumento da estabilidade dos agregados pela aplicação do calcário estaria na ação floculante dos íons Ca e Mg. Todavia, Peele, Beale e Lathan (1938); Elson(1940); Jucksch et al (1986) relataram em seus estudos resultados contrários aos do presente trabalho.

Verifica-se ainda que, com exceção do Mg, o comportamento dos constituintes das análises químicas foi semelhante ao do grupamento de solos com horizonte B latossólico

estudados, sendo encontrada correlação positiva e significativa entre DMG e K ($r = 0,77^*$), H + Al ($r = 0,46^*$), t ($r = 0,45^*$), T ($r = 0,63^{**}$) e teor carbono ($r = 0,81^{**}$).

As Figuras 9 e 10 ilustram a relação entre DMG e teor de K e DMG e teor de carbono respectivamente.

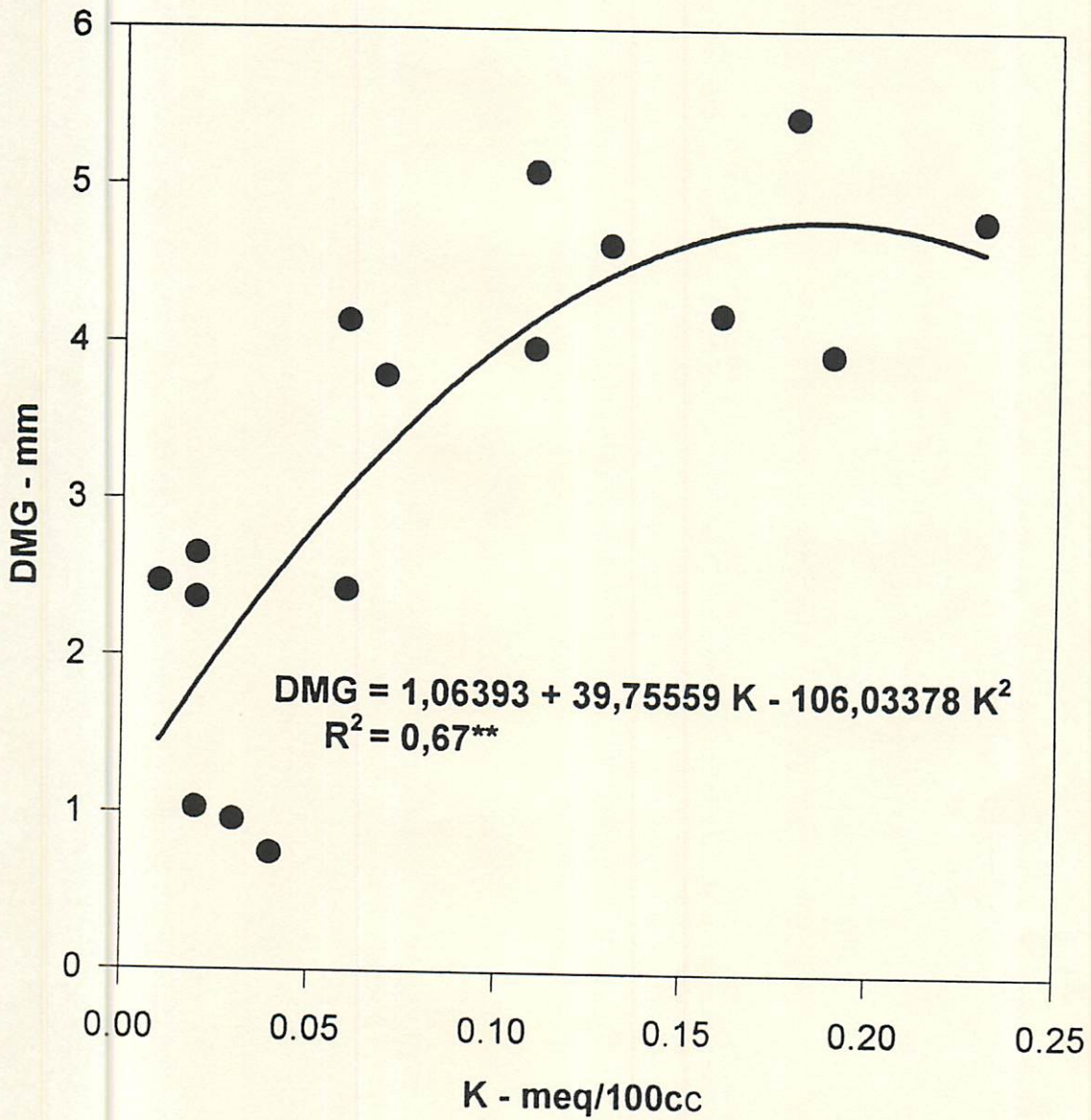


Figura 9 - Relação entre o teor de potássio dos solos com horizonte B textural estudados.

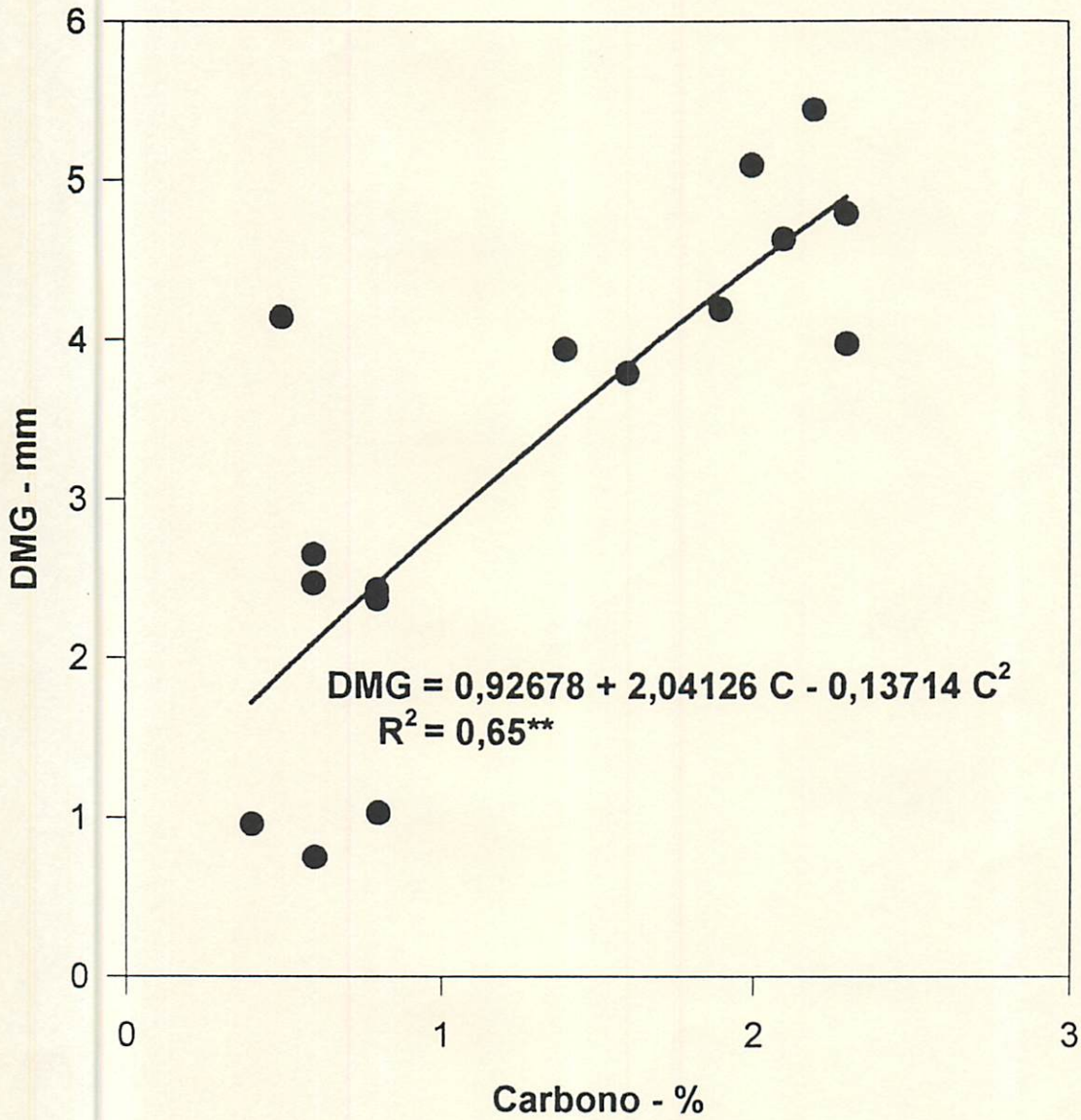


Figura 10 - Relação entre teor de carbono dos solos com horizonte B textural estudados

No Quadro 12, são apresentados os resultados das correlações efetuadas entre o DMG e os teores de óxidos de Fe e Al, extraídos pelo DCB e oxalato de amônio.

A análise do Quadro 12 permite constatar que, assim como ocorreu no grupamento de solos com horizonte B latossólico, não se encontrou correlações significativas entre os teores desses componentes e a estabilidade de agregados dos solos.

Quadro 12 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio nos solos com horizonte B textural

	Fe _d	Fe _o	Fe _o / Fe _d	Al _d	Al _o	Al _o / Al _d
DMG	-0,03	0,09	0,16	-0,01	0,21	0,24

Os coeficientes de correlação entre os componentes da caracterização física e o DMG são apresentados no Quadro 13.

Quadro 13 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização física dos solos com horizonte B textural.

	Areia	Silte	Argila	IF	ADA
DMG	0,56*	0,39	-0,67**	-0,50*	0,22

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

O teor de areia apresenta correlação positiva com o DMG ($r = 0,56^*$). O teor de argila possui correlação negativa com o DMG. Esses resultados em princípio são muitos contraditórios e evidentemente são contrários aos encontrados na literatura. Todavia, observando-se o Quadro 3 verifica-se que o teor de areia é maior nas amostras superficiais e o teor de argila é maior nas

amostras subsuperficiais que são mais pobres em carbono orgânico, logo a correlação positiva entre a fração areia e o DMG e a negativa entre a fração argila e o DMG, não é devida ao poder agregante ou dispersante dessas frações, mas sim ao teor de carbono orgânico, uma vez que esses solos apresentam gradiente textural.

O índice de floculação (IF) apresenta correlação negativa com o DMG ($r = -0,50^*$). Esse resultado é semelhante ao encontrado no grupamento de solos com horizonte B latossólico estudados.

Observando-se o Quadro 14 constata-se que, semelhante ao que ocorreu no grupamento de solos com horizonte B latossólico estudados, os componentes do ataque sulfúrico e da análise mineralógica não se correlacionaram significativamente com a estabilidade de agregados dos solo com horizonte B textural.

Quadro 14 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e da caracterização mineralógica dos solos com horizonte B textural.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
DMG	0,14	0	0,37	-0,05	-0,11	-0,44

(Continuação do Quadro 14)

	TiO ₂	P ₂ O ₅	Gibbsita (Gb)	Caulinita (Ct)	Gb/Gb + Ct
DMG	0,37	0,04	-0,32	-0,30	-0,03

4.3.3 Influência dos componentes das caracterizações química, física e mineralógica na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B incipiente

O Quadro 15 apresenta os coeficientes de correlação entre os componentes da caracterização química dos solos com horizonte B incipiente.

Quadro 15 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização química dos solos com horizonte B incipiente.

	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	pH
DMG	0,18	0,83*	0,79*	0,16	0,67	0,98**	-0,54

(Continuação do Quadro 15)

	C	S	t	m	T	V
DMG	0,97**	0,31	0,61	0,24	0,96	-0,34

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t

O comportamento dos constituintes da análise química é semelhante ao verificado para os grupamentos de solos com horizonte B latossólico e B textural estudados. Verifica-se correlação positiva entre DMG e os teores de Mg ($r = 0,83^*$), K ($r = 0,79^*$), H + Al ($r = 0,98^{**}$), T ($r = 0,96^{**}$) e carbono orgânico ($r = 0,97^{**}$). As Figuras 11, 12, 13, 14, 15 ilustram a relação entre DMG e Mg, K, H + Al, C e T respectivamente.

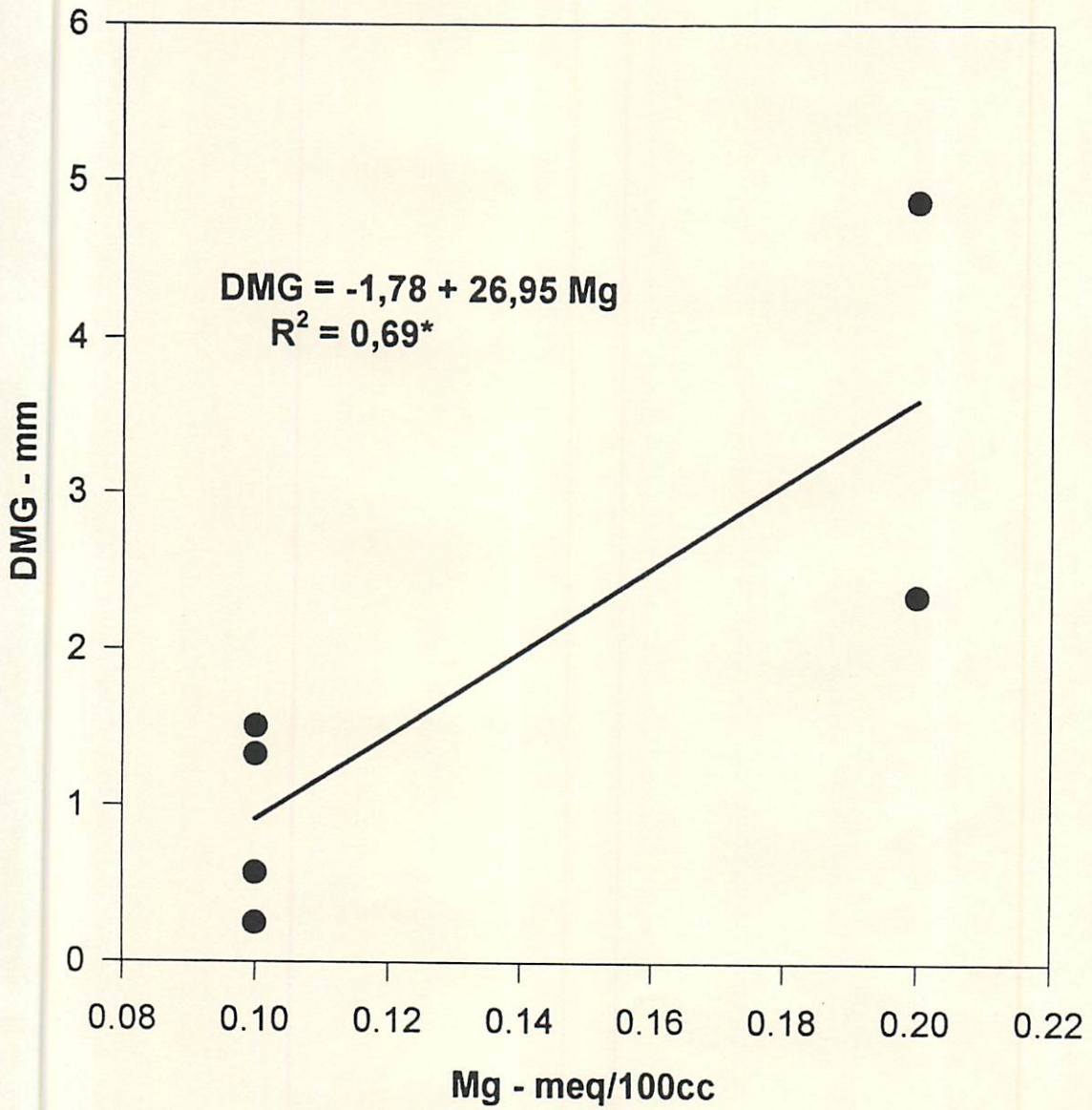


Figura 11- Relação entre DMG e teor de magnésio dos solos com horizonte B incipiente estudados.

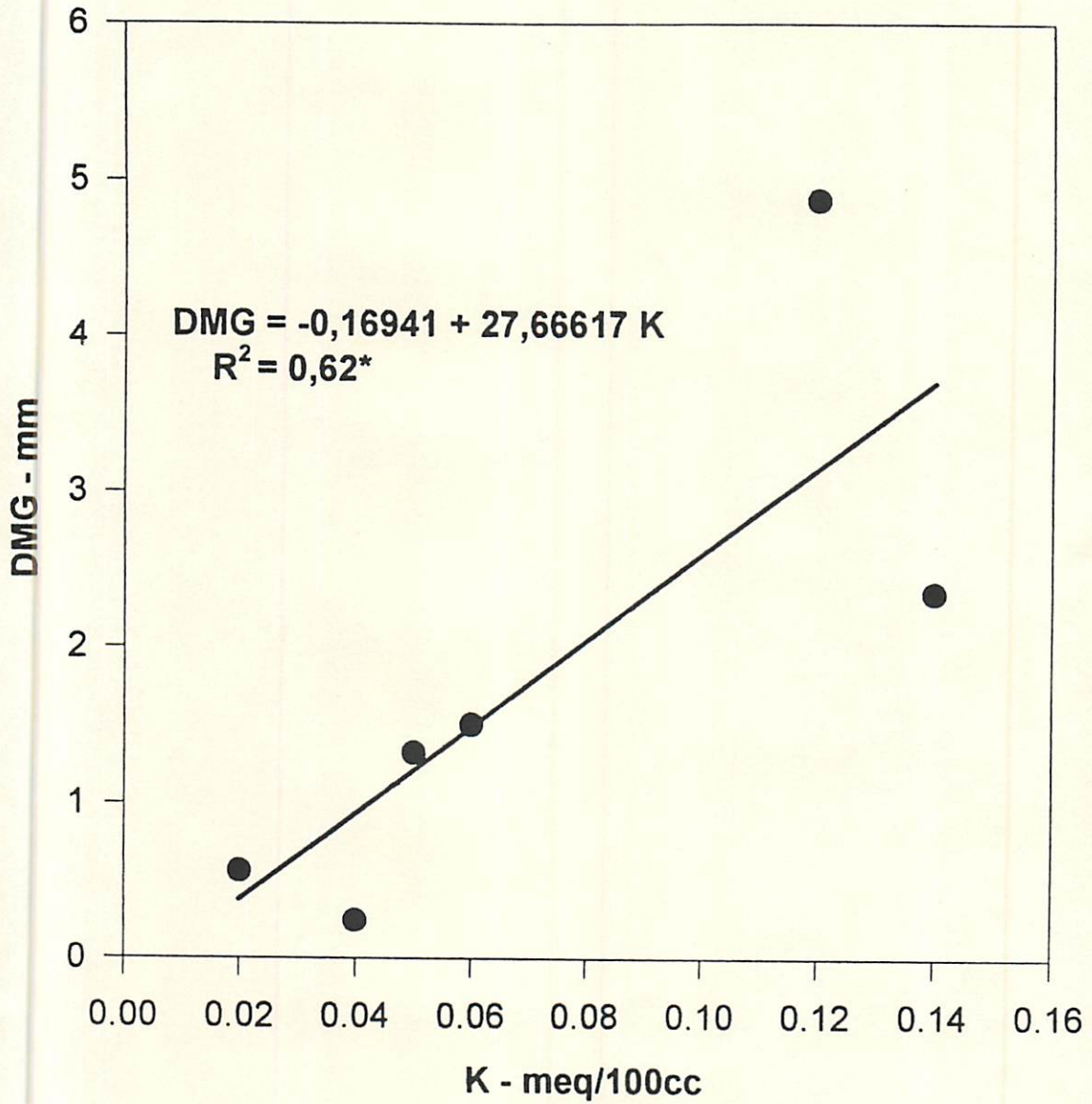


Figura 12 - Relação entre DMG e teor de potássio nos solos com horizonte B incipiente estudados.

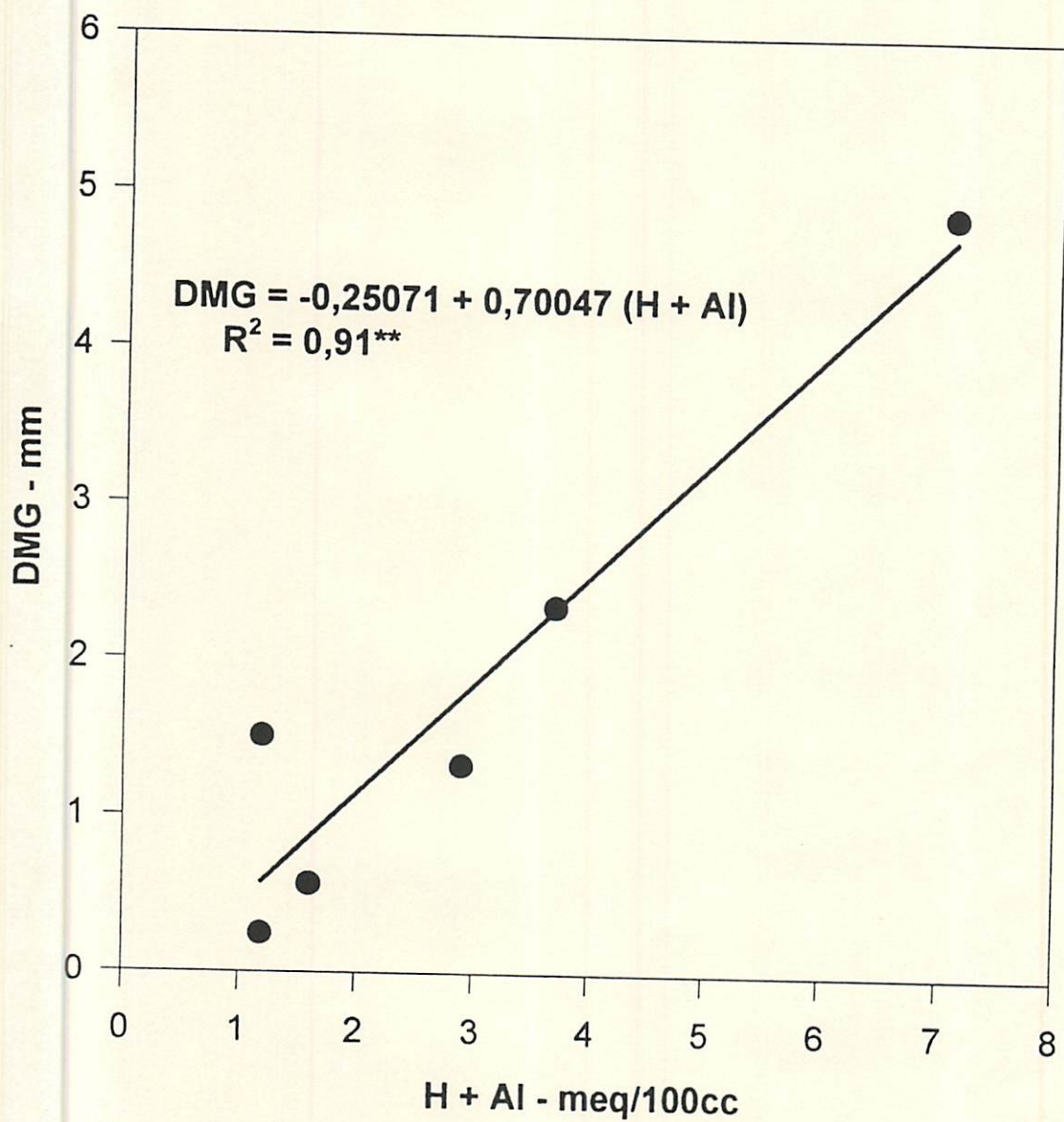


Figura 13 - Relação entre DMG e teor de H + Al nos solos com horizonte B incipiente estudados.

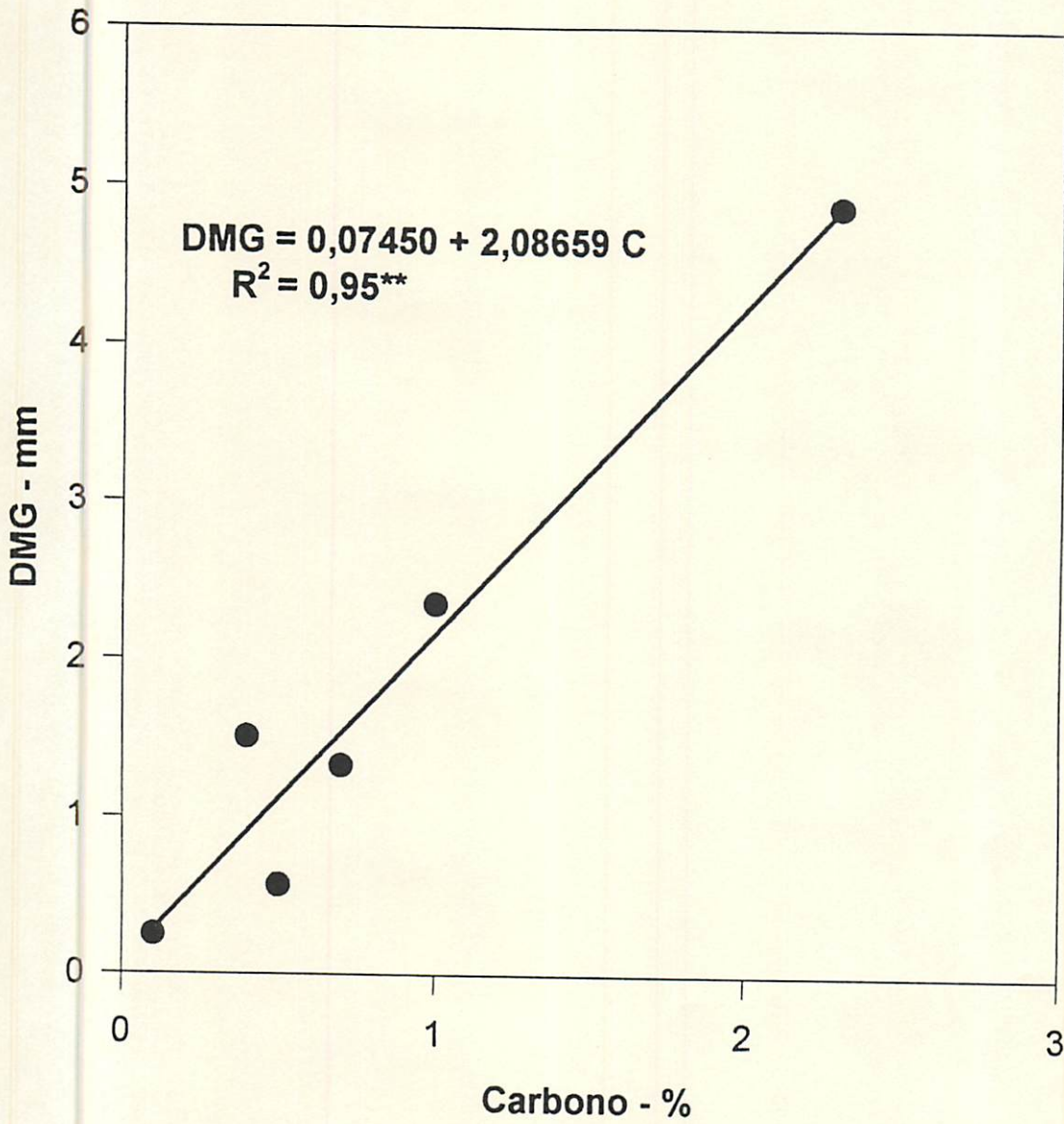


Figura 14 - Relação entre DMG e teor de carbono dos solos com horizonte B incipiente estudados.

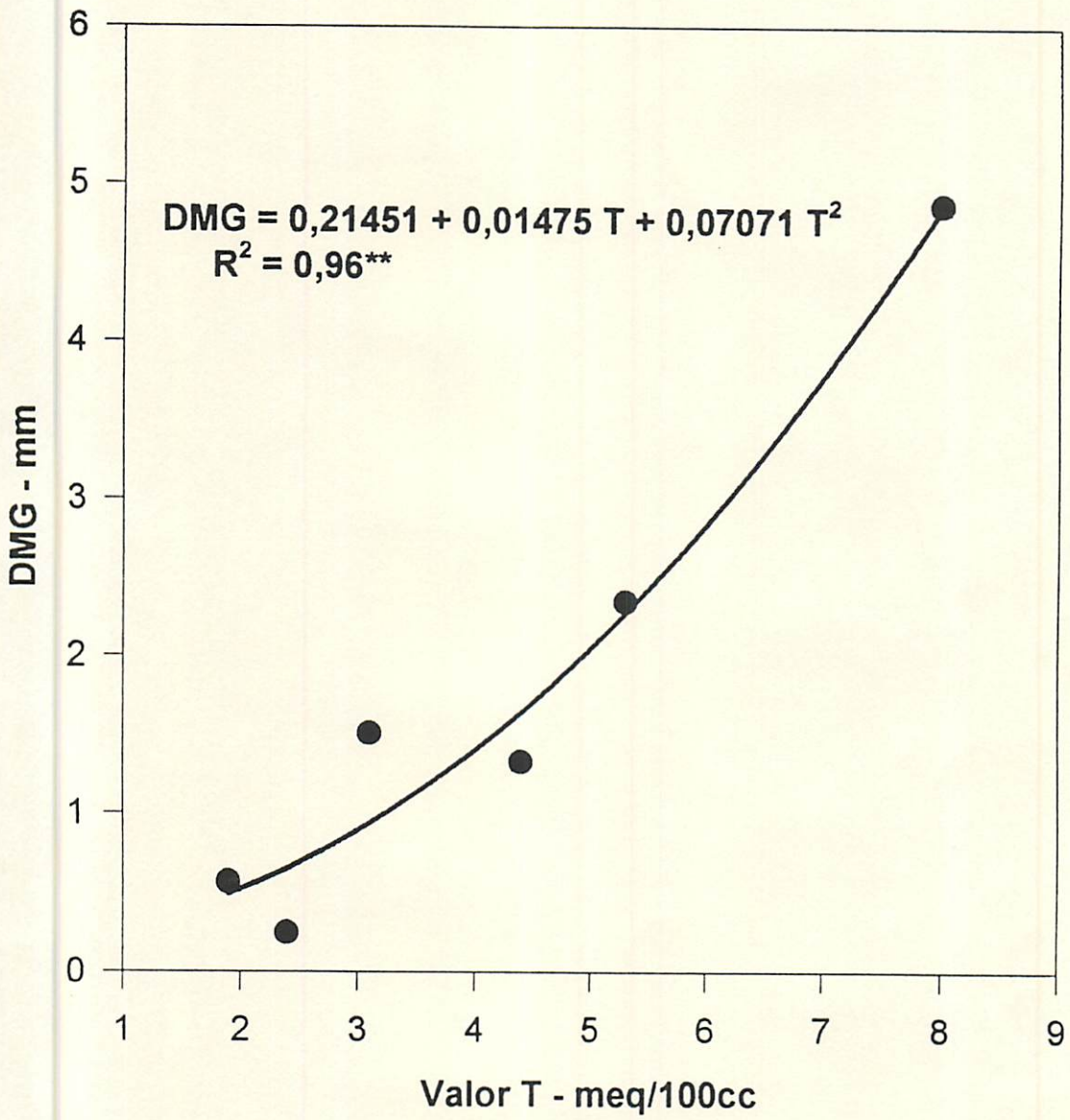


Figura 15 - Relação entre DMG e valor T dos solos com horizonte B incipiente estudados.

Os resultados das correlações envolvendo o DMG e os componentes das demais caracterizações, dos solos com horizonte B incipiente são apresentados nos Quadros 16, 17 e 18.

A análise desses Quadros, permite verificar que os óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio, as caracterizações físicas, os componentes do ataque sulfúrico e da análise mineralógica não exercem influência significativa na estabilidade de agregados dos solos com horizonte B incipiente estudados. Provavelmente isto ocorreu devido, ao fato destes solos serem mais jovens e possuírem uma grande variabilidade mineralógica, e também, pelo reduzido número de perfis amostrados.

Quadro 16 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e óxidos de ferro e alumínio extraídos pelo DCB e oxalato de amônio dos solos com horizonte B incipiente.

	Fe _d	Fe _o	Fe _o / Fe _d	Al _d	Al _o	Al _o / Al _d
DMG	-0,37	0,03	0,20	-0,07	0,58	0,34

Quadro 17 - Coeficientes de Correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes da caracterização física dos solos com horizonte B incipiente.

	Areia	Silte	Argila	IF	ADA
DMG	0,26	-0,64	0,57	-0,35	0,41

Quadro 18 - Coeficientes de correlação simples entre diâmetro médio geométrico (DMG) e alguns componentes do ataque sulfúrico e análise mineralógica dos horizontes subsuperficiais dos solos com horizonte B incipiente.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
DMG	0,86	0,96	-0,35	0,76	0,50	0,54

(Continuação do Quadro 18)

	TiO ₂	P ₂ O ₅	Gibbsita (Gb)	Caulinita (Ct)	Gb/Gb + Ct
DMG	-0,47	-0,96	-0,02	0,37	-0,20

5 CONCLUSÕES

A estabilidade de agregados em água dos diferentes grupamentos de solos foi marcadamente influenciada pela composição química notadamente complexo sortivo e carbono orgânico.

Os componentes do ataque sulfúrico e da análise mineralógica, notadamente a caulinita, somente influenciaram a estabilidade de agregados dos solos com horizonte B latossólico.

Possivelmente, devido à maior variabilidade ocorrente na composição dos grupamentos envolvendo solos com horizontes B textural e B incipiente, nenhuma tendência mais expressiva do comportamento da estabilidade de seus agregados foi encontrada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARDUINO, E.; BARBERIS, E.; BOERO, V. Iron oxides and particle aggregation in B horizons of some italian soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.45, p.319-329, 1989.
- BARBERIS, E.; AJMONE, F.M.; BOERO, V.; ARDUINO, E. Aggregation of soil particles by iron oxides in various size fractions of soil B horizons. **Journal of Soil Science**, Edinburgh, v.42, p.535-542, 1991.
- BAVER, L.D. The relation of exchangeable cations to the physical properties of soils **Journal American Society of Agronomy**, Madison, V. 28, p. 921-941, 1928.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, H.R. **Soil physics**. 4 ed. New York: J. Wiley, 1972. 498p.
- BOUYOUCOS, G.J. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. **Soil Science**, Maryland, v.23, p.343-352, 1927.
- BRADFIELD, R. Soil conservation from the viewpoint of soil physics. **Journal American Society of Agronomy**, Madison, v.29, p.85-92, 1937.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL, Folhas SF 23124, Rio de Janeiro/Vitória**; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1983. 780p. (Levantamento de Recursos Naturais, 32).
- BRYAN, R.B. The efficiency of aggregation indices in the comparison of some english and canadian soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 166-178, jun. 1971.

- CAMPOS, B.C. de; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRELE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.121-126, jan./abr.1995.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.99-105, jan./abr.1990.
- CHAGAS, C.S. **Associação de Latossolo Variação Una e Latossolo Vermelho-Escuro: efeito diferencial da orientação dos estratos de rochas pelíticas pobres**. Lavras: ESAL, 1994. 124p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- COLOMBO, C.P.; TORRENT, J.C. Relationships between aggregation and iron oxides in Terra Rossa soils from southern Italy. **Catena**, v.18, p.51-59, 1991.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras, 1989. 176p.
- CURI, N.; LIMA, J.M. de; ANDRADE, H., GUALBERTO V.; Geomorfologia, física, química e mineralogia dos principais solos da região de Lavras (MG). **Ciência e Prática**, Lavras, v.14, n.3, p.297-307, 1990.
- DEMOLON, A; HÉRNIN, S. Recherches sur la structure limons et la synthese des aggregates. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, V.3, p.1-9, 1932.
- DESHPANDE, T.L.; GREENLAND, D.J.; QUIRK, J.P. Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.19, p.108-122, 1968.
- EDWARDS, AP.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.18, p.64-73, 1967.
- ELSON, J.; LUTZ, J.F. Factors affecting aggregation of cecil soils and effect agregation on run-off and erosion. **Soil Science**, Baltimore, v.50, n.3, p.265-275, Sept.1940.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: SOIL CONSERVATION SOCIETY OF AMERICA.. **Soil erosion prediction and control**. Ankeny, 1977. p.105-114. (Special publication, 21).
- EL-SWAIFY, S.A.; EMERSON, W.W. Changes in the Physical properties of soil Clays due to precipitated aluminum and iron hidroxides: I. swelling and aggregate stability after drying. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v.39, 1975.

- EMERSON, W.W. Synthetic soil conditioner. **The Journal of Agricultural Science**, London, V. 47, p. 117-121, 1956.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. n.p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Critérios para distinção de solos e de fases e unidades de mapeamento**: normas em uso pelo SNLCS. Rio de Janeiro, 1988. 54p. (Documentos, 3).
- FERREIRA, L. **Avaliação indireta da erodibilidade em solos com altos teores de ferro e aspectos relacionados à mineralogia e micromorfologia**. Lavras: ESAL, 1992. 82p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FERREIRA, M.M. **Influência da mineralogia da fração argila, nas propriedades físicas de latossolos brasileiros**. Lavras: ESAL, 1988. 79p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).
- FONTES, L.E.F. Nova proveta para sedimentação da suspensão do solo na determinação da fração argila por densimetria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, n.2, p. 152-154, maio/ago. 1982.
- GALINDO, I.C. de L.; MARGOLIS, E.; CANTALICE, J.R.B. Comparação de formas diferentes para representação da estabilidade de agregados do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23, Porto Alegre, 1991. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. p.61.
- GAVANDE, S.A. **Física de Suelos**: principios y aplicaciones. México: Limusa, 1976. 351p.
- GHANI, M.O.; HASSAN, K.A; KHAN, M.F.A. Effect of liming on aggregation, noncapillary pore space, and permeability of a lateritic soil. **Soil Science**, Baltimore, v.80, n.6, p.469-478, 1955.
- GIAROLA, N.F.B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. Lavras: ESAL, 1994. 235 p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- GOLDBERG, S. Interaction of aluminum and iron oxides and clay minerals and their effect on soil physical properties: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.20, p.1181-1207, 1989.

- GREENLAND, D.J. Interaction between clays and organic compounds in soils. Part. I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. **Soils and Fertilizer**, Bucks, v. 28, p.415 - 425, 1965.
- GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.13, p.201-213, 1960.
- GROHMANN, F.; CONAGIN, A. Técnica para o estudo da estabilidade de agregados do solo. **Bragantia**, Campinas, v.19, p.329-343, 1960.
- GROHMANN, F.; OLIVEIRA, J.B. de; QUEIROZ NETO, J.P. Influência da adubação nas características dos agregados do solo da série Chapadão (Latossolo Roxo). **Bragantia**, Campinas, v.25, n.24, p.263-274, out. 1966.
- HADAS, A.; RAWITZ, E.; ETKIN, H.; MARGOLIN, M. Short-term variations of soil physical properties a function of the amount and C/N ratio of decomposing cotton residues. I. Soil aggregation and aggregate tensile strength. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.32, p.183-198, 1994.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, New York, v.18, p.107-169, 1966.
- HUBBEL, D.S.; CHAPMAN, J.E. The genesis of structure in two calcareous soils. **Soil Science**, Langston, v.62, p.271-281, 1946.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Secretaria da Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária. **Métodos de análise, química, mineralógica e física de solos do instituto agrônomo de Campinas**. Campinas, 1986. (Boletim técnico, 106)
- ISLAM, M.A.; HOSSAIN, M. Aggregation of east Bengal soils in relation to their chemical composition. **Soil Science**, Baltimore, v.78, p. 429-434, 1954.
- JORGE, J.A. **Solo: manejo e adubação**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1983. 309p.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.237-240, set./dez.1991.
- JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostras de um Latossolo Vermelho-Escuro**. Viçosa: UFV, 1987. 37p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.da; MOURA FILHO, W.; RIBEIRO, A.C.; SOPRANO, E. Efeito da calagem na dispersão de de um Latossolo Vermelho-Escuro. **Revista Ceres**, Viçosa, v.33, n. 189, p. 456-460, 1986.

- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling: Part 1**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy, 9).
- KER, J.C. **Caracterização química, física, mineralógica e micromorfológica de solos brunos subtropicais**. Viçosa: UFV, 1988. 148p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- KOTH, E.M.; PAGE, J.B. Aggregate formation in soils with special reference to cementing substances. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.11, p.27-34, 1946.
- LAWS, W.D.; EVANS, D.D. The effect of longtime cultivation on some physical properties of two rendzine soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.14, p.15-19, 1949.
- LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2ª ed. Campinas: SBCS/SNLCS-EMBRAPA, 1984. 46p.
- LIMA, J.M. **Relação entre erosão, teor de ferro e parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras/MG**. Lavras: ESAL, 1987. 86p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- McINTYRE, D.S. The effect of free ferric oxide on the structure of some Terra Rossa and rendzine soils. **Journal Soil Science**, London, v.7, p.302-306, 1966.
- McKEAGUE, J.A. **Manual on soil sampling and methods of analysis**. 2ª ed. Ottawa: Canadian Society of Soil Science, 1978. 212p.
- MARSHALL, T.J. The nature development, and significance of soil structure. In: NEALE, G.J. (ed), **Transaction of Joint Meeting of Commissions IV & V (ISSS)**, Parmerton North, p. 243-257, 1962.
- MAZURAK, A.P. Effects of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, Baltimore, v.69, p.135-148, Jan./June 1950.
- MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays and Clay Minerals**, Clarkson, v.7, p.317-327, 1960.
- MILNES, A.R.; FITZPATRICK, R.W. Titanium e zirconium minerals, In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. **Minerals in soils environments**. 2ª ed. Madison, 1989. (book series, 1).

- MORELLI, M.; FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.1-6, jan./abr. 1987.
- OLIVEIRA, G.C. de. **Cambissolos da microrregião, Campus da Mantiqueira MG: caracterização físico-hídrica e interpretação para manejo**. Lavras: ESAL, 1993. 62p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- PEELE, T.C.; BEALE, O.W.; LATHAM, E.E. The effect of lime and organic matter on the erodibility of cecil clay. **Soil Science Society of America Proceedings**, Morganton, v.3, p.289-295, 1938.
- QUAGGIO, J.A. **Crítérios para calagem em solos do Estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ, 1983. 76p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- QUEIROZ NETO, J.P. de; GROHMANN, F. Estado de agregação da Terra Roxa (Série Chapadão) num ensaio de adubação de milho. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.50, p.635-646, out. 1963.
- QUEIROZ NETO, J.P. de; OLIVEIRA, J.B. de; GROHMANN, F. Características da estrutura de um Podzólico Vermelho-Amarelo da estação experimental de Monte Alegre do Sul. **Bragantia**, Campinas v.25, n.11, 1966.
- REICHERT, J.M.; CABEDA, M.S.V. Salpico de partículas e selamento superficial em solos do RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, n. 3, p.389-396, set.-dez 1992.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. da; CABEDA, M.S. V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.283-290, maio/ago.1993.
- RESENDE, M. **Pedologia**. Viçosa: UFV, 1982. 100p.
- RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n. 128, p.27-37, ago. 1985.
- RESENDE, M.; FRANZMEIER, D.P. **Mineralogy of brasilian oxisols: a proposed general model**. Viçosa: UFV, 1982. 2p.
- RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.105, p.3-25, set.1983.
- RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; CARMO, D.N. **Roteiro Pedológico I**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1984. 129p.

- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C.de; MEDEIROS, G.B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.241-248, set./dez.1991.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A. Effect of time and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian oxisol. **Geoderma**, Amsterdam, v.48, p.351-361, 1991.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B.; FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.163-166, maio/ago.1986.
- RUSSEL, E.W. Soil structure: its maintenance and improvement. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 22, p.137-151, 1971.
- RUSSEL, M.B.; FENG, C.L. Characterization of the stability of soil aggregates. **Soil Science**, Baltimore, v.63, p.299-304, Jan./June.1947.
- SANS, L.M.A.; DEMATTÊ, J.L.I.; CARVALHO, A. Características físicas, químicas e mineralógicas de três solos em uma catena sob cerrado e sobre calcáreo, em Sete Lagoas/MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, p.54-71, set./dez.1979.
- SANTOS, M.C.D.; MERMUTE, A.; RIBEIRO, M.R. Submicroscopy of clay microaggregates in on oxissol from Pernambuco, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.53, p.1895-1901, 1989.
- SCHWERTMANN, U. Use of oxalate for Fe extraction from soils. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v.53, p.244-246,1973.
- SCHWERTMANN,U Some properties of soil and Synthetic iron oxides. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A.; SCHWERTMANN, U. **Iron in soils and clay minerals**. Dordrecht: Reidel, 1988. p.203-250.
- SCHWERTMANN,U.; KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinitic soils of southern and central Brazil. **Soil Science**, Baltimore, v.139, n.4, p.344-350, Apr. 1985.
- SHANMUGANATHAN, R.T.; OADES, J.M. Influence of anions on dispersion and physical properties of the a horizon of a red brown carth. **Geoderma**, Amsterdam, v.29, p.257-277, 1983.
- SHERMAN, G.D. The titanium content of hawaiian soils and its significance. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.16, p.15-18,1975.
- STALLINGS, J.H. **Soil conservation**. [S.I]: Prentice-Hall, 1957. 575p.

- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Stabilization of soil aggregates by root systems of fyeegrass. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.17, p.429-441, 1979.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, London, v.33, p.141-163, 1982.
- TROEH, F.R.; HOBBS, J.A.; DANAHUE, R.L. **Soil and water conservation: for productivity and enviroment frotection**. New Jersey: Prentice-Hall, 1980. 718p.
- VETTORI, L. **Métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Equipe de pedologia e fertilidade do solo, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7).
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B.; CROSS, B.W.; A soil erodibility monograph for formaland and construction sites. **Journal Soil and Water Conservation**, Baltimore, v.26, n.5, p.189-193, Sept./Oct.1961.
- WISCHMEIER, W.H.; MANNERING, J.V. Relatioin of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America proceedings**, Madison, v.33, n.1, p.131-137, Jan./Feb.1969.
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion lasses. **Journal America Society Agronomy**, Madison, v.28, p.337-351, 1936.