

EDUARDO MENEGHEL RANDO

ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES
FÍSICAS DE UM LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO,
OCASIONADAS PELO CULTIVO CONVENCIONAL.

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras para
obtenção do grau de MESTRE em
Agronomia, na área de Concentração
de "Solos e Nutrição de Plantas".

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

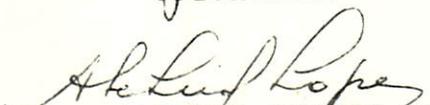
LAVRAS - MINAS GERAIS

1 9 8 1

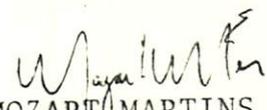
ALTERAÇÕES NAS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM
LATOSSOLO ROXO DISTRÓFICO, OCASIONADAS PELO CULTIVO CONVENCIONAL.

APROVADA :


PROF. JEZIEL CARDOSO FREIRE
Orientador


PROF. ALFREDO SCHEID LOPES


PROF. HÉLCIO ANDRADE


PROF. MOZART MARTINS FERREIRA


PROF. VICTOR GONÇALVES BAHIA

Dos meus pais, José e Augusta, pelo infinito amor e dedicação ,
aos meus sobrinhos Júnior, Maria Paula, Cristina, Marcos ,
Mário Augusto, Ana Júlia, Renata, André, João e a quem
mais chegar,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Jeziel Cardoso Freire, pela orientação e apoio durante todas as fases do curso.

Aos professores Alfredo Scheid Lopes, Hércio Andrade, Mozart Martins Ferreira, Víctor Gonçalves Bahia, Marco Aurélio Vitorino Ribeiro e Juventino Júlio de Souza, pelas críticas e sugestões.

Aos professores Paulo César Lima e Luiz Henrique de Aquino, pelo auxílio durante a análise estatística.

Aos biblioteconomistas Dorval Botelho dos Santos e Adriano Serrano, pelas correções das referências bibliográficas.

Aos colegas Rubens de Oliveira Barbosa, Maurício de Oliveira,

Geraldo César Rocha, Carlos Alberto e Rosilene Tucci, Cláudio e Lizete Davide, José Unaldo e Edna Barbosa, Moacir de Souza Dias Júnior, Valdemar e Lígia Faquim , Cláudio e Herondina Miranda, pela amizade desenvolvida nesses últimos três anos.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, em especial a Delanne Ribeiro e Elaíse Barbosa dos Santos, pela amizade e ajuda nas análises.

Aos colegas Manoel Machuca Neto, Bartolomeu Aguiar Costa , Ricardo Gomes de Araújo Pereira, Mighel H. Soza Lópes, João Manoel Cardoso de Almeida, José de Assis Belisário, José de Assis Guaresqui e José Marcelo Grillo, pela colaboração, amizade e alegre convívio.

BIOGRAFIA DO AUTOR

EDUARDO MENEGHEL RANDO, filho de José Cesar Rando e Augusta Meneghel Rando, nasceu em São Paulo, capital, aos 17 de agosto de 1955.

Concluiu os cursos primário, 1º e 2º graus, no Colégio Marista de Londrina, Paraná. No ano de 1973, ingressou na Fundação Faculdade de Agronomia Luis Meneghel, em Bandeirantes, Paraná, sendo graduado em 1976.

Iniciou o Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas na Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, no ano de 1978.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1.
2. REVISÃO DE LITERATURA	4.
2.1. O cultivo e seus objetivos	6.
2.2. Estrutura do solo	11.
2.2.1. Densidade do solo	12.
2.2.2. Porosidade total, macro e microporosidade.	19.
2.2.3. Estabilidade dos agregados	22.
2.2.4. Água para irrigação	31.
2.3. Densidade de partículas	34.
2.4. Argila total, argila dispersa em água e índice de floculação	36.
2.5. Consistência do solo	41.
3. MATERIAL E MÉTODOS	45.
3.1. Localização e características da área em estudo..	45.
3.2. Solo e amostragem	47.

3.3. Plano experimental	47.
3.4. Características e propriedades físicas utilizadas como parâmetros para avaliar o efeito do cultivo no solo	49.
3.4.1. Densidade do solo (Ds)	49.
3.4.2. Porosidade total	49.
3.4.3. Macro e microporosidade do solo	50.
3.4.4. Análise de agregados do solo	50.
3.4.5. Água para irrigação	51.
3.4.6. Densidade de partículas (Dp)	52.
3.4.7. Análise textural	52.
3.4.8. Argila dispersa em água e índice de flocu- lação	52.
3.4.9. Consistência do solo	53.
3.5. Análises químicas	54.
3.5.1. Óxidos de ferro livre	54.
3.5.2. Ataque pelo ácido sulfúrico	54.
3.5.3. Carbono orgânico	54.
3.5.4. Reação do solo	55.
3.5.5. Complexo sortivo	55.
3.5.6. Capacidade de troca de cátions	55.
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56.
4.1. Estrutura do solo	56.
4.1.1. Densidade do solo	57.

	Página
4.1.2. Porosidade total, macro e microporosidade..	60.
4.1.3. Estabilidade de agregados	67.
4.1.3.1. Estabilidade de agregados, sem pré -tratamento das amostras	67.
4.1.3.2. Estabilidade de agregados, com pré -tratamento das amostras	72.
4.1.3.3. Efeito do pré-tratamento sobre a estabilidade dos agregados	75.
4.1.4. Água para irrigação	80.
4.2. Densidade de partículas	84.
4.3. Argila total, argila dispersa em água e índice de floculação	88.
4.4. Consistência do solo	94.
5. CONCLUSÕES	99.
6. RESUMO	101.
7. SUMMARY	104.
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106.
APÊNDICES	123.

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Valores de densidade do solo (Ds) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	58.
2	Valores da porosidade total, macroporosidade e microporosidade obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	62.
3	Agregados estáveis em água nas frações de 7 a 2, 2 a 1 e 1 a 0,5 mm, sem pré-tratamento, obtidas em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	68.
4	Agregados estáveis em água nas frações de 0,5-0,25; 0,25-0,105 e menor que 0,105 mm, sem pré-tratamento, obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	69.

Quadro

Página

- 5 Agregados estáveis em água nas frações de 7 a 2; 2 a 1 e 1 a 0,5 mm, com pré-tratamento, obtidas em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata) 73.
- 6 Agregados estáveis em água, nas frações de 0,5 -0,25; 0,25-0,105 e menor que 0,105 mm, com pré-tratamento, obtidas em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata) 74.
- 7 Efeito do pré-tratamento em amostras de horizontes dos perfis de LRd, na estabilidade de agregados, no solo cultivado e no solo sob mata 76.
- 8 Valores de água para irrigação (A.I.) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata) 81.
- 9 Microporosidades obtidas a partir do teor de umidade retida a 0,1 atm, em amostras com estrutura deformada, e através do teor de umidade retida a 0,06 atm em amostras com a estrutura indeformada no solo sob mata 84.
- 10 Valores de densidade de partículas (Dp) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir

Quadro

Página

	de três repetições nas diferentes coberturas	85.
11	Conteúdo de argila total (A.T.), argila dispersa em água (A.D.A.) e índice de floculação (I.F.), em amostras obtidas de horizontes dos perfis de LRd , a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	89 .
12	Teores percentuais de argila dispersa em água e Δ pH encontrados nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e de mata	93.
13	Coefficientes de correlação entre Δ pH positivo, Δ pH negativo e os teores de argila dispersa em água , em perfis de Latossolo Roxo Distrófico	93.
14	Valores de limites de plasticidade (LP), limites de liquidez (LL) e índices de plasticidade (IP) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)	95.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Situação geográfica do Município de Lavras, Minas Gerais	46.
2	Variação na densidade do solo nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata	61.
3	Comportamento da porosidade total, macroporosidade e microporosidade nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata	64.
4	Efeito do pré-tratamento na estabilidade de agregados na fração de 7-2 mm, em amostras dos horizontes dos perfis de LRd cultivado	78.
5	Efeito do pré-tratamento na estabilidade de agregados na fração de 7-2 mm, em amostras dos horizontes dos perfis de LRd sob mata	79.
6	Variação na densidade de partículas em amostras dos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata	86.

1. INTRODUÇÃO

A produção das culturas está relacionada a diversos fatores. Entre eles, os que promovem as interações no sistema solo-planta-atmosfera despertam grande interesse aos pesquisadores, concentrando-se aí a maior parte dos estudos no sentido de se elevar tais produções.

O solo nesse sistema normalmente é abordado de três maneiras: química, física e biologicamente. A química do solo, aqui representada pelas pesquisas com emprego de fertilizantes, é a que mais se destaca. Isso se torna mais evidente quando se analisa os países em fase de desenvolvimento, como é o caso do Brasil, que vem incrementando principalmente o uso de fertilizantes e outros insumos modernos, na busca de excedentes para aumentar divisas ao país.

Já a física do solo está mais restrita a nível de pesquisa, ao estudo de parâmetros que identifiquem o comportamento físico dos solos. Mas estas pesquisas evidenciam com os parâmetros físicos, as condições que se encontram os solos na sua capacidade de sustentácu-

lo de plantas, como também, mostra os possíveis problemas que poderão ocorrer através das interações do sistema solo-planta-atmosfera. A identificação adequada dos solos, no sentido de uma integração de conhecimentos da química, física e biologia do solo, garantirá um uso mais adequado, de forma que o ecossistema não seja tão modificado do seu equilíbrio pelo afã daqueles que se dedicam ao trabalho da produção de alimentos. Cabe portanto aos resultados da pesquisa, orientar o manejo do solo dentro de nível e sistema, para uma preservação e mesmo restauração dos solos já empobrecidos pelo desgaste da erosão. BELTRAME et alii (12) mostram que o simples preparo do solo provoca alterações na estrutura natural do solo. Essa situação é agravada com excesso de umidade por provocar também compactação do solo e conseqüente redução na taxa de infiltração, aumentando o deflúvio e a erosão superficial.

Tal fenômeno foi também observado por FARIAS et alii (31) em um oxisol cultivado por mais de vinte anos, onde se constatou baixa infiltração em relação ao solo sob mata natural. Também observou-se uma maior desagregação e compactação da camada arável. Esse fato pode acarretar numa menor eficiência dos fertilizantes adicionados ao solo, aumentando os custos por área, visto que a utilização dos nutrientes está condicionada pelas relações ar-água, alteradas pela estrutura do solo, segundo BAVER (8).

As características e propriedades físicas do solo foram igualmente utilizadas por VIEIRA & KEMPER (118) e por OLIVEIRA et alii (90) com o intuito de detectar alterações em solos intensamente cultivados, possibilitando assim uma aplicação mais racional das

técnicas conservacionistas. Da mesma maneira, utilizou-se nesta pesquisa de determinados parâmetros físicos para avaliar as modificações que ocorrem em um Latossolo Roxo Distrófico (Oxisol) submetido ao cultivo convencional por mais de 10 (dez) anos, no município de Lavras, Minas Gerais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Como já foi mencionado, as condições físicas do solo exercem influência comprovada no desenvolvimento das plantas. FORSYTHE (34) se utiliza de algumas equações para demonstrar que o crescimento das plantas depende de vários fatores, entre os quais estão os fatores físicos como aeração, o potencial da água, a temperatura e a resistência mecânica ao desenvolvimento das raízes. Segundo esse mesmo autor, há várias propriedades físicas que influem no crescimento e, assim sendo, é conveniente considerar cada fator com as propriedades físicas do solo que o afetam.

Para DANIELSON (23), certos fatores físicos estão envolvidos no suprimento de nutrientes para as plantas, como por exemplo suas relações com a erosão hídrica e eólica ou com a lixiviação. Temperatura, aeração e potencial de água no solo são fatores que influenciam, uma vez que o suprimento de nitrogênio está ligado ao processo de mineralização e fixação biológica, sendo este último de grande importância para as leguminosas. As condições físicas do solo poderão também impor restrições na manutenção da concentração de

solutos na superfície da raiz, através da sua influência no desenvolvimento do sistema radicular e movimento dos nutrientes na solução do solo.

Normalmente, ao considerar se um solo é produtivo ou não, deve-se fazer uma avaliação em termos físicos, químicos, biológicos e mineralógicos. Certos autores como THOMPSON (112) afirmam que para um solo produzir bem ele deve ter uma adequada capacidade de retenção de água, boa aeração e um suprimento de matéria orgânica decomposta, na presença de minerais que estão se solubilizando em uma taxa suficientemente rápida para satisfazer as necessidades da cultura. Para SCHWAB et alii (103) as propriedades dos solos mais importantes para a produção das culturas incluem a porosidade, temperatura e umidade do solo, tamanho e quantidade de agregados, nutrientes disponíveis e o nível de atividade biológica. Como se pode observar, todos os termos de avaliação citados foram mencionados por esses dois pesquisadores. Uma abordagem mais relacionada às condições físicas que um solo deve possuir para possibilitar um bom desenvolvimento vegetal foi feita por DONAHUE (28). Segundo esse autor, para que isto ocorra o solo deve ser; (a) poroso suficiente para permitir que uma quantidade certa das águas de chuva ou irrigação penetre no solo, mas não tão poroso de forma a permitir uma perda excessiva de água e nutrientes por lixiviação; (b) capaz de reter umidade suficiente para suprir as raízes com toda a água necessária, mas não ser tão retentivo a ponto de criar condições de redução; (c) suficientemente bem aerado para permitir que todas as células das raízes das plantas obtenham oxigênio durante todo o tempo, mas não

excessivamente aerado ao ponto de prevenir um contato contínuo das raízes com as partículas úmidas do solo.

2.1. O cultivo e seus objetivos

Uma vez sabendo das qualidades exigidas para que um solo seja produtivo, pode-se então avaliar a necessidade do cultivo, ou pelo menos se os seus objetivos teóricos permitem levá-lo a atingir tal característica de produtividade. Assim sendo, cabe aqui primeiramente conceituar, o que vem a ser cultivo e quais são seus objetivos. Segundo SCHWAB et alii (103), cultivo é a manipulação mecânica do solo para prover-lhe de condições adequadas ao desenvolvimento das culturas, controle de ervas e para manter a capacidade de infiltração e aeração. Ainda segundo esse autor, o cultivo indiscriminado, ou seja, aquele cultivo que não leva em consideração as condições de topografia, solo, clima e cultura, conduzirá à deterioração do solo através da perda da estrutura e erosão. Já um cultivo bem planejado pode criar um meio ambiente particularmente adaptado à germinação e crescimento das plantas. Do mesmo modo, esse cultivo pode proteger e manter a estrutura do solo favorecendo as condições de aeração, infiltração e proteção contra a erosão.

Já em 1915, LYON et alii (73) afirmavam que um dos propósitos mais proeminentes do cultivo é a modificação da estrutura do solo. Em 1917, MOSIER & GUSTAFSON (82) davam uma definição geral do que vinha a ser cultivo e estabeleciam seus objetivos. Esses visavam sempre a melhoria da condição do solo, a fim de se obter maiores pro

duções. É interessante notar que isto concorda inteiramente com KUIPERS (65), que discorrendo a respeito dos objetivos do cultivo, afirmou que no fim do século passado e no começo deste, a principal razão que levava ao cultivo era deixar o solo mais solto, a formação de agregados para bom suprimento de água e ar, etc., ou seja, objetivos mais de caráter técnico. Mas segundo este mesmo autor, outro fator nos dias atuais está influenciando de maneira marcante, qual seja, o econômico. Exemplificando, ele diz que se um agricultor quer economizar em um herbicida de custo elevado e utiliza para isto uma operação de cultivo que é mais barata, seria mais realístico dizer que o objetivo da operação foi reduzir os custos de produção e não um aumento na produção da cultura.

Sem esquecer o enfoque econômico dado por KUIPERS (65), as seguintes metas devem ser atingidas, segundo WORTHEN et alii (126), para que o terreno esteja bem preparado: (a) proporcionar um local adequado para a germinação das sementes e desenvolvimento das raízes das plântulas, (b) destruição das ervas daninhas, tanto as anuais como as perenes, (c) deixar o terreno em boas condições para o uso das máquinas que serão utilizadas posteriormente (plantio, etc), (d) conservar ou melhorar a estrutura do solo, (e) preparar o terreno de modo que a maior quantidade possível de água possa penetrar no solo, para evitar o deflúvio e a erosão.

Como se vê, a prática do cultivo visa criar não somente um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas, como também a conservação dos solos. A pesquisa já desenvolveu uma série de modalidades de cultivo em relação à conservação do solo, conforme mostra

SCHWAB et alii (103). Segundo esses autores, os objetivos de tais cultivos são : (a) aumentar a profundidade da zona efetiva de aração, (b) quebra ou destruição dos pisos de arado (plow soles) e camadas compactadas por excessivo tráfego de implementos, horizontes impermeáveis do solo e outras barreiras ao movimento de água e raízes através do perfil, (c) trazer para a superfície os agregados formados no subsolo, de modo a reduzir a erosão pelo vento e (d) tornar mais "soltos", a consideráveis profundidades, perfis de solo impermeáveis para permitir uma lavagem mais profunda dos sais acumulados no estrato superior dos solos irrigados.

Pelo exposto, conseguiu-se evidenciar alguns objetivos do cultivo, que permitem discordar da afirmação de DONAHUE (28), a qual parece um tanto generalizada, mostrando que em todos os solos o primeiro propósito do cultivo é controlar as ervas daninhas. Ainda segundo esse autor, o cultivo temporariamente areja o solo e controla as ervas, mas ano após ano ele destrói a estrutura desejável do solo e, eventualmente, reduz a aeração. Isso realmente acontece, mas tal fato não implica necessariamente que todos os solos existentes sob as mais variadas condições, não devam ser cultivados, principalmente depois do advento dos herbicidas.

Mas apesar de todas as considerações teóricas mencionadas, o cultivo vem trazendo sérios problemas à conservação dos solos e degradação de sua estrutura. Segundo NICHOLS (84), agricultores germânicos estão relutantes em utilizar seus tratores para o cultivo de primavera, porque o deslizamento das rodas e o próprio peso do trator estão alterando a estrutura do solo e prejudicando o crescimento

das plantas. Isso demonstra que o uso de máquinas pesadas no cultivo do solo deveria ser restringido o máximo possível.

Esse fato, no Brasil, se reveste de importância quando se analisa a região sul do país, onde o binômio soja-trigo ocupa grande parte da área agrícola disponível. Devido às próprias características das culturas envolvidas nesta rotação e o tempo disponível para as operações agrícolas, a mecanização é utilizada em grande escala e, na maioria das vezes, de forma errada e indiscriminada. Isso, conseqüentemente, resulta nas observações feitas por WÜNSCHE et alii (127) de que o cultivo intenso dos solos do planalto riograndense por métodos tradicionais e inadequados, associados às chuvas de alta intensidade coincidentes com os períodos críticos das culturas, está causando sérios problemas de erosão e de degradação de suas propriedades físicas. SILVA et alii (106) também confirmam tais fenômenos, completando que além dos processos de erosão hídrica que vem se acentuando assustadoramente com o passar dos anos, observa-se que já não ocorrem maiores produtividades destas culturas, mesmo com o melhoramento das propriedades químicas do solo, através de adubação e calagem. No norte do Paraná, onde a movimentação do solo é intensa devido ao mesmo tipo de rotação de culturas (soja-trigo), os solos vêm apresentando modificações nas suas propriedades físicas, dificultando a infiltração de água e o crescimento das raízes, conforme VIEIRA & KEMPER (118).

Para compreender as alterações que ocorrem nos solos cultivados e avaliar a extensão dos seus danos ou benefícios, é preciso lançar mão de alguns parâmetros físicos existentes. Segundo NICHOLS &

REAVES (85), deve-se conhecer, entre outras coisas, a estrutura e a consistência do solo no tempo que as operações agrícolas se iniciam (determinadas por medidas de campo e laboratório, da densidade do solo, tamanho de poros, permeabilidade, etc.) e verificar posteriormente, através das mesmas medidas, as modificações que ocorreram. Para SANCHEZ (101), tais estudos teriam resultados consistentes utilizando-se um solo virgem e a partir daí submetê-lo às operações agrícolas desejadas e, de tempos em tempos, analisar os parâmetros escolhidos. Um fator limitante em estudos desse tipo é o tempo, assim a outra opção é selecionarmos um solo virgem e um cultivado, sendo que ambos devem ser bastante semelhantes no que diz respeito a sua classificação, e compará-los através de análises selecionadas.

Várias medidas físicas do solo podem ser utilizadas nesse sentido. Além daquelas mencionadas por NICHOLS & REAVES (85) temos o tamanho dos agregados, LARSON (66), percentagem de saturação e porosidade total, OLIVEIRA et alii (90). Esses últimos autores mostram que as análises granulométricas, teor de matéria orgânica e complexo sortivo também são necessárias para indicar, quantitativamente, as modificações nos teores das frações do solo e nos elementos nutritivos, constituindo subsídios importantes na interpretação dos resultados obtidos nas determinações anteriores.

2.2. Estrutura do solo

Segundo MARCOS (76), uma caracterização da estrutura e descrição do que se observa, não esclarece quanto aos fenômenos ou propriedades do solo que afetam o desenvolvimento das plantas. Por isso se faz necessário uma quantificação da estrutura, utilizando-se para tal características e propriedades físicas do solo que são dependentes da estrutura. Esta forma de estudo é, evidentemente, a que mais interessa à edafologia conforme evidenciam FOX & TEAKLE (35). Assim, a estrutura do solo pode ser avaliada através da determinação da agregação, estabilidade desses agregados e espaço poroso. Essas propriedades mudam com as práticas de cultivo e sistemas culturais, influenciando nas relações solo-planta, BAVER (8). Outras medidas como densidade do solo, distribuição do tamanho de poros, segundo GAVANDE (40), além da locação de camadas adensadas através de penetrômetro, previstos por NICHOLS & REAVES (85), podem ser utilizadas.

Uma análise do estudo da estrutura do solo no campo e laboratório, efetuada por LOW (70), mostra que medidas diretas da estrutura do solo são difíceis de serem realizadas, uma vez que isto envolveria mensuração do tamanho e forma dos agregados e o espaço poroso entre eles, isto é, um estudo tridimensional do solo como ele se encontra na forma natural. Ele apresenta então algumas medidas indiretas que são normalmente utilizadas, separando-as em dois grupos: (a) medidas do tamanho dos agregados e (b) medidas de propriedades do solo que são função da estrutura. Nota-se que a agregação não é, segundo este autor, função da estrutura do solo. Com efeito,

parece mais correto dizer que o inverso é verdadeiro. Em vista do exposto, relatar-se-á a seguir algumas análises referentes às medidas da relação entre sólidos e vazio em um dado momento, o que seria em outras palavras, uma quantificação da estrutura do solo.

2.2.1. Densidade do solo

Densidade do solo ou densidade global, como prefere chamar REICHARDT (98), é um modo de se exprimir o peso do solo, sendo a relação entre a massa do solo seco e o volume total que esta ocupa. Os valores deste parâmetro são variáveis de solo para solo, sendo a matéria orgânica, textura e estrutura os fatores que mais o afetam.

Nos solos orgânicos, a densidade é inferior à unidade, achando-se entre 0,6 e 0,8 g/cm³, conforme KIEHL (62), enquanto que em solos argilosos, de barro argiloso e de barro siltico de superfície, podem variar desde 1,00 até 1,60 g/cm³, dependendo de suas condições, BUCKMAN & BRADY (19). Como a densidade varia com a condição estrutural do solo, conforme postula BLAKE (15), ela pode ser utilizada para calcular a água disponível do solo, segundo WINTER (125), além de permitir a localização de camadas compactadas ou adensadas em um mesmo perfil do solo. Camadas adensadas, segundo GROHMANN (45) são de origem pedogenética, enquanto que as compactadas são induzidas pela ação do homem, como por exemplo, o cultivo.

Pelo exposto, deduz-se que o cultivo certamente alterará a densidade do solo. Para NELSON et alii (83), o tráfego excessivo e

indiscriminado no terreno resulta não somente em compactação indesejável do solo mas também incorre em despesas extras na energia e mão-de-obra. Gill et alii, citados por ROSENBERG (99), deixam claro que a manipulação das partículas primárias e agregados do solo pela tração e implementos de cultivo, notadamente a compressão dos solos pelo tráfego de veículos, é considerado ser a maior causa da compactação. DICKERSON (27) e VOORHEES et alii (120) constataram elevação de até 20% na densidade do solo pelo efeito compressivo dos pneus nos solos por eles pesquisados.

A influência do tempo de cultivo sobre a densidade do solo foi também constatada por LOW (69). Ele detectou maiores valores, aproximadamente $1,47 \text{ g/cm}^3$, no solo que vinha sendo cultivado por mais de 12 anos, ao passo que aquele cultivado há somente 4 anos quase não apresentou diferença quando comparado ao solo que não tinha sido cultivado, com valores de $1,09$ e $1,08 \text{ g/cm}^3$, respectivamente. No Brasil, trabalhando com Podzólico Vermelho Amarelo, GOMES et alii (42) constataram, na superfície, diferenças na densidade quando compararam sistema de cultivo na sucessão trigo/soja com solo virgem. No primeiro a densidade atingiu $1,59 \text{ g/cm}^3$, enquanto que no último, $1,40 \text{ g/cm}^3$. Já em Latossolo Roxo Distrófico, a densidade do solo virgem nos 15 cm iniciais foi de $1,20 \text{ g/cm}^3$ contra $1,35 \text{ g/cm}^3$ no solo cultivado convencionalmente com soja e trigo, segundo MACHADO & BRUM (74).

Mas nem sempre a literatura apresenta os resultados acima descritos, conforme demonstram SOUZA & COGO (108). Esses autores verificaram que no solo (Paleudult) cultivado convencionalmente a densidade

do solo era menor do que no solo virgem, sendo 1,36 e 1,66 g/cm³, respectivamente. A explicação para este fato baseou-se nas operações de aração e gradagem que tinham sido realizadas pouco tempo antes das amostragens, deixando o solo bastante poroso e, conseqüentemente, reduzindo a sua densidade. Tais resultados nos permitem afirmar que a interpretação dos resultados da densidade do solo em relação ao cultivo deve ser realizada levando-se em conta determinadas condições. Dentre essas, duas parecem ser de grande importância, ou seja, a época em que a amostragem foi realizada e a profundidade da mesma. A última condição normalmente é especificada nos trabalhos de pesquisa, ocorrendo praticamente o contrário quanto à primeira. Isso muitas vezes dificulta a comparação dos resultados, porque a densidade do solo tende a se modificar durante a estação de crescimento de uma cultura. Tal fato foi demonstrado por KÉEN, citado por HÉNIN et alii (54) quando verificou que a porosidade aumenta após o preparo do solo, tendendo depois a diminuir. Conseqüentemente pode-se afirmar que a densidade do solo aumentará, já que a mesma é inversamente proporcional à porosidade, KIEHL (62).

Resultados semelhantes foram obtidos por outros pesquisadores. O efeito do cultivo sobre certas propriedades físicas do solo e a variação nos valores das mesmas desde o plantio do trigo até após a colheita foi estudado por BRUSHAN et alii (14). Eles verificaram que após a aração, os diferentes sistemas de cultivo empregados reduziram a densidade do solo (por ocasião destas análises o trigo estava no estágio de emergência dos seedlings). Entretanto, nos estágios subsequentes ela foi elevando seus valores sucessivamente, até a fase de colheita, embora este aumento não fosse suficiente pa-

ra superar o tratamento testemunha (sem nenhuma prática de cultivo). Um fato interessante observado por esses autores foi que logo após a primeira irrigação, feita 15 dias após o plantio, a densidade do solo foi consistentemente elevada. O mesmo comportamento da densidade frente alguns sistemas de cultivo durante o desenvolvimento do milho foi constatada por MALLICK & NAGARAJARAO (75). Houve grande redução na densidade logo após a aração e seria esperado que esta não se modificasse muito até o plantio. Acontece que 7 dias antes de tal operação ser realizada, ocorreu uma chuva que aumentou rapidamente a densidade em aproximadamente $0,3 \text{ g/cm}^3$. Essa ainda teve um pequeno aumento até a fase de floração e diminuiu até logo após a colheita.

Esses dois trabalhos demonstram pontos distintos e em comuns. Distintos porque MALLICK & NAGARAJARAO (75) verificaram que após a colheita, houve uma ligeira redução na densidade do solo. Isto foi atribuído ao desenvolvimento e deterioração do sistema radicular do milho. Já BRUSHAN et alii (14) não observaram a mesma tendência com relação ao trigo. Essas diferenças possivelmente ocorreram porque as raízes de milho têm um desenvolvimento mais vigoroso do que o trigo, o que facilitaria alterar a densidade do solo. O efeito de culturas com diferentes características de enraizamento sobre a estrutura do solo já foi constatada por UHLAND (114). O fenômeno em comum que ocorreu nos dois trabalhos foi o consistente aumento nas densidades após a ocorrência da chuva e da irrigação. Na verdade, a causa responsável pela compactação dos solos, principalmente os de textura mais fina, está intimamente associada à ação da chuva na estabilidade dos agregados, CORSINI (22), uma que o im

pacto das gotas de chuva sobre o solo exerce significativa ação dispersiva nos agregados, conduzindo as partículas dispersas para os poros do solo, aumentando a compactação e diminuindo a porosidade, BAVER et alii (11).

Deste modo, o efeito da chuva e do deslocamento de máquinas durante as fases de desenvolvimento de uma dada cultura demonstram ser as principais causas na compactação das camadas superficiais dos solos cultivados. BUCKMAN & BRADY (19), utilizando a média de 19 solos que variavam de 45 a 150 anos sob cultivo, observaram um aumento de $1,14 \text{ g/cm}^3$ para $1,45 \text{ g/cm}^3$. ANDERSON & BROWNING (4) compararam seis solos virgens com seis solos cultivados do mesmo tipo e verificaram que em quatro deles a densidade na camada superficial era maior. Em um dos solos que não apresentou diferença, o cultivo tinha se estabelecido a menos tempo quando comparado com os outros, sendo esta a causa atribuída por esses autores para tal comportamento. Pode-se então considerar o tempo de cultivo como um fator mais influenciando nas alterações a que a estrutura do solo está submetida. Solos sob vegetação de floresta foram utilizados por ALDERFER & MERKLE (2) e comparados com solos do mesmo tipo que vinham sendo cultivados de 150 a 250 anos atrás. A análise, feita na camada superficial, demonstrou que a densidade é quase sempre baixa nos solos sob vegetação de floresta, mas a medida que a estrutura é alterada por método de manejo inadequado, ela tende a aumentar.

Outro aspecto importante que deve ser considerado é a compactação que muitas vezes ocorre na subsuperfície. Muitas vezes, a medida que se aprofunda no perfil, ocorre uma tendência de elevação

na densidade. Segundo BRADY (18), isto resulta aparentemente de uma menor quantidade de matéria orgânica, menor agregação, assim como menor penetração das raízes e da compactação ocasionada pelo peso das camadas sobrejacentes. Já a compactação que normalmente se apresenta nas camadas existentes logo abaixo daquelas constantemente cultivada resulta da ação exercida pelos implementos agrícolas. Estas zonas recebem denominações diversas tais como "tillage pans" ou "plow pans", DONAHUE (28), "plow sole", LYON et alii (73) e MOSIER & GUSTAFSON (82), ou simplesmente " piso de arado", GAVANDE(40).

Camadas com estas características foram pesquisadas e confirmadas por KASHIRAD et alii (60) em dois tipos de solos, distribuídos em 20 locais diferentes. Eles verificaram que esta zona era mais compacta do que as camadas acima e abaixo da mesma e também do que os solos virgens adjacentes. Resultados semelhantes foram obtidos por SOUZA & COGO (108). Segundo BAVER et alii (11), este tipo de compactação é especialmente prejudicial quando a profundidade de aração é constante, ressaltando também a afirmação de NICHOLS (84) de que se deve considerar a umidade existente não só na superfície como também na subsuperfície, uma vez que o solo com umidade excessiva, atingindo sua faixa plástica, terá maior facilidade para se compactar.

Como se observa, os solos cultivados realmente tem suas densidades alteradas, normalmente elevadas, embora com intensidades diferentes. E como as plantas geralmente tem seus crescimentos e produções reduzidas conforme a densidade aumenta, segundo SING et alii (107); PHILLIP & KIRKHAM (95); GROHMANN & QUEIROZ NETO (50) ; NELSON et alii (83); LOWRY et alii (71); TAYLOR et alii (110), é

necessário manter a densidade do solo em níveis compatíveis com a exigência das plantas. A manutenção de altos níveis de matéria orgânica no solo é uma maneira, BRADY (18). Um aumento no teor de matéria orgânica esteve, segundo DAVIDSON et alii (24), diretamente relacionado à redução na densidade do solo. Infelizmente as práticas de cultivo geralmente reduzem o conteúdo de matéria orgânica no solo, UNGER (115), e, além disso, um sistema destinado a aumentar o teor de matéria orgânica no solo raras vezes é prático, conforme WORTHEN et alii (126).

Apesar disso, vários trabalhos têm sido desenvolvidos procurando avaliar o efeito de diversos tipos de matéria orgânica sobre certas propriedades físicas do solo e seu comportamento residual. TIARKS et alii (113) aplicaram quantidades variáveis de esterco bovino em um solo barro-argilo-siltico durante 3 anos consecutivos e verificaram que o conteúdo de carbono orgânico aumentou de 2% para 5% após dois anos, quando se incorporou 180 a 360 toneladas/ha/ano, ao passo que a densidade do solo reduziu de 1,05 g/cm³ para 0,90 g/cm³. As aplicações de outros tipos de matéria orgânica alteraram a densidade do solo de modo similar, conforme MAYS et alii (79); KLUTE & JACOB (64); MORACHAN et alii (81). Essa redução na densidade de - corre da maior aglutinação das partículas causadas pela matéria orgânica, BUCKMANN & BRADY (19).

Já para romper e evitar a formação de "plow sole", OLIVEIRA (89) recomenda práticas como sub-solagem, enquanto que MOSIER & GUSTAFSON (82) e LYON et alii (73) complementam recomendando a aração do solo a profundidades variáveis quando este não estiver com

umidade excessiva.

2.2.2. Porosidade total, macro e microporosidade

A porosidade total do solo engloba tanto o espaço ocupado pela água como pelo ar. Muitas vezes a porosidade do solo e a distribuição do tamanho de poros é utilizada para se definir qualitativamente a estrutura do solo. Para GAVANDE (40), uma estrutura pobre possui pouco espaço poroso (somente 40%) e muitos poros pequenos que não drenam bem, de maneira que unicamente apenas uma pequena porção está ocupada por ar (5% do volume do solo). LOW (70) é da mesma opinião, confirmando que em solo de boa estrutura é desejável ter uma razoável proporção de porosidade total ocupada por macroporos (10 a 20% do volume do solo) com o restante sendo drenados em tensão maior que 15 atm.

A retenção de umidade, embora importante, não é o único fator que atua no sistema poroso do solo fornecendo condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento das plantas. As reações químicas e biológicas, fluxo de fluídos, difusão de gases e íons, etc., colaboram neste sentido, segundo SCARDUA (102). Assim, uma caracterização do espaço poroso para fornecer informações mais completas, deve incluir não só a porosidade total, que tem utilidade limitada, mas também a distribuição dos poros por tamanho, VOMOCIL (119).

O comportamento do sistema poroso frente ao cultivo durante a estação de crescimento de uma cultura anual qualquer, varia da mesma maneira que a densidade do solo, embora inversamente. Após o

preparo do solo, a densidade é baixa e a porosidade total é alta , mas com o decorrer do tempo o processo se inverte, conforme verificaram BHUSHAN et aliî (14). Portanto, pode-se dizer que a maior porosidade total (47,3%) obtida por SOUZA & COGO (108) na camada superficial, recentemente movimentada pelo cultivo, tenderá a reduzir e aproximar-se daquela existente no solo virgem, que era de 35,3% . Maior porosidade total no horizonte Ap de um solo cultivado, quando comparado com solo virgem, foi igualmente encontrado por BOUMA & HOLE (17). Esse fato, segundo os autores, foi devido à manipulação do Ap pelas máquinas agrícolas. Embora o cultivo geralmente reduza a porosidade, o que foi constatado por LOW (69), OLIVEIRA (89) resalta que deve haver certo cuidado na interpretação dos resultados, porque muitas vezes a porosidade total por si sô não caracteriza um adensamento ou uma compactação . Esse pesquisador concluiu que os valores de macro e microporosidade caracterizaram perfeitamente zonas compactadas por máquinas e implementos agrícolas, em solos permanente e intensamente cultivado.

Segundo os resultados de GANTZER & BLAKE (39) o aumento na densidade do solo devido ao cultivo, resulta na diminuição do espaço macroporoso, concordando com os resultados de vários pesquisadores (1, 10, 19, 43, 48, 63, 64, 67). A redução no espaço macroporoso, por sua vez, é acompanhado por um aumento mais ou menos proporcional no espaço cedido aos microporos, conforme demonstraram CORSINI (22) e BUCKMAN & BRADY (19). Os resultados de CORSINI (22), confirmando o que foi mencionado por OLIVEIRA (89), indicaram que a redução no volume de macroporos do solo cultivado em relação ao não cultivado, esteve associado com o aumento em quantidades proporcio-

nais no volume de microporos, ao passo que os valores de porosidade total não sofreram variações. Já OLIVEIRA (91), comparando solo cultivado com solo sob pastagem, verificou que essa proporcionalidade nem sempre ocorre, com a redução na macroporosidade sendo maior do que a elevação na microporosidade, o que resultou em uma redução da porosidade total.

O comportamento da macro e microporosidade nos solos cultivados, segundo HILLEL (55) deve-se basicamente à redução dos poros de grande tamanho, aumentando os de tamanho intermediário, devido à compressão exercida pelas máquinas e implementos agrícolas. Dessa maneira, se o solo for trabalhado com umidade excessiva, acima do seu limite de plasticidade segundo DAY & HOLMGREN (26), maior será o "achatamento" dos agregados um contra o outro, comprometendo ainda mais a porosidade e a estrutura do solo.

Outro aspecto importante que deve ser considerado no estudo da estrutura do solo, e portanto na porosidade, é a presença de matéria orgânica. A existência de quantidades relativamente grande desse material, associado à atividade biológica estabelecida na superfície dos solos, levam normalmente a um maior estado de agregação. Essa agregação por sua vez, segundo ALLISON (3) e BAVER et alii (11), aumenta a macroporosidade e reduz a microporosidade. Os resultados obtidos por BAVER & FARNSWORTH (10) deixaram evidente que a adição de matéria orgânica na superfície do solo não somente aumenta a macroporosidade, mas também preserva a boa condição estrutural através da estação de crescimento de uma cultura. Mas deve-se ter em mente que muitas vezes um aumento sensível nesse sentido, po-

de prejudicar o desenvolvimento e produção de uma cultura devido ao menor contato entre raiz-solo, ocasionando menor absorção de nutrientes, conforme previram ANDERSON & KEMPER (5).

A presença das camadas subsuperficiais compactadas é também caracterizada, juntamente com outros parâmetros, através da porosidade e sua distribuição quanto ao tamanho. Modificações no espaço poroso, tais como redução na porosidade total e macroporosidade e elevação na microporosidade nos "plow pans" ou "plow soles" são demonstradas por KASHIRAD et alii (60) e SOUZA e COGO (108). A constatação de tais camadas no perfil do solo leva os agricultores a recorrerem a determinadas práticas corretivas, como por exemplo a subsolagem. Mas um outro fato importante, observado por VIEIRA & KEMPER (118), deve ser considerado para a realização de tal prática. Eles verificaram, através da distribuição do tamanho de poros, que as camadas compactadas em solos intensamente cultivados se produziam até uma profundidade de 25 cm, ao passo que os agricultores faziam a subsolagem abaixo dessa profundidade. Consequentemente, a subsolagem como estava sendo feita não só comprometia as características do solo onde elas estavam intactas como também onerava os custos de produção.

2.2.3. Estabilidade dos agregados

(Duas importantes considerações envolvem o estudo da agregação dos solos: (a) os responsáveis pela formação dos agregados do solo e, (b) os que proporcionam estabilidade aos agregados após a

sua formação. Para BUCKMAN & BRADY (19) tal separação é difícil de ser realizada, uma vez que os dois fatores atuam simultaneamente. Segundo GROHMANN (47), o processo de agregação se inicia pela flocculação dos colóides do solo. Após a flocculação necessita-se, para ter agregados estáveis e apropriados, que o material seja estabilizado ou cimentado, GAVANDE (40). A maioria dos agentes cimentantes no solo são as argilas, os colóides inorgânicos (óxidos de ferro e alumínio) e os colóides orgânicos, BAVER (9).

KACHINSKII (59) é mais abrangente, distinguindo os seguintes processos de formação dos agregados do solo: (a) coagulação dos colóides devido à agregação mútua das várias partículas coloidais, ou sua eliminação por íons dispersantes; (b) reação química com flocculantes tais como CaCO_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, etc.; (c) estabilização biológica; (d) tensão superficial. Deve-se considerar que a importância relativa dos agentes agregantes é bem variável e depende das condições ambientais sob as quais os agregados do solo são formados. Dessa forma, os óxidos de ferro e manganês são os mais importantes agentes agregantes envolvidos na estabilização dos agregados de subsuperfície nos solos latossólicos, ao passo que as substâncias orgânicas são predominantemente responsáveis pela estabilização dos agregados existentes no solo de superfície, HARRIS et alii (53).

Quando se relaciona matéria orgânica e agregação, tem-se que considerar a presença dos microorganismos do solo, uma vez que eles são os responsáveis pela decomposição do material orgânico incorporado ao mesmo. Além disso, bactérias, fungos e actinomicetos au

xiliam no desenvolvimento de uma estrutura favorável para o crescimento das plantas pelas suas secreções de substâncias pegajosas que não são solúveis em água, DONAHUE (28). MARTIN (77) verificou o efeito de dois microorganismos na agregação do solo e concluiu que mais do que 50% do efeito agregante do fungo foi devido às substâncias produzidas por ele, enquanto que o restante foi devido aos seus micélio. Já os bacilos tiveram um efeito agregante de 20% e as substâncias produzidas por eles, 80%. PRIMAVESI (96) refere-se aos agregados assim formados como sendo "grumos" estáveis à água e que existe na camada compreendida entre 0 e 20 cm de profundidade. Uma estrutura dessa natureza é denominada por essa autora como "bioestrutura".

A importância da matéria orgânica na estabilidade dos agregados já foi comprovada por vários pesquisadores. Deve-se ressaltar que não só a quantidade mas também a qualidade contribui na ação agregante, uma vez que materiais orgânicos mais resistentes à decomposição são menos efetivos e requerem períodos de tempo mais longos para que máxima agregação ocorra, conforme McHenry & Russell, citados por MARTIN (77). Apesar dessas diferenças, vários tipos de matéria orgânica adicionados em quantidades variáveis tem-se mostrado eficientes no aumento da estabilidade dos agregados. Esterco bovino incorporado ao solo por TIARKS et alii (113), em quantidades que variaram de 0 a 360 t/ha/ano durante 3 anos seguidos aumentou a agregação de maneira exponencial. A aplicação de 20 a 40 t/acre/ano de esterco de equinos aumentou significativamente a estabilidade de agregados na fração de 2 a 5 mm, KLUTE & JACOB (64). A adição de resíduos vegetais de milho, alfafa e outros, assim como a incorporação de lixo de esgoto também elevaram a estabilidade dos agregados, confor-

me demonstraram MORACHAN et alii (81) e EPSTEIN (30), respectivamente.

A agregação nos horizontes superficiais de muitos solos é, segundo HARRIS et alii (53), predominantemente uma função da produção microbiológica e decomposição dos materiais orgânicos do solo. O aumento temporário frequentemente observado após a incubação de solos com matéria orgânica adicionada, está intimamente relacionado à atividade biológica. De um modo geral, quando se analisa o papel dos microorganismos e matéria orgânica no processo de granulação do solo, fica evidente que o aumento na agregação decorre por um ou mais motivos que se seguem, MARTIN (77): (a) células ou filamentos dos numerosos microorganismos que decompõem os resíduos orgânicos; (b) produtos da síntese microbiana; (c) produtos de decomposição do metabolismo microbiano e; (d) substâncias agregantes solúveis em água contidas no material orgânico original.

Uma vez que os solos cultivados normalmente apresentam uma queda no teor de matéria orgânica, a estabilidade dos agregados existente na camada superficial do solo, tenderá conseqüentemente a diminuir. Isso pode ser comprovado por vários trabalhos existentes na literatura. OLMSTEAD (92) verificou uma perda de 80% da agregação inicial em solos que vinham sendo cultivados a mais de 40 anos. Estas modificações foram mais pronunciadas na superfície, enquanto que a aproximadamente 30 cm a agregação do solo virgem foi levemente maior que a do solo cultivado. GROHMANN (44) e GROHMANN & ARRUDA (49) comparando uma área cultivada com uma área virgem de Terra-Roxa-Legítima, verificaram que a estabilidade dos agregados do solo

cultivado, analisada pela técnica de peneiramento, foi sempre menor que a do solo virgem. Tais fatos indicaram que este solo, que tem excepcionais características de estrutura devido ao efeito cimentante dos óxidos de ferro e alumínio, não exige preparo intenso para apresentar condições ideais para o desenvolvimento das plantas. LAWS & EVANS (67) além de mostrarem que os solos virgens possuíam um percentual bem maior de agregados de 5 e 2 mm que os solos cultivados, verificaram também que em ambos, este percentual diminui com a profundidade, aumentando o da fração de 2 a 1 mm. ALDERFER & MERKLE (2) observaram que a degradação na condição estrutural do solo é maior quando as culturas em linha predominam nos cultivos. Eles verificaram que o conteúdo de carbono orgânico total está íntimamente relacionado ao tamanho e estabilidade dos agregados. Afirmam contudo, que é possível manter as condições físicas dos solos cultivados se um amplo programa de manutenção de matéria orgânica biologicamente ativa for desenvolvida, pela adição de esterco, culturas com bom enraizamento e adubação verde. A habilidade diferencial de determinados tipos de cultura ou vegetação sobre a agregação do solo foi constatada por FREIRE (37), WILLIAMS (121), WILSON (122) e UHLAND (114).

ANDERSON & BROWNING (4) constataram que todos os solos virgens por eles estudados mostraram-se mais estáveis em agregados maiores que 2 mm. PENG & BROWNING (94), nas condições em que desenvolveram o trabalho, verificaram um aumento na água não capilar com o aumento na agregação, encontrando um coeficiente de correlação de 0,72, significante ao nível de 1%. De um modo geral, isto significa

ria um aumento na macroporosidade com o aumento no tamanho dos agregados. Outros pesquisadores como BEZERRA (13), RAMOS (97), OLIVEIRA (91) e SILVA et alii (106) detectaram reduções no tamanho dos agregados dos solos Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico Distrófico, Latossolo Vermelho Escuro, Podzólico Vermelho Amarelo e Latossolo Roxo Distrófico, respectivamente, quando submetidos ao cultivo. Existe uma tendência geral para ocorrer maiores reduções em solos mais intensamente movimentados. Embora seja possível formar agregados por ocasião da aração e gradagem quando o solo estiver com um teor de umidade adequado, é difícil que todos estes grânulos assim formados permaneçam inalterados no solo, uma vez que eles se desintegram rapidamente quando ocorre uma chuva intensa, WORTHEN et alii (126)

Já nos horizontes subsuperficiais, onde o teor de matéria orgânica é normalmente baixo, a presença ou não de floculantes como CaCO_3 , Fe(OH)_3 , ou de íons sódicos dispersantes, assim como o efeito de tensão superficial, se torna de maior importância na agregação, embora estes também atuem na camada superficial do solo. Entre os íons, o Ca^{++} e, em menor grau o Mg^{++} , são os mais citados na literatura como indutores da floculação. Entretanto alguns trabalhos não demonstraram de maneira significativa tais efeitos. EL-SWAIFY (29), trabalhando com um oxisol, usou a técnica de peneiragem úmida para verificar o efeito do CaCl_2 , MgCl_2 e NaCl em concentrações que variaram de 0 a 0,6 N, sobre a distribuição de tamanho de agregados maiores que 0,05 mm. Seus resultados mostraram que os tratamentos não afetaram a estrutura do solo nem na superfície como na subsuperfície. MARTIN & RICHARDS (78) por sua vez, utilizaram o método da

pipeta para determinar o efeito do Ca, Na e H, entre outros, sobre a agregação de partículas menores que 0,05 mm. Eles demonstraram que o Ca e H exerceram pouca influência na agregação, ao passo que esta foi reduzida pela adição de Na.

Portanto, embora solos ricos em cálcio apresentem granulação elevada, não se deve concluir que este efeito seja inteiramente devido à influência direta da adsorção deste metal, conforme previne BUCKMAN & BRADY (19). Evidências experimentais indicam que o efeito do cálcio sobre a formação de agregados é indireta, isto é, ela afeta a produção e decomposição da matéria orgânica bem como os mecanismos de ligação entre os colóides orgânicos e partículas de argila, BAVER et alii (11). Os fatos acima mencionados permitem pensar que a prática da calagem efetuada nos solos agrícolas pode influir na agregação dos solos, embora as quantidades aplicadas sejam geralmente muito baixas para ter grande influência na condição estrutural do solo, como afirmam LYON & BUCKMAN (72).

Muitos pesquisadores se interessam pelo relacionamento existente entre o tamanho dos agregados do solo e o crescimento das plantas. RUSSELL & RUSSELL (100) citam que este tamanho varia de 1 a 5 mm, conforme as condições climáticas, isto é, em condições muito secas menores agregados seriam aconselháveis, ao passo que em condições úmidas ocorreria o inverso. Segundo esses mesmos autores, agregados maiores que 5 e 6 mm resultam em um espaço poroso demasiadamente elevado para o desenvolvimento das plântulas. Estas tendências foram demonstradas por ANDERSON & KEMPER (5) no crescimento do milho. WILSON & BROWNING (123), embora não achessem uma relação dire

ta entre agregação e produção, concluíram que este foi um dos fatores que influenciaram a produção de algumas culturas. JAIN & AGRAWAL (57) constataram que o crescimento da cana de açúcar foi maior quando o tamanho dos agregados se situou entre 3,2 e 6,4 mm. Como se observa, é difícil estabelecer um tamanho único de agregado que resulte em desenvolvimento máximo da cultura, uma vez que vários fatores como clima, tipo de planta, composição, estabilidade e estrutura do agregado, influenciam na obtenção deste tamanho ótimo de agregados.

Outro aspecto que deve ser abordado é o efeito do pré-tratamento das amostras na estabilidade dos agregados. Alguns trabalhos, como o de OLIVEIRA (91), demonstram que as amostras submetidas ao umedecimento lento, 24 horas antes da análise propriamente dita, fornecerão agregados mais estáveis quando comparados com amostras sem pré-tratamento. GROHMANN (44) também verificou haver uma menor desintegração dos agregados de Latossolo Roxo Eutrófico, umedecidos 24 horas antes da análise, através de atomizador. Esse autor, citando Russel e Tamhane, comenta que quanto mais rápido for o umedecimento, menor será a estabilidade dos agregados, conseqüentemente, maior será sua desintegração.

Existem pelo menos dois processos que causam o rompimento dos agregados quando eles são umedecidos rapidamente, segundo BAVER et alii (11). A rápida absorção de água causa expansão desigual dentro do agregado, produzindo fraturas e fragmentações ao longo dos planos de clivagem. Além disso, a penetração de água nos capilares resultará primeiramente na compressão do ar ali existente e, finalmente, em uma virtual explosão dentro do torrão, conforme a pressão

do ar aprisionado exceda a coesão das partículas. O primeiro processo acima mencionado deve possivelmente predominar em solo com argilas 2:1, enquanto que o segundo ocorreria mais nos sistemas cauliniticos e sesquióxidicos. Estas relações parecem ser confirmadas pelo trabalho desenvolvido por PANABOKKE & QUIRK (93), os quais concluíram que nos solos argilosos o rompimento dos agregados era causado mais pela expansão diferencial dos mesmos, ao passo que nos solos barrentos, isto ocorria devido à pressão do ar aprisionado.

Quando um agregado é umedecido vagarosamente, o ar é expelido dos grandes poros a medida em que os poros menores absorvem água por capilaridade, conforme BAVER et alii (11). Por outro lado, quando agregados com baixo conteúdo de umidade são imersos em água, esta, devido ao gradiente de potencial, tenderá a penetrá-los rapidamente, PANABOKKE & QUIRK (93). Isto levará a uma maior destruição dos agregados, uma vez que quanto mais rápida for a penetração da água nos agregados, maior será a força de degradação resultante do ar aprisionado e da expansão desigual dos constituintes dos agregados, HARRIS et alii (53).

Outro fato que desperta o interesse dos pesquisadores é o efeito do cultivo sobre a estabilidade de agregados, quando se faz o pré-tratamento das amostras. Nesse caso considera-se que tanto as amostras do solo virgem como as do solo cultivado tenham sido lentamente umedecidas 24 horas antes da análise. Resultados apresentados por GROHMANN (44) demonstram que os agregados dos solos virgens são mais estáveis do que os provenientes do solo cultivado. PANABOKKE & QUIRK (93) verificaram que a estabilidade dos agregados maior que

5 mm do solo virgem, foi maior que a do solo cultivado em todos os níveis de umidade inicial por eles estudados (os valores de pF variaram de 0,3 a 6,5). Essa maior estabilidade nos solos virgens foi devido à maior resistência mecânica e coesão das partículas, resultante do elevado teor de matéria orgânica existente nos solos não cultivados.

2.2.4. Água para irrigação

"Água para irrigação" foi o termo escolhido para representar a água retida entre 0,1 e 15 atm. O termo "água disponível" foi preterido, visto que, segundo BUCKMAN & BRADY (19), a tensão da umidade do solo é somente um dos fatores que influenciam a utilização da água pelos vegetais, existindo ainda certo número de fatores vegetais e climáticos, descritos por REICHARDT (98), como resistência à seca e umidade do ar respectivamente, atuando nesse sentido. Já o valor limite de 0,1 atm foi utilizado porque é o parâmetro de laboratório que melhor representa a capacidade de campo do solo em estudo, segundo FREIRE (36).

De um modo geral, a textura e estrutura são os dois fatores mais atuantes na retenção de umidade por um dado solo. Ambos influenciam a distribuição dos poros quanto ao seu tamanho, relacionando-se conseqüentemente com a agregação do solo. Duas classes de poros podem ser distinguidas em um solo agregado; os poros maiores, entre agregados, e os poros bem menores, intra-agregados, GUMBS & WARKENTIN (52). Os poros entre-agregados são importantes na drenagem e aeração, enquanto que os poros intra-agregados são importantes para a retenção da água e nutrientes disponíveis para as plantas. SHARMA & DEHARA (105) desenvolveram uma análise para verificar

o efeito de dois aspectos da estrutura do solo, macroestrutura (se refere a forma, tamanho e arrançamento dos agregados e poros associados) e microestrutura (forma, tamanho e arrançamento das partículas primárias), sobre a retenção de umidade em dois solos latossólicos. Eles concluíram que a retenção de umidade na faixa de 0 a 0,3 bars (300 cm de água) foi influenciada pela macroestrutura. Além dessa tensão, as características de retenção foram governadas pela microestrutura.

Pelo exposto, deduz-se que este parâmetro tenderá a sofrer alterações pelo cultivo, na medida em que este afete a estrutura interna dos agregados (microestrutura), um fato que pode ou não ocorrer conforme demonstraram os resultados obtidos por SILVA et alii (106) e ANDERSON & BROWNING (4). O primeiro constatou diferenças nos teores de água retida tanto a baixa quanto a altas tensões, quando comparou o solo cultivado convencionalmente com o solo sob mata. A compactação logo abaixo da camada arável ocasionou uma maior retenção de água. Já ANDERSON & BROWNING (4) não acharam essas diferenças quando compararam seis solos nos seus estados virgens e cultivados. Apesar da água disponível ser praticamente a mesma nas duas coberturas, eles concluíram que existe maior disponibilidade no solo virgem devido à menor erosão e maior infiltração.

Entre os fatores que afetam a retenção de umidade do solo, a matéria orgânica é sempre mencionada. Contudo, a sua influência deve ser cuidadosamente analisada. Pode-se incorrer no erro de admitir que um possível aumento na retenção de água disponível seja devido diretamente à própria capacidade de retenção da matéria orgânica.

nica. Segundo BUCKMANN & BRADY (19), o benefício principal neste caso é devido a sua influência favorável na estrutura do solo. Mas geralmente, quando a matéria orgânica melhora a agregação e aeração, e reduz a densidade do solo, sua influência será pequena sobre a capacidade de armazenamento de água, conforme ALLISON (3). Segundo esse pesquisador, a agregação normalmente aumentará o volume de macroporos, mas reduzirá o volume de poros que armazenam água. Esse fenômeno foi comprovado por MARCOS (76), onde um aumento na agregação elevou a porosidade de aeração e reduziu o teor de água disponível. Diferentes tendências foram observadas por JAMISON (58) em solos de textura grossa concluindo que um aumento no teor de matéria orgânica resultará em maior retenção de água disponível.

FREIRE & SCARDUA (38) por sua vez, trabalhando com amostras originais e oxidadas de dois horizontes de Latossolo Roxo Distrófico, verificaram que a capacidade da matéria orgânica do solo em reter umidade, influencia mais os resultados na faixa de altas tensões (inferiores a 0,1 atm.). Seus resultados indicaram que no horizonte A₁, a matéria orgânica não influenciou a retenção de umidade nas tensões próximas de 0,1 atm, estando portanto, a retenção ligada à distribuição do tamanho de poros. Já no horizonte B₂₂, eles verificaram que a oxidação da matéria orgânica resultou na destruição dos agregados, reduzindo seus diâmetros e aumentando os teores de umidade na faixa de tensões abaixo de 0,04 atm. Nesse caso o efeito da matéria orgânica na retenção é indireto.

Seguindo as definições de SHARMA & UEHARA (105), pode-se dizer que os resultados de FREIRE & SCARDUA (38) mostram que a maté -

ria orgânica afeta principalmente a macroestrutura do solo, ou seja, até uma tensão aproximada de 0,1 atm. Já de 0,1 a 15 atm., a amostra original sempre reteve um teor de umidade um pouco acima da amostra oxidada, o que fez com que a quantidade de água retida entre essas duas tensões fosse praticamente semelhante.

2.3. Densidade de partículas

A densidade de partículas, também conhecida como densidade real ou massa específica real, corresponde à massa por unidade de volume de sólidos secos. Nesse caso o volume do solo é rigorosamente determinado, sendo considerado somente o espaço ocupado pela matéria sólida do solo. Sua importância para a ciência do solo é relativa, sendo utilizada na maioria das expressões matemáticas onde volume ou peso da amostra do solo está sendo considerada, BLAKE (16). Desse modo, interrelações da porosidade, densidade do solo e taxas de sedimentação das partículas no fluído dependem da densidade de partículas. Análise do tamanho de partículas que empregam taxas de sedimentação, bem como cálculos envolvendo movimento de partículas pelo vento e água, requerem informações sobre a densidade de partículas. De maneira geral, este parâmetro é utilizado mais rotineiramente no cálculo da porosidade total e velocidade de sedimentação das partículas.

Entre os fatôres que determinam os resultados de densidade de partículas, destacam-se a constituição química e mineralógica das partículas, segundo BAVER et alii(11), bem como a quantidade de mi-

nerais e matéria orgânica presente, conforme MOSIER & GUSTAFSON(82). Considera-se para a maioria dos solos minerais uma densidade de partículas entre 2,60 e 2,75 g/cm³, BUCKMAN & BRADY (19). Tal afirmação baseia-se no fato de que a maioria destes solos originam-se de micas, quartzos, feldspatos e silicatos que possuem densidades nesta faixa, ao passo que a presença de minerais pesados como hematitas, magnetitas, zircão, granada, epídoto, turmalina e hornblenda, tendem a elevar a média. Inversamente, a presença de matéria orgânica reduz a densidade de partículas de um solo, uma vez que o produto natural de sua decomposição, o húmus, possui baixo peso específico, estando em torno de 1,2 a 1,7 g/cm², conforme LYON et alii(73).

Como os solos cultivados geralmente apresentam rápida redução no teor de matéria orgânica, deduz-se que a densidade de partículas deve também ser afetada. Essa observação foi feita por OLIVEIRA (91), quando comparou um solo sob pasto natural com solo sob cultivo convencional. No primeiro, até 34 cm, a densidade de partículas esteve em torno de 2,45 g/cm³, enquanto que no solo cultivado esta foi de 2,50 g/cm³, ocorrendo uma associação inversa com o teor de matéria orgânica. Semelhantes tendências foram constatadas por BOUMA & HOLE (17) em dois tipos de solo, nas condições de cultivo e solo virgem. De modo contrário, adição de matéria orgânica ao solo reduz a densidade de partículas, conforme demonstrou TIARKS et alii (113), utilizando quantidades variáveis de esterco bovino.

De um modo geral, solos mais homogêneos como os latossolos tendem a apresentar pouca variação nos horizontes subsuperficiais devido às características intrínsecas dos mesmos. Além disso, a densi

dade de partículas independe da estrutura e compactação do solo, LOPES (68).

2.4. Argila total, argila dispersa em água e índice de floculação.

Os agregados se distribuem no solo em diversos tamanhos e respondem de maneira distinta aos tratamentos físicos e químicos de dispersão. Os agregados maiores podem ser destruídos por meios mecânicos suaves; já os agregados menores, que têm suas partículas mais fortemente unidas, necessitam de um tratamento químico para separá-las; finalmente tem-se as concreções, nas quais o material fino está mais fortemente cimentado pelos colóides inorgânicos, segundo RUSSELL & RUSSELL (100). O tamanho limite entre os agregados que distinguem os comportamentos acima mencionados torna-se mais claro pela afirmação de GAVANDE (40), de que em geral, as massas de argila floculada sã alcançam o tamanho das partículas de limo. Na verdade, no cálculo do índice de floculação somente agregados menores que 0,05 mm são considerados.

Vários fatores mencionados na literatura influem nas características de floculação das partículas. Ainda na metade do século não se conhecia o mecanismo de formação dos flóculos, embora já o relacionassem com a redução na dupla camada difusa, conforme RUSSELL & RUSSELL (100). Atualmente sabe-se que a adição de um eletrólito ao sistema, especialmente em alta concentração, resultará na compressão da dupla camada, o que levará à floculação das partículas, se -

gundo BAYER et alii (11). Esses últimos autores ressaltam que o efeito compressivo é determinado pela valência e concentração de cá-tions (íons de sinais opostos àqueles existentes na superfície das partículas), ou seja, quanto maior a valência e concentração, maior será a compressão.

Aqueles dois fatores influem na energia de retenção dos cá-tions, afetando a espessura da dupla camada. Assim, os cátions divalentes que são retidos com maior rigidez do que os monovalentes do mesmo tamanho, causarão maior floculação das partículas, BUCKMAN & BRADY (19). O raio iônico e o seu grau de hidratação também alteram a energia de ligação, isto é, quanto mais próximo os íons estiverem da superfície dos colóides, maior será a sua energia de retenção. Por outro lado, os íons que se tornam hidratados em solução terão um raio efetivo maior do que na forma não hidratada. Assim, quando a espessura do invólucro de água é incluída como parte do raio, a facilidade de substituição diminui com a redução no tamanho do íon hidratado, segundo BAYER et alii (11). Esses fatos respondem pela tendência do sódio, que é um íon altamente hidratado, em auxiliar a dispersão dos colóides do solo, e do cálcio para favorecer sua floculação, BUCKMAN & BRADY (19).

Apesar de existir um consenso geral na literatura a respeito da ação floculante do cálcio, alguns trabalhos que não demonstram tal associação indicam que os fenômenos envolvidos neste processo ainda não estão bem esclarecidos. Isto pode ser constatado pelos resultados obtidos por MARTIN & RICHARDS (78), que, embora tenham observado uma grande redução na agregação devido à adição de Na tro

cável, verificaram que a presença do Ca não alterou as características de agregação do solo estudado. Como a maioria dos trabalhos nesta área são realizados com solos de clima temperado, EL-SWAIFY (29) conduziu uma pesquisa para medir os efeitos de alguns cátions como Mg, Ca e Na sobre a estabilidade estrutural de um oxisol, que possuía 70 a 80% de caulinita, 15-20% de óxidos de ferro e 5-10% de gibsitá. Os seus resultados não mostraram efeito de nenhum tratamento sobre o tamanho dos agregados; nem mesmo a ação dispersante do sódio foi constatada. Esse pesquisador, citando os resultados de Schofield e Swanson, comenta que para as argilas cauliníticas é necessário aumentar o pH para além de 8 para que a dispersão ocorra. Segundo ele, isto presumivelmente ocorre porque a floculação em sistemas cauliníticos é causada pela atração entre as superfícies negativamente carregada e as margens positivamente carregadas. Para superar esta atração, estas cargas positivas devem ser neutralizadas ou invertidas, o que é obtido quando se varia o pH. Além disso tem-se a presença dos óxidos de ferro que, principalmente em baixo pH, exibem cargas positivas que se ligam às superfícies das argilas silicatadas negativamente carregadas. conforme SCHWERTMANN & TAYLOR (104).

O comportamento de sistemas cauliníticos e oxídicos frente à floculação ou dispersão ficará mais esclarecido se discutido em termos de pontos isoelétricos do solo, conforme demonstra FASSBENDER (32). Segundo ele, as propriedades acima mencionadas se devem essencialmente ao caráter anfótero dos colóides. Assim, em condições de baixo pH, haverá a tendência de predominar cargas positivas no solo,

produzindo uma espécie de repulsão entre as partículas, dispersando-as. Por outro lado, ao se aumentar o pH, cargas negativas serão criadas até que se atinja um ponto de equilíbrio entre as cargas positivas e negativas do solo (ponto isoelétrico). Consequentemente, neste ponto, a floculação se manifestará mais intensamente; se o pH continuar aumentando, as cargas negativas que serão criadas sobressairão sobre as positivas, tornando a ocorrer a dispersão das partículas. Resumindo, ao variar as condições da suspensão pela mudança do pH, se alcançará o ponto isoelétrico, no qual as cargas elétricas externas desaparecerão e as partículas coloidais flocularão.

Assumindo as teorias acima mencionadas, deduz-se que em solos ricos em caulinitas e óxidos de ferro, a simples adição de eletrólitos neutros não alteraria o ponto isoelétrico dos mesmos. Esta foi uma das razões citadas por EL-SWAIF (29), como sendo responsável pela não dispersão visualizada em solos desta natureza, embora ele ressalte que as interrelações do pH do solo e concentração de eletrólitos que afetam a magnitude das cargas exibidas pelos constituintes do solo, necessitam mais investigações.

Uma vez que o ponto isoelétrico se mostra importante no que diz respeito à floculação, vale citar quais são as faixas de pH em que eles são obtidos em alguns solos. Embora estes valores dependam dos óxidos e hidróxidos presentes, geralmente se observa o ponto isoelétrico entre pH 5 e 6, FASSBENDER (32). Um oxisol apresentado por MOHR et alii (80) mostrou que este ponto se encontra a valores de pH acima de 5, e que este também era afetado pelo grau de cristali-

linidade de hidróxido de ferro. A matéria orgânica é outro fator que deve ser considerado, uma vez que a mesma possui caráter anfótero, sendo que alguns tipos de matéria orgânica permanecem eletronegativas em ampla faixa de pH, segundo ALLISON (3).

A influência da matéria orgânica sobre o ponto zero de carga ficou bem evidenciada pelos resultados de VAN RAIJ & PEECH (116). Dentro do mesmo perfil de um oxisol (acrothox), eles constataram que no horizonte Ap o ponto isoelétrico situou-se em pH 3,9, enquanto que no horizonte B₂ este era de 6,2. Uma vez que a composição mineralógica do horizonte Ap e B₂ eram semelhantes, as diferenças nas propriedades eletroquímicas entre eles devem ser atribuídas ao conteúdo de matéria orgânica. Já no horizonte B latossólico, onde essa não se apresenta em grande quantidade, a existência de um material argiloso de baixa atividade, resulta na redução das forças eletrostáticas que determinam a repulsão entre as partículas, levando-as a flocularem, conforme OLIVEIRA (87).

Embora solos compostos por caulinitas e óxidos de ferro normalmente apresentem uma estrutura estável, um outro fator constatado por CAGUAN & UEHARA (20) deve ser considerado. Eles concluíram que para solos cauliniticos contendo mais que 5% de ferro livre, uma diferença na estabilidade dos agregados pode estar relacionada com um aumento na orientação das partículas, resultando em um sistema mais estável.

2.5. Consistência do solo

O reconhecimento dos limites de consistência e as implicações práticas que estes envolvem são importantes para os solos agrícolas. A determinação dos mesmos indicará qual a faixa ótima de umidade em que os solos podem ser trabalhados, sem que suas estruturas sejam alteradas a ponto de prejudicar o desenvolvimento vegetal. Analisando nesse sentido, o conhecimento do limite de plasticidade assume maior importância, uma vez que ele representa a percentagem de umidade mínima na qual o solo pode ser seriamente comprimido, conforme BAVER et alii (11). Segundo esses autores, a compressão máxima do solo que ocorre dentro da faixa plástica, é devido, sem dúvida, ao efeito lubrificante dos filmes de água que envolvem as partículas, facilitando sua orientação e o deslizamento de umas sobre as outras para formar uma massa densa. NICHOLS & REAVES (85) constataram que para uma dada pressão, a densidade do solo aumentava juntamente com o teor de umidade da amostra. Essa tendência continua até atingir um pico, onde a compactação é máxima. Quando o conteúdo de água se eleva além deste nível, o excesso de água previne a compactação do solo, FELT (33), indicando que esta relação não é linear.

As interações acima comentadas deixam claro que a estrutura de um solo será seriamente comprometida, se o mesmo for trabalhado quando o conteúdo de água for muito grande. Isso foi constatado por NICHOLS (84) em um solo que possuía uma estrutura definida. Esta foi bastante afetada pela pressão dos tratores e implementos agrícolas que atuaram quando o solo estava muito úmido, tornando-o quase

impermeável. Esse autor chama a atenção para o fato de que muitas vezes o solo pode estar seco suficiente na camada superficial, ao passo que na subsuperfície, na profundidade de aração, este ainda pode estar úmido e plástico, prejudicando a estrutura do solo sem que haja grande evidência superficial. As modificações que ocorrem nos solos úmidos durante a compressão foram examinadas por DAY & HOLMGREN (26), que concluíram que as mudanças no volume são atribuídas em grande parte à deformação plástica dos agregados. A deformação ocorreu prontamente no limite de plasticidade, causando um progressivo fechamento dos espaços entre agregados. Em conteúdos de água abaixo deste limite a redução nesses espaços foi incompleta.

Com relação ao efeito do cultivo sobre os limites de consistência, alguns trabalhos demonstram certa discordância nos seus resultados. SOUZA & COGO (108) verificaram que o limite de liquidez apresentou uma associação positiva com o teor de matéria orgânica existente nos horizontes superficiais dos perfis estudados. Em ordem decrescente, tanto quanto em relação ao teor de matéria orgânica como em relação aos limites de liquidez obtidos, os diferentes tipos de cultivo apresentaram a seguinte ordem: pastagem cultivada > culturas anuais > solo virgem. Já com o limite de plasticidade não se observou qualquer efeito de matéria orgânica, com os valores não diferindo muito entre as distintas coberturas. O índice de plasticidade, conseqüentemente, se modificou juntamente com o limite de liquidez. Esses resultados não coincidem com os de ODELL et alii (86), que teve no carbono orgânico a variável independente mais importante para explicar as diferenças no limite de plasticidade. Eles encontraram uma relação positiva entre % de carbono orgânico e os li-

mites de plasticidade e liquidez, enquanto que o índice de plasticidade não foi muito afetado.

Os últimos resultados estão mais de acordo com a teoria exposta por BAVER et alii (11). Segundo eles, a matéria orgânica tem uma alta capacidade absorviva para a água; a hidratação da mesma deve ser completa ante que suficiente quantidade de água esteja disponível para a formação do filme de água em torno das partículas minerais. Consequentemente o limite de plasticidade ocorrerá em conteúdos de umidade relativamente alto. Por outro lado, o teor de umidade estando um pouco abaixo do limite plástico, impedirá a manifestação dos estados máximos de coesão que ocorrem quando o solo apresenta-se plástico ou duro, já que este teor de umidade não basta para formar filmes de água contínuos ou mais ou menos espessos nos pontos de contato das partículas, mas é suficiente para evitar a cimentação das mesmas, GOMES & CABEDA (41).

OLIVEIRA (91), estudando o efeito do cultivo sobre os referidos parâmetros, verificou que os limites de liquidez e plasticidade foram inversamente correlacionados com o teor de matéria orgânica, o que vai de encontro com o que foi discutido acima. As discordâncias encontradas indicam que somente a análise do carbono orgânico total do solo, possivelmente não explique os resultados encontrados, uma vez que a mesma não indica o estado de decomposição da matéria orgânica do solo.

A revisão desse e dos outros parâmetros anteriormente mencionados, evidenciam os efeitos do cultivo sobre as características e propriedades físicas do solo. Tais efeitos, diretos e indiretos, nor

malmente apresentam tendências semelhantes, embora diferindo em intensidade. Fatores como tipo de solo, sistema de manejo, tempo de cultivo e umidade do solo, além da época e profundidade de amostragem, contribuem para essas diferenças.

concl. As alterações nas estruturas dos solos cultivados e suas relações com o crescimento das plantas, indicam a necessidade de se adotarem práticas conservacionistas adequadas para manter e/ou recuperar a capacidade produtiva dos solos agrícolas. Assim, a quantificação dos parâmetros físicos, associada com o tipo de solo, tempo de cultivo e sistema de manejo, constitui o primeiro passo na busca de soluções para os problemas aqui evidenciados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e características da área em estudo

O município de Lavras está localizado na região Sul do Estado de Minas, a $21^{\circ}15'$ de latitude sul e a 45° de longitude W.G. A posição da sede do município, em relação ao Estado de Minas Gerais, está representada na figura 1.

O tipo climático da região, segundo a classificação de Köppen, é Cwb, apresentando as seguintes características: menos de 13 mm de chuva no mês mais seco, mês mais quente com temperatura média de $21,6^{\circ}\text{C}$, mês mais frio $15,8^{\circ}\text{C}$; média anual de temperatura igual a $19,3^{\circ}\text{C}$ e a média de precipitação anual total de 1.493 mm. O balanço hídrico mostra que as chuvas não são bem distribuídas, havendo excesso de água nos meses de novembro a março, e deficiência no período de março a início de agosto.

A vegetação original é representada por cerradão (mata rala), com pequenos maciços remanescentes na área e circunvizinhanças. Gran

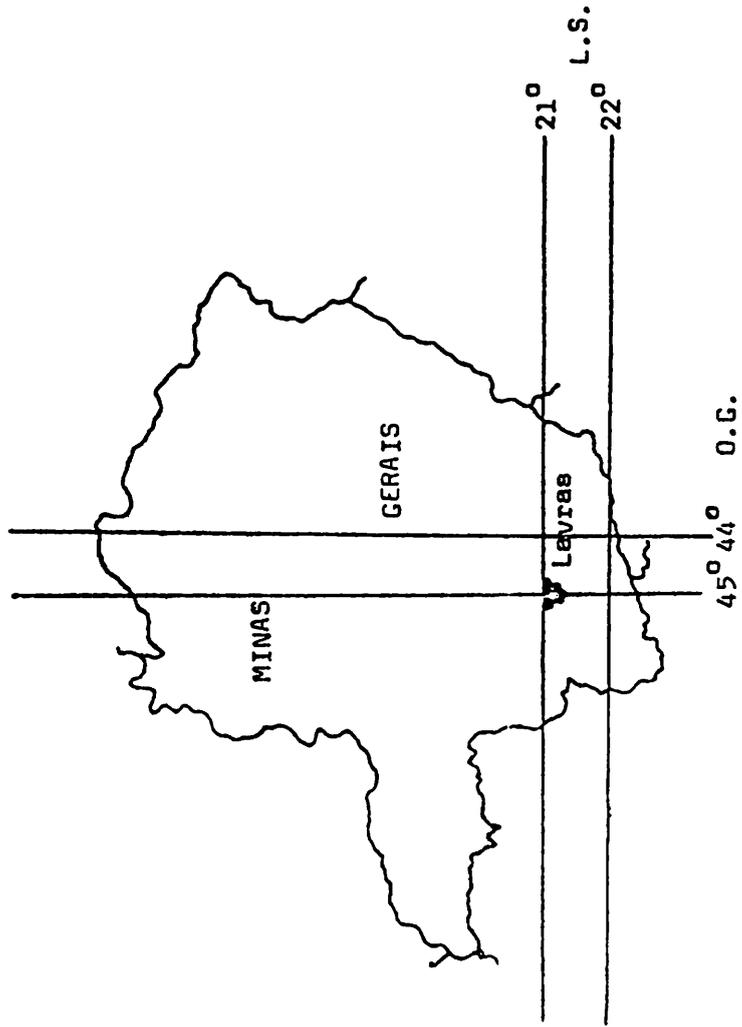


FIGURA 1 - Situação geográfica do Município de Lavras, Minas Gerais.

de parte da área acha-se hoje ocupada por pastagens, café, milho e experimentos de natureza diversa, BAHIA (7).

3.2. Solo e amostragem

As amostras de material do solo foram coletadas em horizontes de seis perfis representativos da unidade taxonômica Latossolo Roxo Distrófico, classificado por BAHIA (7) ou Typic Acrorthox pela Soil Taxonomy, como classificou ANDRADE (6). Parte das amostras foram secas ao ar e passadas por peneiras de 2 mm, constituindo-se TFSA.

Os seis perfis se localizam no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG, situada a uma altitude aproximada de 920 metros. A coleta das amostras deu-se no 2º semestre do ano de 1978, realizada pouco tempo depois que o solo foi arado (disco) e gradeado. As análises, iniciadas em 1979, foram todas realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo da ESAL. A descrição morfológica dos perfis foi efetuada por ANDRADE*, e os seus resultados estão apresentados no apêndice I.

3.3. Plano experimental

Foram utilizados nesta pesquisa seis perfis de Latossolo Roxo Distrófico, que ocupam duas áreas com distintos manejos. Três perfis estão localizados em uma reserva biológica do campus da Escola

* ANDRADE, H. Engº Agrº, Professor Assistente do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras, ESAL.

la Superior de Agricultura de Lavras, sob mata nativa, enquanto que os três últimos situam-se atrás do Departamento de Ciência do Solo, EŞAL, e estão representando a área que está sendo cultivada convencionalmente (1 aração e 2 gradagens) há mais de dez (10) anos com culturas anuais (milho, feijão, soja).

Assim, cada área (cobertura) acima mencionada foi descrita através de três perfis (posições). Cada perfil por sua vez, foi subdividido em sete (7) horizontes, nos quais procederam-se as coletas das amostras. O modelo experimental de classificações hierárquicas utilizado, consiste, segundo WINER (124), em um experimento com três fatores; cobertura (i), posições (j) e horizontes (k). Nesse caso, o fator j está hierárquico sob o fator i. O modelo para este tipo de experimento pode ser descrito na sua forma explícita como :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j(i) + \gamma_k + \alpha \gamma_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

sendo que i (cobertura) varia de 1 a 2, j (posições) varia de 1 a 3 e k (horizonte) varia de 1 a 7. Somente quando se verificou o efeito do pré-tratamento das amostras na estabilidade dos agregados, é que foi utilizado um esquema fatorial 2 x 3 x 7 com uma única repetição.

3.4. Características e propriedades físicas utilizadas como parâmetros para avaliar o efeito do cultivo no solo.

3.4.1. Densidade do solo (D_s).

Seguiu-se nesta determinação a metodologia descrita por BLAKE (15), que consiste em acoplar ao cilindro de Uhland, anéis de volume conhecido e, por percussão, introduzir o conjunto em cada camada amostrada. As amostras obtidas com a estrutura indeformada foram submetidas à secagem em estufa à temperatura de 105-110 °C durante 24 horas. Assim, a relação entre o peso seco das amostras e o volume dos anéis deu o valor da densidade do solo.

3.4.2. Porosidade total

Conhecido os valores correspondentes à densidade do solo e densidade de partículas, determinou-se o volume total de poros através da equação formulada por VOMOCIL (119) :

$$VTP = 100 \left(\frac{D_p - D_s}{D_p} \right)$$

onde : VTP = Volume total de poros (%)

D_p = Densidade de partículas ($g.cm^{-3}$)

D_s = Densidade do solo ($g.cm^{-3}$).

3.4.3. Macro e microporosidade do solo

Os métodos utilizados na determinação de macro e microporosidade do solo se baseiam na aplicação de tensões, sendo assim métodos tensiométricos. Alguns pesquisadores como OLIVEIRA (88), se utilizam de aparelhos conhecidos como "mesa de tensão", enquanto que outros como GROHMANN (46) usam "unidades de sucção" em tal pesquisa. Embora diferentes, ambos aparelhos se baseiam em um método de deficiência de pressão para remover a água de amostras saturadas. Essa deficiência de pressão é obtida por diferença de nível entre os dois terminais da coluna d'água.

As determinações foram realizadas em amostras com estrutura indeformada empregando 60 cm de altura de água para separar a porosidade capilar (microporosidade) e a não capilar (macroporosidade). A percentagem de água (expressa em volume) retida nas amostras, após atingido o equilíbrio, corresponde à microporosidade do solo, enquanto que a macroporosidade foi dada pela diferença entre a porosidade total e a capilar, conforme utilizou GROHMANN (46).

3.4.4. Análise de agregados do solo

Nessa análise, a distribuição dos agregados do solo em função do seu diâmetro seguiu a técnica de "peneiramento", descrita por KEMPER & CHEPIL (61). Esta envolve a separação dos agregados em vários tamanhos, pelo tamizamento das amostras através de um jogo de peneiras adaptado a um dispositivo mecânico que apresenta

um movimento de oscilação vertical (cerca de 30 oscilações por minuto), dentro de um recipiente com água destilada , GROHMANN (46).

Também foi comparado o efeito do pré-tratamento, que consiste no umedecimento lento através da atomização das amostras com água destilada, 24 horas antes do peneiramento.

Desta maneira, obteve-se agregados com os seguintes diâmetros (mm): 7 a 2; 2 a 1; 1 a 0,5; 0,5 a 0,25; 0,25 a 0,105 e < 0,105.

3.4.5. Água para irrigação

As amostras com estrutura deformadas (TFSA), foram saturadas com água destilada durante 24 horas, tomando-se o cuidado de manter o nível da água sobre a placa constante. Após a saturação, as amostras foram submetidas respectivamente às tensões de 0,1 e 15 atm até alcançarem o equilíbrio no extrator de placa porosa e extrator de membrana, seguindo a mesma metodologia adotada por FREIRE & SCARDUA (38).

O motivo pelo qual foi adotado o valor de 0,1 atm de tensão, baseia-se no trabalho desenvolvido por FREIRE (36), que verificou ser esse o parâmetro de laboratório que melhor representou a capacidade de campo do solo em estudo. Dessa forma, a umidade existente entre dois potenciais matriciais foi denominada de "água para irrigação".

3.4.6. Densidade de partículas (Dp).

Foi utilizado o método de picnômetro, segundo BLAKE (16). Tomou-se 3,5 gramas de TFSE, completando o volume do picnômetro com água destilada desaerada.

3.4.7. Análise textural.

Empregou-se o "método da pipeta", preconizado por DAY (25), realizando-se a dispersão da amostra equivalente a 10 g de TFSE em suspensão contendo 50 ml de NaOH 0,1 N, com agitação lenta por 8 (oito) horas, conforme GROHMANN & VAN RAIJ (51).

Para obtenção do tempo de sedimentação da fração argila (partículas com diâmetro menor que 0,002 mm) utilizou-se a Lei de Stokes, enquanto que a fração areia (partículas com diâmetro entre 2 e 0,05 mm) foi separada por peneiragem. A soma destas duas frações (expressas em porcentagem) subtraídas de 100 (cem) deu a % de limo (partículas com diâmetro entre 0,05 e 0,002 mm). Vale ressaltar que somente a fração argila foi comparada estatisticamente.

3.4.8. Argila dispersa em água e índice de floculação (IF).

Para a determinação de argila dispersa em água utilizou-se também o "método da pipeta" já descrito, porém sem adicionar o dispersante químico (50 ml de NaOH 0,1 N).

Uma vez obtidos os dados de argila total (dispersa em NaOH)

1. The purpose of this document is to provide a comprehensive overview of the current state of the project and to identify the key challenges that must be addressed in order to ensure its successful completion.

2. The project has been initiated in response to the need for a more efficient and cost-effective way of handling the large volume of data generated by the system.

3. The initial phase of the project has focused on the collection and analysis of data, and the results of this work have shown that there is a significant potential for improvement in the way that the data is processed.

4. The next phase of the project will be to develop a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will involve the design and development of a new software package.

5. The development of the new system will be a complex task, and it will be necessary to ensure that the system is able to handle the large volume of data in a way that is both efficient and cost-effective.

6. The final phase of the project will be to test the new system and to ensure that it is able to handle the data in a way that is both efficient and cost-effective, and that it is able to meet the requirements of the system.

7. The results of the project will be a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will be a significant improvement on the current system.

8. The project has been initiated in response to the need for a more efficient and cost-effective way of handling the large volume of data generated by the system, and the results of this work have shown that there is a significant potential for improvement in the way that the data is processed.

9. The next phase of the project will be to develop a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will involve the design and development of a new software package.

10. The development of the new system will be a complex task, and it will be necessary to ensure that the system is able to handle the large volume of data in a way that is both efficient and cost-effective.

11. The final phase of the project will be to test the new system and to ensure that it is able to handle the data in a way that is both efficient and cost-effective, and that it is able to meet the requirements of the system.

12. The results of the project will be a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will be a significant improvement on the current system.

13. The project has been initiated in response to the need for a more efficient and cost-effective way of handling the large volume of data generated by the system, and the results of this work have shown that there is a significant potential for improvement in the way that the data is processed.

14. The next phase of the project will be to develop a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will involve the design and development of a new software package.

15. The development of the new system will be a complex task, and it will be necessary to ensure that the system is able to handle the large volume of data in a way that is both efficient and cost-effective.

16. The final phase of the project will be to test the new system and to ensure that it is able to handle the data in a way that is both efficient and cost-effective, and that it is able to meet the requirements of the system.

17. The results of the project will be a new system that will be able to handle the data in a more efficient and cost-effective way, and this will be a significant improvement on the current system.

e de argila dispersa em água, efetuou-se o cálculo do Índice de floculação (IF), através da fórmula :

$$IF\% = \frac{(\% \text{ argila total} - \% \text{ argila dispersa em água}) \cdot 100}{\% \text{ argila total}}$$

3.4.9. Consistência do solo.

Os métodos aqui utilizados na determinação dos estados de consistência e suas fronteiras, ou sejam, os limites de consistência (limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade) são parcialmente citados por TERZAGHI & PECK (111) e descritos com mais detalhes por SOWERS (109) e CAPUTO (21).

O limite de liquidez (LL) foi obtido através do aparelho Casagrande, e corresponde ao teor de umidade, em percentagem de solo seco, no qual duas seções de uma parte de solo apenas se tocam, ao escoarem juntas, quando sujeitas, em uma cápsula, ao impacto de 15 a 35 golpes na parte inferior.

O limite de plasticidade (LP) foi determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar um cilindro de 3 (tres) mm de diâmetro e cerca de 10 cm de comprimento na forma de um anel.

Já o índice de plasticidade (IP) foi conseguido pela diferença entre os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP):

$$IP (\%) = LL - LP$$

3.5. Análises químicas

Os resultados das análises químicas aqui descritas, não foram comparados estatisticamente, e suas determinações tiveram como objetivo a caracterização do solo em estudo e auxiliar na discussão dos resultados.

3.5.1. Óxidos de ferro livre

Seguiu-se a metodologia descrita por JACKSON (56), na qual o teor de óxidos de ferro livre é determinado através da extração pelo citrato-bicarbonato-ditionito de sódio e dosagem pela fotocolorimetria.

3.5.2. Ataque pelo ácido sulfúrico

Feito segundo VETTORI (117), utilizando 50 ml de H_2SO_4 ($d = 1,47$). Foram determinados os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 e P_2O_5 e estabelecidos os valores das relações moleculares SiO_2/Al_2O_3 (Ki), $SiO_2/Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (Kr) e Al_2O_3/Fe_2O_3 .

3.5.3. Carbono orgânico

O método utilizado foi o proposto por Tiurin e modificado por VETTORI (117), oxidando-se a matéria orgânica através do ácido crômico 0,4 N procedendo-se uma titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,05 N.

3.5.4. Reação do solo.

Foram determinados pH em água e pH em KCl 1 N, na proporção solo-água de 1:2,5, segundo VETTORI (117).

3.5.5. Complexo sortivo.

As determinações dos cátions integrantes do complexo sortivo obedeceram à metodologia descrita por VETTORI (117).

3.5.6. Capacidade de troca de cátions (CTC).

Feita pelo método indireto, utilizando-se da acidez total , conforme VETTORI (117).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os seis perfis utilizados nesta pesquisa foram caracterizados morfológica e quimicamente, e seus resultados se encontram nos apêndices I e II, respectivamente. Os teores de areia total, limo e argila estão representados no apêndice III. Os resumos das análises de variância se encontram no apêndice IV. Os quadros de médias das características e propriedades físicas estudadas e comparadas estatisticamente, são apresentados no decorrer deste ítem.

4.1. Estrutura do solo

A discussão dos resultados das análises físicas que permitiram avaliar indiretamente o efeito do cultivo na estrutura do solo, foi realizada de maneira semelhante à revisão de literatura. Dessa forma, os parâmetros densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, estabilidade dos agregados e água para irrigação se apresentarão em separados. Óbvio que, quando necessário, resultados de dois ou mais parâmetros foram discutidos simultâneamen-

te.

4.1.1. Densidade do solo.

Os resultados encontrados para a densidade do solo mostram perfeitamente o efeito do cultivo-aração, gradagem, tráfego de máquinas, alterando esta propriedade física, cujas diferenças foram medidas estatisticamente (quadro 1-apêndice IV). Desde os valores encontrados para a densidade do solo, como o comportamento apresentado, considerando as particularidades de coleta das amostras, estão refletindo os resultados de diversos pesquisadores (2, 4, 19, 42, 60, 69, 74, 108).

A média do perfil do solo cultivado diferiu de maneira altamente significativa da média do solo sob mata, cujos valores são 1,07 e 0,98 g/cm³ respectivamente (quadro 1). Quando se fixa os horizontes e varia as coberturas constata-se que a densidade do solo cultivado foi sempre maior estatisticamente que a de mata em todos os casos, com exceção dos horizontes superficiais Ap x A₁₁, apesar de o ser em valor absoluto. A recente mobilização do solo explica este fato, uma vez que as amostras foram coletadas pouco tempo depois do solo ter sido arado e gradeado, concordando com BHUSHAN et alii (14) e MALLICK & NAGARAJARAO (75). A tendência de aumentar os valores no Ap vem colaborada pela predominância de agregados pequenos a muito pequenos, o que reflete a baixa agregação, provavelmente pelo desgaste da matéria orgânica (quadros 8, 9 e 10 - apêndice II). Isso favorece a ação da água conforme descreve CORSINI (22), somado à partici

pação das partículas dispersas em água (quadro 12), permitindo a ocorrência destas modificações, também previstas por BAVER et alii (11). Deve-se ressaltar o efeito compressivo das máquinas agrícolas, conforme demonstraram DICKERSON (28) e VOORHES et alii (120).

Por outro lado, no horizonte A₁₂ se verifica a maior diferença na densidade entre o solo cultivado e o de mata. A densidade (1,19 g/cm³) na área cultivada foi a mais elevada entre as coberturas e horizontes estudados, concordando em todos os sentidos com os resultados obtidos por KASHIRAD et alii (60) e SOUZA e COGO (108).

QUADRO 1 - Valores de densidade do solo (Ds) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)*.

Horizontes	Prof. Média	Ds ⁽¹⁾	
		Cultivado	Mata
	-cm-	g.cm ³	
Ap/A ₁₁	0 - 21	0,98 a	0,93
A ₁₂	21 - 48	1,19 c	0,99
A ₃	48 - 103	1,05 ab	0,98
B ₁	103 - 130	1,05 ab	0,97
B ₂₁	130 - 173	1,06 ab	0,98
B ₂₂	173 - 223	1,08 b	0,99
B ₂₃	223 ⁺	1,12 bc	1,00
Médias		1,07 α	0,98 β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tuckey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 0,06 g.cm⁻³

Este aumento decorre da compactação exercida pelos implementos agrícolas. Esta camada compactada, também conhecida como "piso de arado", GAVANDE (40), ou outros sinônimos, DONAHUE (28), LYON et alii (73) e MOSIER & GUSTAFSON (82), resulta principalmente, como o próprio nome indica, da aração do solo. Essa afirmação é ainda mais verdadeira, quando a profundidade de aração for constante, BAVER et alii (11), e quando o solo nessa profundidade estiver com umidade excessiva, NICHOLS (84). No entanto, pode-se prevenir ou mesmo corrigir tais situações, realizando arações à profundidades variáveis, segundo MOSIER & GUSTAFSON (82) e LYON et alii (73), e realizando práticas de subsolagem, conforme OLIVEIRA (89).

As diferenças observadas nos horizontes de subsuperfície, a partir do A₃ (48 cm de profundidade), parecem ser mais de origem pedogenética do que devido ao cultivo propriamente dito. Essa afirmação é fortalecida pelos resultados de VOORHEES et alii (120), os quais constataram que o deslocamento de máquinas agrícolas afetou a densidade do solo até uma profundidade de 45 cm, enquanto que OLIVEIRA (91) encontrou efeito até 34 cm. Observa-se que o efeito em profundidade é variável, concorrendo para isso, possivelmente, o tipo de implemento agrícola utilizado, umidade do solo e estrutura.

Como já foi mencionado, diversos pesquisadores (50, 71, 83, 95, 107, 110) afirmam existir uma associação inversa entre a produção de plantas e densidade do solo. Assim, é necessário recorrer às medidas corretivas e preventivas para manter a densidade dentro da exigência da cultura. Para o caso do "plow-sole" isso já foi discutido, enquanto que na superfície, a adição de matéria orgânica é uma solução (18, 24, 64, 79, 81, 113), embora, segundo WORTHEN et alii (126), ra

ramente exista um sistema prático para se aumentar o teor de matéria orgânica no solo. De qualquer modo, conforme BUCKMAN & BRADY (19), a redução na densidade decorre do efeito agregante da matéria orgânica.

A visualização gráfica dos resultados (figura 2), mostra que tanto no solo cultivado como no solo sob mata, a densidade do solo tende a aumentar a medida que se penetra no perfil. Tal fato se deve, segundo BRADY (18), à menor quantidade de matéria orgânica, menor agregação e penetração das raízes e devido à compactação provocada pelo peso das camadas subjacentes.

4.1.2. Porosidade total, macroporosidade e microporosidade

Os quadrados médios (quadro 2 - apêndice IV) para porosidade total, macro e microporosidade, evidenciam modificações no espaço poroso provocadas pelo cultivo intenso deste solo.

A média da porosidade total (quadro 2) no perfil do solo sob mata foi de 65,87% contra 62,93% no perfil do solo cultivado. Observa-se que dentro da profundidade onde ocorreu maior ação do cultivo (até 48 cm), o horizonte A₁₂ do solo cultivado foi o que mais contribuiu na redução dessa média, sendo que a porosidade total do mesmo é a mais baixa de todos os perfis e horizontes estudados. Embora muitas vezes a porosidade total por si só não caracterize uma compactação, conforme afirma OLIVEIRA (89), pode-se dizer que neste estudo ela deixa evidente que tal fato ocorreu no horizonte A₁₂ do solo cultivado, confirmando os resultados de LOW (69), e que esta

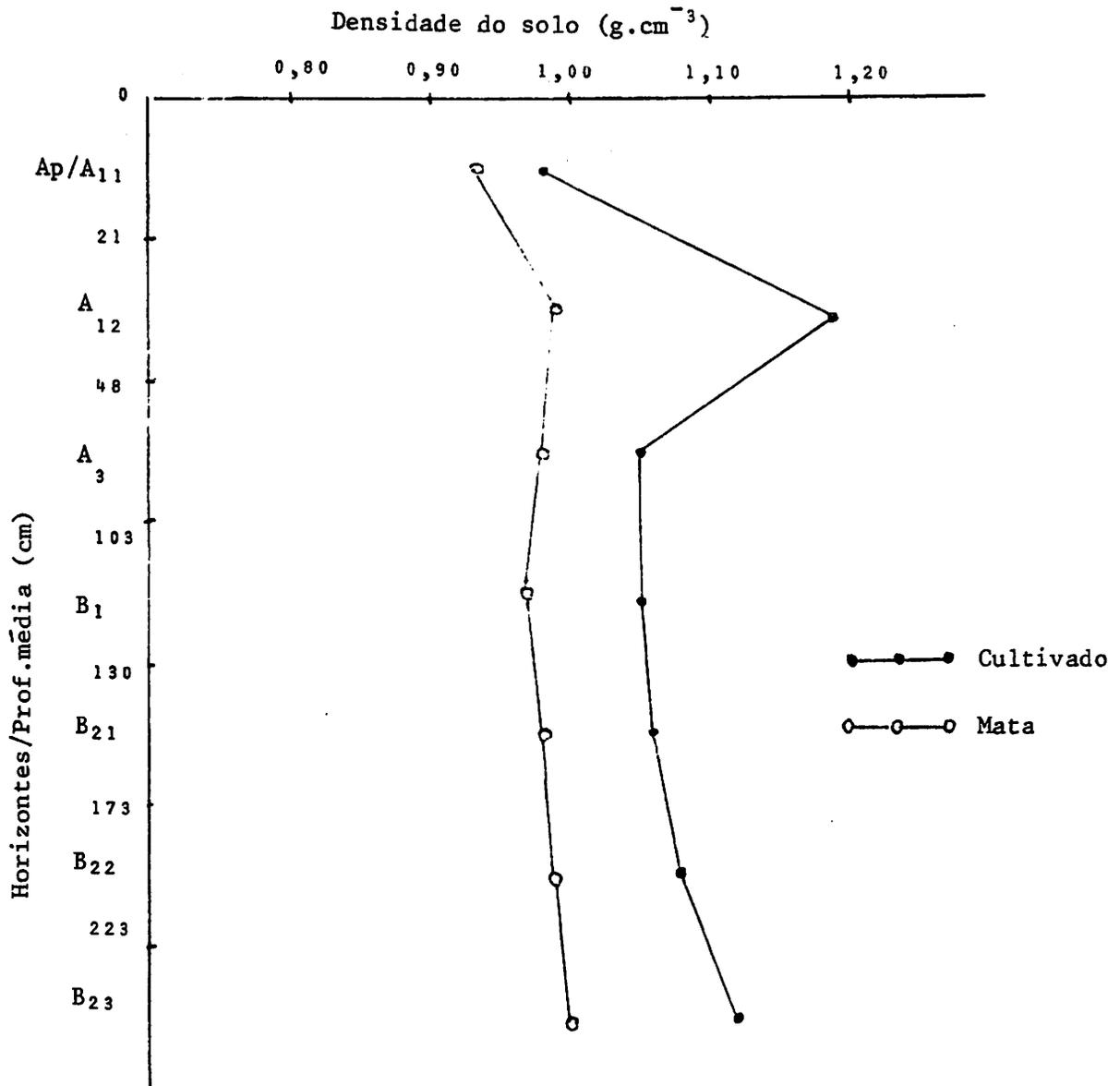


FIGURA 2 - Variação na densidade do solo nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata.

QUADRO 2 - Valores da porosidade total, macroporosidade e microporosidade obtidas em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata).*

Horizonte	Prof. Média -cm-	Porosidade total (1)		Macroporosidade (2)		Microporosidade (3)	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
		%					
Ap/A ₁₁	0 - 21	65,81 a	65,95	31,47 a	34,20	34,34 b	31,76 b
A ₁₂	21 - 48	59,09 c	65,36	18,23 c	32,47	40,86 a	32,89 ab
A ₃	48 - 103	64,01 ab	65,62	25,34 ab	32,06	38,67 a	33,56 ab
B ₁	103 - 130	63,86 ab	66,43	25,83 ab	32,13	38,03 a	34,30 ab
B ₂₁	130-173	63,61 ab	66,30	25,45 ab	30,92	38,16 a	35,38 a
B ₂₂	173-223	62,74 ab	66,02	24,84 b	30,17	37,91 a	35,85 a
B ₂₃	223 ⁺	61,37 bc	65,40	23,76 bc	30,21	37,59 ab	35,19 a
Médias		62,93 α	65,87 β	24,99 α	31,74 β	37,94 α	34,13 β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%)

- (1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 2,16%
- (2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 4,09%
- (3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 2,18%

redução foi devido à ação do cultivo. Tal afirmação não pode ser feita em relação às diferenças detectadas entre o solo cultivado e o de mata nos horizontes A_3 , B_1 , B_{21} , B_{22} e B_{23} , onde a gênese do solo provávelmente contribuiu neste sentido. A figura 3 esclarece essas relações, quando se verifica que o comportamento da porosidade total do solo cultivado é bastante semelhante ao do solo sob mata nos horizontes acima mencionados.

As variações na porosidade total acompanharam de perto as variações na densidade do solo, embora de maneira oposta, concordando com KIEHL (62). Assim o horizonte A_{12} do solo cultivado apresentou a maior densidade e a menor porosidade total nos perfis em estudo. Comparando o horizonte A_p com o A_{11} , observa-se que não existiu diferença significativa entre as médias, uma vez que o solo tinha sido recentemente trabalhado. A porosidade total do solo logo após seu cultivo pode, inclusive, superar a de um solo virgem, conforme demonstraram SOUZA & COGO (108) e BOUMA & HOLE (17), embora depois, segundo BHUSHAN et alii (14), ela reduz seu valor. Ainda nesses horizontes, o cultivo diminuiu a macroporosidade de 2,73% e aumentou a micro de 2,58%, confirmando a proporcionalidade obtida por BUCKMAN & BRADY (19) e CORSINI (22), e enfatizando que a porosidade total nem sempre serve para indicar mudanças estruturais na camada superficial. Daí a necessidade de se determinar a distribuição dos poros por tamanho salientado por VOMOCIL (119).

Uma análise da figura 3 deixa claro que as alterações na estrutura do solo induzidas pelo cultivo foram mais intensas no horizonte A_{12} , o que coincide com os resultados de KASHIRAD et alii

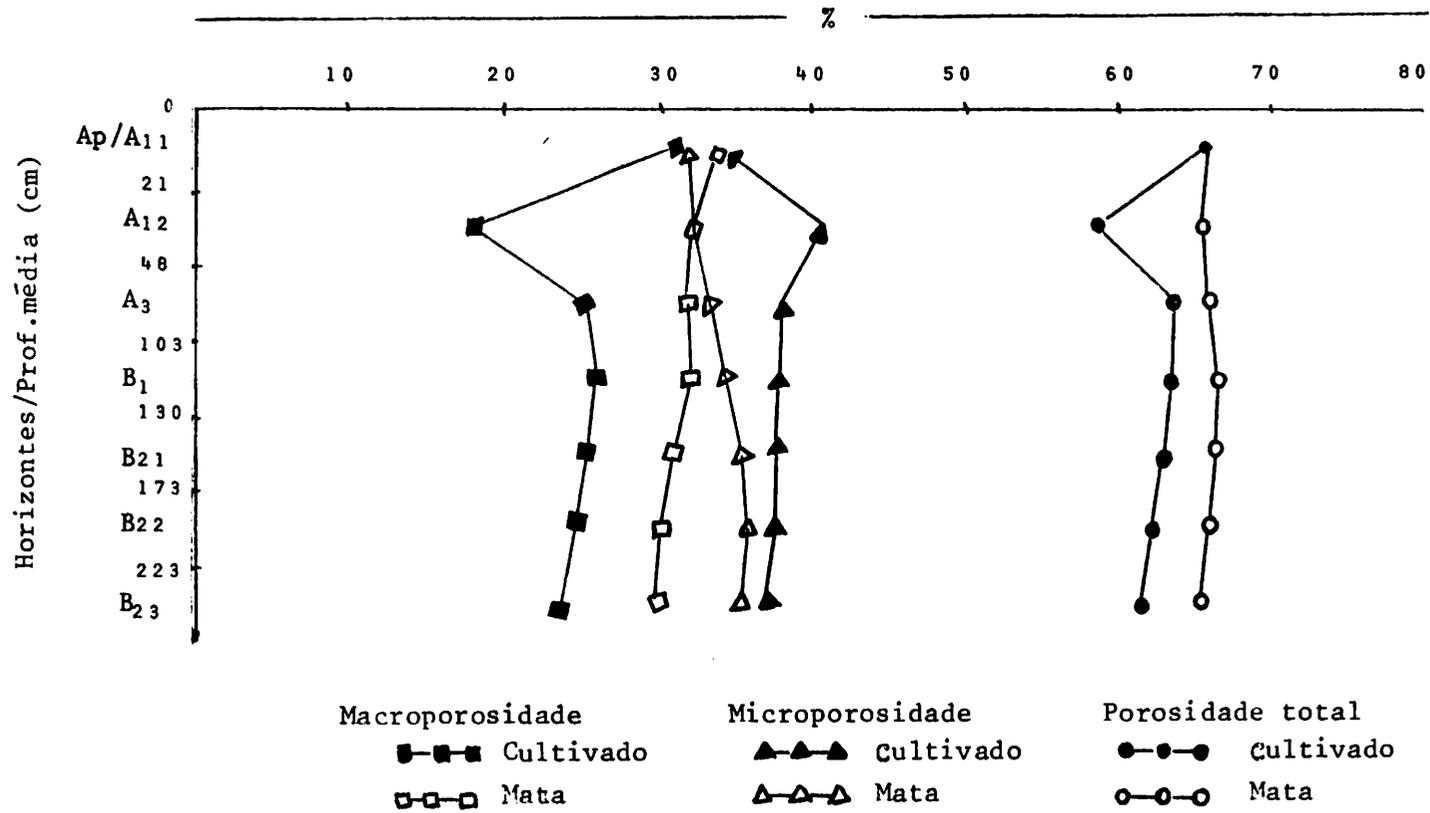


FIGURA 3 - Comportamento da porosidade total, macroporosidade e microporosidade, nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata.

(60) e SOUZA & COGO (108). Nesse caso, a redução na macroporosidade foi maior do que a elevação na microporosidade, sendo de 44% e 24 % respectivamente, o que ocasionou a diminuição da porosidade total (11%), concordando com os resultados de OLIVEIRA (91). O efeito destacado da macroporosidade devido ao cultivo foi comprovado por diversos pesquisadores (1, 10, 19, 43, 48, 63, 64, 67), o que, juntamente com as alterações na microporosidade e porosidade total, pode acarretar problemas ao crescimento das plantas em função das mudanças produzidas nas condições ambientais citadas por SCARDUA (102).

A diminuição nos espaços entre-agregados, causada pelo "achamento" dos agregados um contra os outros devido à compressão, será maior se o solo estiver com umidade acima do seu limite plástico, DAY & HOLMGREN (26). Esses fatos permitem dizer que as unidades estruturais do horizonte A₁₂ do solo cultivado estão arranjadas de forma mais "cerrada", aumentando assim a porcentagem de poros com diâmetro igual ou menor que 0,05 mm. Isso, segundo HILLEL (55), se deve à redução dos poros de grande tamanho.

A figura 3 demonstra claramente que a macroporosidade e microporosidade do solo sob mata se comportam de maneira inversa dentro do perfil. A primeira é mais elevada na superfície, tendendo a reduzir a medida que se penetra no perfil, acontecendo o contrário com a microporosidade. Isto se deve basicamente à maior quantidade de matéria orgânica e atividade biológica existente na superfície, que levam a um maior estado de agregação. Esta agregação normalmente aumenta o volume de macroporos e reduz a microporosidade, conforme ALLISON (3). Como a agregação na subsuperfície é menor e a

porosidade total permanece mais ou menos constante, a microporosidade tende a aumentar em relação à macroporosidade.

Verifica-se que praticamente todos os horizontes de subsuperfície, inclusive o A₃, foram significativamente diferentes, quando se compara os resultados entre as duas coberturas (quadro 2). Essas diferenças, de modo análogo ao que ocorreu com a densidade do solo, são provavelmente devidas em maior grau pela gênese dos mesmos do que pelo cultivo em si. Tal afirmação é extensiva aos três parâmetros físicos observados na figura 3. Uma análise do comportamento das distintas propriedades físicas demonstra que a partir do horizonte A₃, as curvas do solo cultivado e do solo sob mata apresentam a mesma forma, o que dá maior consistência ao que foi anteriormente discutido, ou seja, que as diferenças são mais de natureza pedogenética. Além disso, trabalhos desenvolvidos por GANTZER & BLAKE (39) e GOOLERHAM (43) indicaram alterações estruturais induzidas pelo cultivo até uma profundidade de 30 a 35 cm. VIEIRA & KEMPER (118) verificaram que a compactação e as modificações na distribuição do tamanho de poros devido ao cultivo intenso, estavam ocorrendo em uma profundidade em torno dos 25 cm. Esses autores chamaram a atenção para o fato de que a subsolagem estava sendo feita a maiores profundidades, não só comprometendo as propriedades físicas do solo onde elas estavam intactas como também aumentando os custos de produção. Observa-se contudo, que as profundidades que mostram as modificações pelo cultivo são variáveis entre os trabalhos, evidenciando diferenças de unidades de solo, implementos, tratores e profundidade de aração.

Desse modo, práticas corretivas se tornam necessárias para aumentar a produtividade dos solos. Lembrando-se do problema levantado por VIEIRA & KEMPER (118), a subsolagem é uma maneira. A adição de matéria orgânica, que também é uma prática preventiva, favorece a recuperação estrutural do solo através do seu efeito na agregação, já que essa, segundo ALLISON (3) e BAVER et alii (11), resulta no aumento da macroporosidade e diminuição da microporosidade. BAVER & FARNSWORTH (10) não só confirmam tais resultados, como também afirmam que a adição de matéria orgânica conserva a estrutura em boas condições para o desenvolvimento das plantas durante toda sua fase de crescimento.

4.1.3. Estabilidade de agregados

4.1.3.1. Estabilidade de agregados, sem pré-tratamento das amostras.

A média dos perfis do solo cultivado foi, em quase todas as frações estudadas, significativamente diferente da média dos perfis do solo sob mata, com exceção da fração $< 0,105$ mm (quadros 3 e 4 - apêndice IV). As diferenças entre os perfis cultivados e mata foram influenciadas principalmente pelos resultados obtidos nos horizontes A_p/A_{11} (quadros 3 e 4).

Na fração 7 - 2 mm, a menor porcentagem de agregados estáveis se verificou no horizonte A_p , enquanto que a maior se encontra no horizonte A_{11} , sendo 75,59 e 97,69% respectivamente. Essa diferença resultou na elevação das quantidades de agregados nas frações menores em favor do solo cultivado, notadamente nas frações de 2 - 1 mm e 1 - 0,5 mm.

QUADRO 3 - Agregados estáveis em água nas frações de 7 a 2, 2 a 1 e 1 a 0,5 mm, sem pré-tratamento, obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata).*

Horizontes	Prof. Média	Amplitude dos agregados (mm)					
		7 - 2 ⁽¹⁾		2 - 1 ⁽²⁾		1 - 0,5 ⁽³⁾	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
	-cm-	%					
Ap/A ₁₁	0 - 21	75,59 a	97,69	6,22 ab	0,07	7,31 a	0,09 a
A ₁₂	21 - 48	87,33 ab	94,31	5,13 ab	1,36	3,52 ab	0,87 ab
A ₃	48 - 103	81,73 ab	90,43	6,19 ab	2,98	4,93 ab	2,06 ab
B ₁	103 - 130	79,11 ab	82,55	8,22 a	4,84	5,54 ab	4,61 ab
B ₂₁	130 - 173	85,78 ab	80,70	5,01 ab	5,09	3,26 ab	5,01 b
B ₂₂	173 - 223	87,12 ab	89,67	4,12 ab	2,81	2,94 ab	2,21 ab
B ₂₃	223 ⁺	92,23 b	90,77	1,97 b	2,48	1,49 b	2,04 ab
Médias		84,14 α	89,44 β	5,27 α	2,80 β	4,14 α	2,41 β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

- (1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 10,08%
 (2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 3,52%
 (3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 2,98%

QUADRO 4 - Agregados estáveis em água nas frações de 0,5 a 0,25; 0,25 a 0,105 e < 0,105 mm sem pré-tratamento, obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRD a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata).*

Horizontes	Prof. Médias	Amplitude dos agregados (mm)					
		0,5 - 0,25 ⁽¹⁾		0,25 - 0,125 ⁽²⁾		< 0,105 ⁽³⁾	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
	-cm-	%					
Ap/A ₁₁	0 - 21	4,69 a	0,07 a	2,97	0,06 a	3,22	2,02
A ₁₂	21 - 48	1,50 ab	0,54 ab	1,16	0,33 ab	1,36	2,59
A ₃	48 -103	3,04 ab	1,38 abc	1,98	0,86 abc	2,13	2,29
B ₁	103 -130	3,10 ab	3,39 bc	2,67	2,24 bc	1,36	2,37
B ₂₁	130 -173	2,06 ab	3,83 c	1,80	2,35 c	2,09	3,02
B ₂₂	173 -223	2,55 ab	1,80 abc	2,04	1,49 abc	1,23	2,02
B ₂₃	223 ⁺	1,35 b	1,60 abc	1,37	1,37 abc	1,59	1,74
Médias		2,61 α	1,80 β	2,00 α	1,24 β	1,85	2,29

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (5%)

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 2,10%

(2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,24%

(3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,88%

Os resultados indicaram que somente nos horizontes superficiais existem diferenças significativas entre o solo cultivado e o de mata. Isto se deve às condições naturais em que se encontram os horizontes superficiais do solo de mata, uma vez que a agregação nessas camadas é predominantemente uma função da produção biológica e decomposição dos materiais cimentantes do solo, conforme vários pesquisadores (28, 30, 53, 64, 77, 81, 96, 113). A matéria orgânica e a atividade microbiana devem ser considerados simultaneamente no processo de agregação do solo, uma vez que a decomposição da mesma depende da presença de microorganismos, além do fato destes terem efeito direto na agregação, tanto pelas secreções de substâncias pegajosas que não são solúveis em água, DONAHUE (28) como pela ação física dos seus filamentos, MARTIN (77). Este fato já era constatado em 1938 por biólogos americanos, os quais verificaram que os fungos, quando em atividade, emitem micélios que enovelam as partículas, promovendo o estado granulométrico desejado e que, semelhantemente, as bactérias concorriam para o mesmo fim, excretando substâncias gomosas também de efeito aglutinante.

A adsorção de materiais húmicos, por sua vez, se dá predominantemente através de ligações iônicas envolvendo cátions polivalentes ou óxidos como intermediários entre o material húmico e a partícula de argila, segundo ALLISON (3) e também evidenciado por outros autores (11, 19, 72). Esse fato deve concorrer bastante na agregação existente nos horizontes superficiais do solo sob mata, uma vez que os mesmos possuem alta quantidade de alumínio trocável e óxidos de ferro livre, conforme mostram os quadros 4, 5, 6 e 7 do apêndice II.

Já no horizonte Ap do solo cultivado, dois fatores devem contribuir de maneira marcante na redução da estabilidade dos agregados. O primeiro seria a diminuição em 48,40% no teor de matéria orgânica induzida pelo cultivo, enquanto que o segundo seria a ação física dos implementos agrícolas sobre as unidades estruturais do solo, sendo que a intensidade desse processo está diretamente ligada à umidade do solo. Quando este é trabalhado com um teor de umidade adequado, é possível ocorrer a formação de agregados, embora estes se fragmentem sob chuva intensa, conforme WORTHEN et alii (126) ao passo que em um solo lavrado quando muito seco, as partículas desunidas não voltarão a se aglutinar, segundo GAVANDE (40). Observa-se pois, a necessidade de se seguir as recomendações de ALDERFER & MERKLE (2) e repor a matéria orgânica oxidada pela adição de esterco, adubação verde e utilização de culturas com bom enraizamento, o que já foi provado por alguns pesquisadores (37, 114, 121, 122) influir no estado de agregação do solo.

A maior perda da agregação encontrada na camada superficial da área cultivada em relação à mata (quadros 3 e 4) evidenciou o mesmo comportamento encontrado em vários trabalhos (2, 4, 13, 44, 49, 67, 91, 92, 97, 106). A comparação dos resultados aqui obtidos com os de OLIVEIRA (91), que trabalhou com Podzólico Vermelho Amarelo, permitem evidenciar uma maior agregação no Latossolo Roxo Distrófico. Em função da maior agregação, deve-se esperar também a manutenção dos agregados em tamanhos maiores que 1 mm, garantindo assim o tamanho dentro da faixa favorável para o melhor desenvolvimento das plantas, conforme RUSSELL & RUSSELL (100).

A afirmação de HARRIS et alii (53) de que os óxidos de ferro e manganês são os mais importantes agentes envolvidos na estabilização dos agregados subsuperficiais nos solos latossólicos, e que a matéria orgânica é predominantemente responsável pela estabilização dos agregados de superfície, parece ser aqui comprovada. Essa comprovação deve-se ao fato de não ter sido detectada diferenças significativas entre o solo cultivado e o de mata, a partir do horizonte A₃. A partir daí a matéria orgânica reduziu seu efeito, passando os óxidos presentes a comandar a agregação, e como estes não diferem em grande extensão de uma cobertura para a outra, a estabilidade dos agregados também foi semelhante estatisticamente.

4.1.3.2. Estabilidade dos agregados, com pré-tratamento das amostras.

O pré-tratamento das amostras contribuiu para a redução das diferenças entre as médias dos perfis do solo cultivado e do solo de mata, visto que não houve diferença significativa entre as referidas médias em quase todas as frações estudadas, conforme está demonstrado nos quadros 5 e 6 do apêndice IV. A única fração que mostrou diferença significativa foi a de 1-0,5 mm.

Todavia, os quadros de médias (quadros 5 e 6) indicam que nos horizontes Ap e A₁₁ do solo cultivado e de mata respectivamente, houve diferença estatística entre as médias em todas as frações. À semelhança do que ocorreu na análise de estabilidade de agregados, sem pré-tratamento, a maior quebra das unidades estruturais de diâmetro de 7-2 mm do solo cultivado, resultou no aumento de agregados

QUADRO 5 - Agregados estáveis em água nas frações de 7 a 2; 2 a 1 e 1 a 0,5 mm, com pré-tratamento, obtidas em amostras de horizontes dos perfis de I.Rd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata).*

Horizontes	Prof. Média	Amplitude dos Agregados (mm)					
		7 - 2 (1)		2 - 1 (2)		1 - 0,5 (3)	
		Mata cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
Ap/ A ₁₁	0 - 21	84,54 a	99,07	1,95	0,06	2,37 a	0,05
A ₁₂	21 - 48	95,92 b	98,07	1,17	0,13	0,77 b	0,17
A ₃	48 - 103	97,58 b	95,61	0,34	0,68	0,27 b	0,59
B ₁	103 - 130	95,51 b	95,67	0,85	0,69	0,66 b	0,63
B ₂₁	130 - 173	97,38 b	95,29	0,51	0,79	0,41 b	0,67
B ₂₂	173 - 223	94,77 ab	96,21	0,80	0,41	0,75 b	0,37
B ₂₃	223 ⁺	96,95 b	96,39	0,50	0,79	0,45 b	0,44
Médias		95,38	96,62	0,87	0,51	0,81 α	0,42β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (5%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 3,63%

(2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,04%

(3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 0,94%

QUADRO 6 - Agregados estáveis em água nas frações de 0,5 a 0,25; 0,25 a 0,105 e < 0,105 mm , com pré-tratamento, obtidas em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)*.

Horizontes	Prof. Média	Amplitude dos Agregados (mm)					
		0,5 - 0,25 ⁽¹⁾		0,25 - 0,105 ⁽²⁾		< 0,105 ⁽³⁾	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
	-cm-	%					
Ap/A ₁₁	0 - 21	1,88 a	0,07	1,51 a	0,09	2,75	0,66
A ₁₂	21 - 48	0,46 b	0,13	0,31 b	0,15	1,37	1,35
A ₃	48 -103	0,23 b	0,84	0,19 b	0,69	1,39	1,59
B ₁	103 -130	0,43 b	0,84	0,36 b	0,75	2,19	1,42
B ₂₁	130 -173	0,37 b	0,87	0,30 b	0,72	1,03	1,66
B ₂₂	173 -223	0,62 ab	0,52	0,47 b	0,56	2,59	1,93
B ₂₃	223 ⁺	0,36 b	0,48	0,31 b	0,52	1,43	1,38
Médias		0,62	0,53	0,49	0,50	1,82	1,43

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 0,82%.

(2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 0,64%.

(3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,47%.

nas frações inferiores, principalmente nos agregados com diâmetro de 1-0,5 mm.

De um modo geral, embora o pré-tratamento das amostras tenha reduzido as diferenças entre as médias das distintas coberturas e respectivos horizontes, (quadros 5, 6, 3 e 4) , constata-se que o solo cultivado permaneceu ainda com menor estabilidade estrutural do que o solo de mata. Esses resultados mostram que o efeito do umedecimento prévio da amostra na redução das diferenças mencionadas, suas causas e o aumento da estabilidade dos agregados, foram semelhantes aos encontrados por GROHMANN (44) e OLIVEIRA (91).

4.1.3.3. Efeito do pré-tratamento sobre a estabilidade dos agregados.

A análise de variância contida no quadro 7 do apêndice IV , e as médias apresentadas no quadro 7, demonstram que tanto no perfil do solo cultivado como no solo sob mata, o pré-tratamento teve a propriedade de elevar significativamente a estabilidade dos agregados. Essa elevação foi em torno de 13,35% no solo cultivado e de 8,02% no solo sob mata, quando se considera as médias dos perfis . Nesse caso, foi utilizado as porcentagem de agregados na fração de 7-2 mm como um índice de agregação, conforme GROHMANN (44), para representar a estabilidade de agregados.

Quando se compara o efeito do pré-tratamento dentro do mesmo horizonte, no solo cultivado, constata-se que este aumentou as médias em todos os horizontes, com diferença significativa em Ap ,

QUADRO 7 - Efeito do pré-tratamento em amostras de horizontes dos perfis de LRd, na estabilidade dos agregados, no solo cultivado e no solo sob mata.*

Horizontes	Prof.Média -cm-	Agregados 7 - 2 mm			
		Cultivado ⁽¹⁾		Mata ⁽²⁾	
		Sem pré-tratamento	Com pré-tratamento	Sem pré-tratamento	Com pré-tratamento
				%	
Ap/A ₁₁	0 - 21	75,59 a	89,54	97,69 a	99,07
A ₁₂	21 - 48	87,33 ab	95,92	94,31 a	98,07
A ₃	48 - 103	81,73 ab	97,58	90,43 ab	95,61
B ₁	103 - 130	79,11 ab	95,51	82,55 bc	95,67
B ₂₁	130 - 173	85,78 ab	97,38	80,70 c	95,29
B ₂₂	173 - 223	87,12 ab	94,77	89,67 abc	96,21
B ₂₃	223 ⁺	92,23 b	96,95	90,77 ab	96,39
Médias		84,14 α	95,38 β	89,44 α	96,62 β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

(1) DMS (5%) entre tratamentos no mesmo horizonte de 9,14%

(2) DMS (5%) entre tratamentos no mesmo horizonte de 5,39%

A₃, B₁ e B₂₁. O mesmo aconteceu no solo sob mata, embora as diferenças tenham sido mais pronunciadas nos horizontes subsuperficiais. Diferenças estatísticas, inclusive, foram obtidas nos horizontes B₁, B₂₁, B₂₂ e B₂₃. As figuras 4 e 5 auxiliam na compreensão dos resultados obtidos.

A redução na destruição dos agregados devido o pré-tratamento foi também constatada por OLIVEIRA (91) e GROHMANN (44). O rompimento ou fraturas exibidas pelas unidades estruturais quando estas são submetidas ao umedecimento rápido, envolvem dois processos básicos, segundo BAVER et alii (11). O primeiro seria que a rápida absorção de água resultaria em expansão desuniforme no interior do agregado, produzindo as fraturas ao longo dos planos de clivagem. Já o segundo processo está relacionado à compressão do ar existente no interior do agregado, uma vez que a água penetrando rapidamente, "encurrala" o ar contido nos capilares e, conforme a pressão do mesmo exceda a coesão das partículas, ocorre a quebra do agregado. Deve-se ressaltar que quanto mais rápido a água penetra nos agregados, maior será a força de rompimento exercida pelo ar aprisionado e pela expansão desigual dos constituintes dos agregados, conforme HARRIS et alii (53). Obviamente o tipo de solo e a natureza dos minerais de argila presente, determinarão qual dos dois processos acima mencionados atuarão com maior intensidade na destruição dos agregados. Possivelmente, o segundo processo seria mais importante em solos que não possuem argilas expansivas do tipo 2:1, como é o caso do solo utilizado nesta pesquisa.

Observa-se que no solo sob mata, o pré-tratamento não afe -

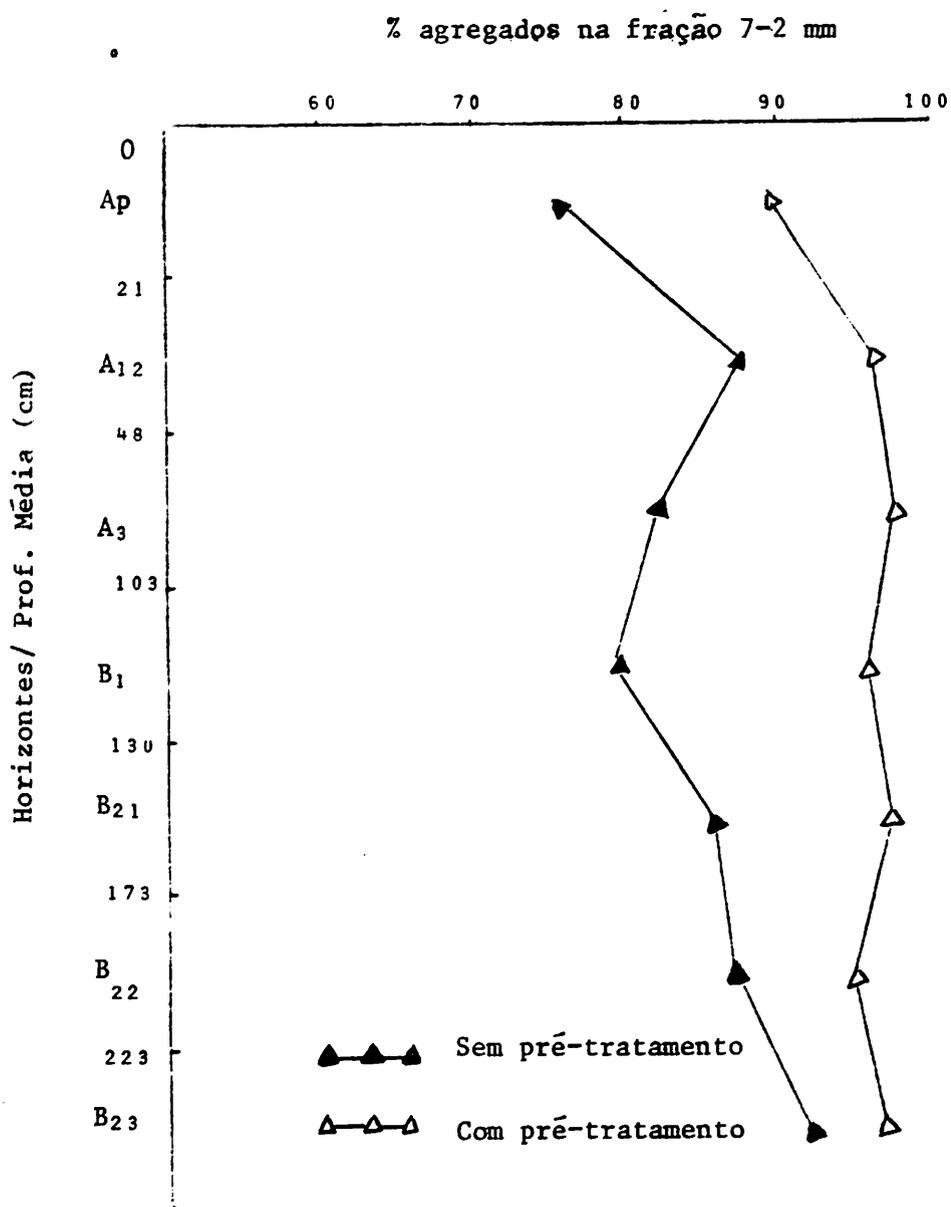


FIGURA 4 - Efeito do pré-tratamento na estabilidade de agregados na fração de 7-2 mm, em amostras dos horizontes dos perfis de LRd cultivado.

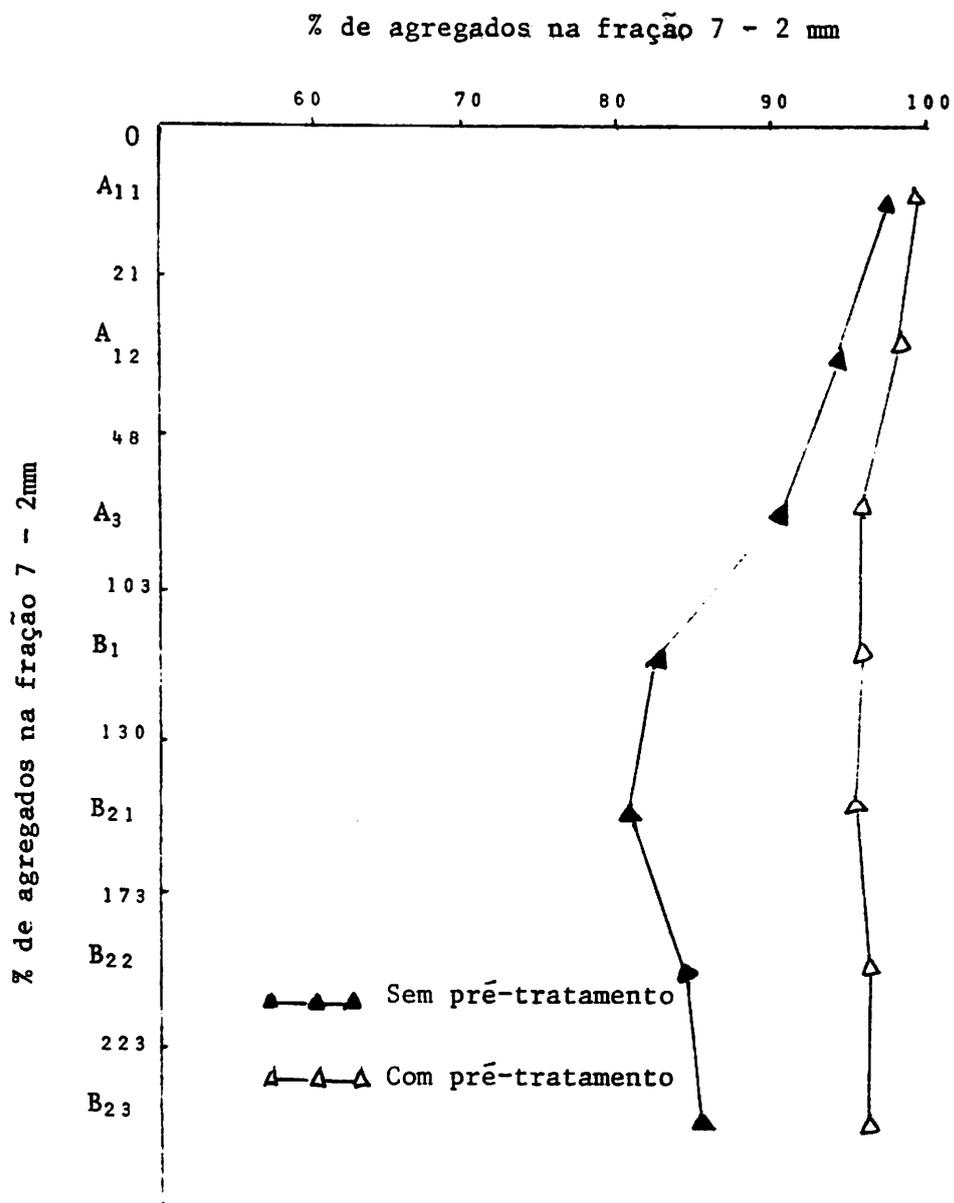


FIGURA 5 - Efeito do pré-tratamento na estabilidade de agregados na fração de 7-2 mm, em amostras dos horizontes dos perfis de LRd sob mata.

tou significativamente a estabilidade dos agregados nos horizontes A_{11} , A_{12} e A_3 , quase inexistindo diferença no A_{11} . Como já foi comentado, a quebra dos agregados ocorre quando a pressão do ar aprisionado excede a coesão das partículas. Como a matéria orgânica aumenta a coesão das partículas, segundo PANABOKKE & QUIRK (93), pode-se supor que este agente está sendo responsável pela igualdade estatística entre as médias nos referidos horizontes. A pouca diferença entre as médias no horizonte A_{11} , indica que o aumento na estabilidade provocada pela maior atividade microbiológica devido à presença de água (pré-tratamento), conforme postula Evans, citado por HARRIS et alii (53), foi insignificante.

4.1.4. Água para irrigação (A.I.)

O perfil do solo cultivado apresentou maior capacidade de retenção de água entre as tensões de 0,1 e 15 atm do que o perfil do solo sob mata. Esses resultados se encontram no quadro 8, sendo que as médias foram de 9,41 e 8,31% para o solo cultivado e de mata, respectivamente, obtendo-se uma diferença significativa ao nível de 5% (quadro 1 - apêndice IV).

Embora as médias dos perfis do solo cultivado e de mata tenham diferido significativamente, concordando com SILVA et alii (106), observa-se que o mesmo não ocorreu na interação coberturas x horizontes, como também determinou ANDERSON & BROWNING (4). Mesmo assim, as diferenças existentes entre as coberturas nos horizontes superiores (até o B_1), mostraram ser as principais causas afetando as médias dos perfis. Analisando os valores de água retida à 0,1 e 15 atm

QUADRO 8 - Valores de água para irrigação (A.I.) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)*.

Horizontes	Prof. Média -cm-	A.I.	
		Cultivado	Mata
Ap/A ₁₁	0 - 21	9,92	9,02
A ₁₂	21 - 48	9,16	7,39
A ₃	48 -103	10,12	7,94
B ₁	103 -130	9,91	7,59
B ₂₁	130 -173	9,45	8,26
B ₂₂	173 -223	8,59	9,80
B ₂₃	223 ⁺	8,73	8,20
Médias		9,41 α	8,31 β

* α e β mostram diferenças pelo teste F (5%).

constata-se que o solo cultivado superou o de mata nas duas tensões, sendo a 0,1 atm de 35,67% e 33,37%, respectivamente, e a 15 atm de 26,26% e 25,06%, respectivamente. A maior diferença existente a altas tensões (0,1 atm) reflete a observação de Hillél, citada por FREIRE & SCARDUA (38), de que a retenção de água em altas tensões depende principalmente do efeito de capilaridade e distribuição do tamanho de poros, enquanto que a baixas tensões, a capacidade de adsorção do solo é a principal responsável pela retenção, sendo influenciada pela textura e superfície específica. Nesse caso a textura se apresenta bem semelhante (quadros 1, 2, 3, 4, 5 e 6 - apêndice III).

Os resultados apresentados concordam com o que foi exposto por ALLISON (3) e MARCOS (76), onde a matéria orgânica em solos argilosos, tende a reduzir o teor de água disponível em favor da porosidade de aeração. A mesma teoria foi utilizada por FREIRE & SCARDUA (38), para explicar a maior retenção de água em amostras oxidadas em relação a amostras originais do horizonte B₂₂ de um Latossolo Roxo Distrófico. Nesse caso, solos com menor teor de matéria orgânica, como é o caso do solo cultivado (quadros 8, 9, 10, 11, 12 e 13 - apêndice II), tem seus agregados mais facilmente destruídos e com seus diâmetros reduzidos, alterando a distribuição do tamanho de poros e o efeito da capilaridade.

Como se observa, a estrutura do solo é o fator fundamental, afetando as características de retenção nas duas coberturas. Isso permite dizer que a metodologia empregada utilizando-se amostras passadas através de peneira de 2 mm, que resulta não somente na modificação da estrutura natural do solo, como também ocasiona uma certa uniformização no tamanho dos agregados, foi possivelmente a principal

causa que determinou a ausência de diferenças estatísticas.

Outras considerações podem ser efetuadas nesta pesquisa. Basicamente duas classes de poros estão presentes nos solos agregados, os poros de maior tamanho (entre-agregados) e poros bem menores que estes (poros intra-agregados). Os primeiros são importantes na drenagem enquanto que os últimos são importantes na retenção de umidade e nutrientes disponíveis para as plantas, conforme afirmam GUMBS & WARKENTIN (52). Essa distribuição corresponderia à macro e microporosidade do solo, sendo que esta última indica o teor de umidade existente no solo na sua capacidade de campo, segundo BUCKMAN & BRADY (19). Pode-se afirmar então que o conteúdo de água retida a 0,1 atm em amostras com estrutura deformadas deve ser semelhante ao conteúdo de água retida a 0,06 atm em amostras com estrutura indeformada, uma vez que 0,1 atm é o parâmetro de laboratório que melhor se correlacionou à capacidade de campo do solo sob mata utilizado nesta pesquisa, segundo FREIRE (36).

No quadro 9 estão apresentados os resultados que demonstram as relações acima mencionadas. Verifica-se que os valores são bastante semelhantes, indicando que a microporosidade do solo pode ser obtida a partir de amostras com estrutura deformada, desde que se conheça o parâmetro de laboratório que melhor indique a capacidade de campo do solo.

QUADRO 9 - Microporosidades obtidas a partir do teor de umidade retida a 0,1 atm em amostras com estrutura deformada, e através do teor de umidade retida a 0,06 atm em amostras com estrutura indeformada, no solo sob mata.

Horizontes	Prof. Média -cm-	Microporosidades	
		0,1 (atm)	0,06
		%	
A _{1 1}	0 - 21	31,38	31,76
A _{1 2}	21 - 48	31,63	32,89
A ₃	48 -103	32,02	35,56
B ₁	103 -130	31,52	34,30
B _{2 1}	130 -173	32,56	35,38
B _{2 2}	173 -223	35,18	35,85
B _{2 3}	223 ⁺	34,01	35,19
Médias		32,61	34,13

4.2. Densidade de partículas

A média do perfil do solo cultivado foi maior do que a do solo sob mata, sendo 2,90 e 2,87 g/cm³, respectivamente (quadro 10). Essa diferença foi altamente significativa pelo teste F, conforme mostra o quadro 1 do apêndice IV.

Uma análise dos dados (quadro 10) indica que as diferenças existentes nos horizontes superficiais (A_p/A_{1 1}, A_{1 2} e A₃) entre as duas coberturas, foi a principal causa da diferença estatística observada

entre as médias dos perfis.

Quando se compara as médias do solo cultivado e do solo de mata, verifica-se que existe diferença significativa nos horizontes A_{11} x A_p e A_3 , enquanto que no A_{12} a diferença foi exatamente igual à diferença mínima significativa detectada pelo teste Tukey (5%). Já nos horizontes inferiores, as diferenças foram praticamente inexistentes, mostrando a homogeneidade dos constituintes minerais e orgânicos (quadros 8, 9, 10, 11, 12 e 13 - apêndice II), evidenciando a participação destes nos valores da densidade de partículas, conforme relatado por certos autores (11, 19, 73, 82). O comportamento da densidade de partículas e as diferenças entre as coberturas dentro dos perfis, fica mais clara através da figura 6.

QUADRO 10 - Valores de densidade de partículas (D_p) obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRD, a partir de três repetições nas diferentes coberturas (cultivado e mata)*.

Horizontes	Prof. Média - cm -	D_p (1)	
		Cultivado	Mata
		g.cm ⁻³	
A_p/A_{11}	0 - 21	2,87	2,75 a
A_{12}	21 - 48	2,90	2,85 b
A_3	48 - 103	2,92	2,85 b
B_1	103 - 130	2,90	2,88 b
B_{21}	130 - 173	2,91	2,90 b
B_{22}	173 - 223	2,90	2,92 b
B_{23}	223 ⁺	2,90	2,91 b
Médias		2,90 α	2,87 β

* Médias nas colunas seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 0,05 g.cm⁻³

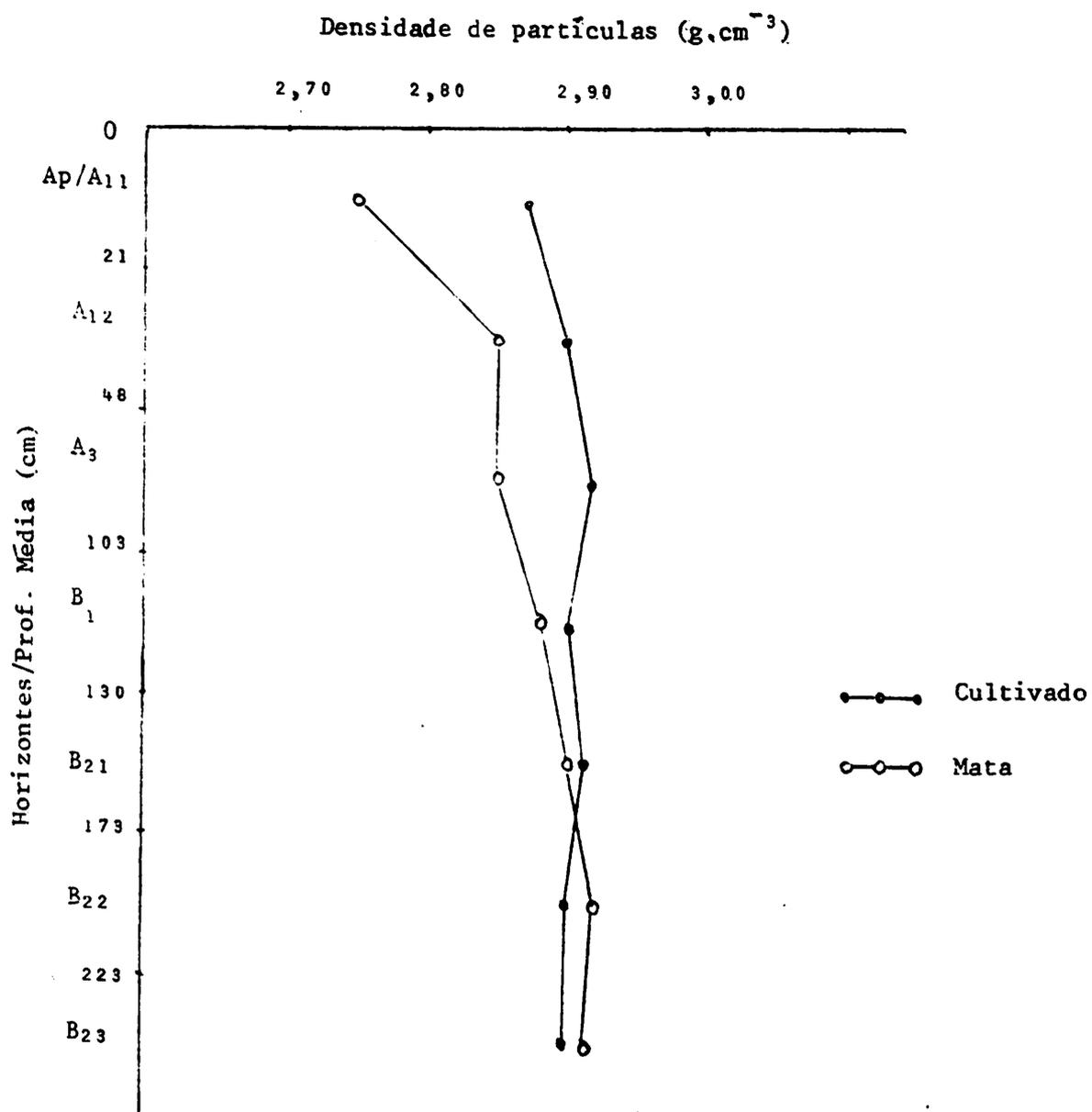


FIGURA 6 - Variação na densidade de partículas em amostras dos horizontes dos perfis de LRd cultivado e sob mata.

Basicamente, os fatores que influem nos valores de densidade de partículas envolvem a constituição química e mineralógica das partículas, BAVER et alii (11), bem como a quantidade dos minerais e de matéria orgânica presente, MOSIER & GUSTAFSON (82). Assim, a presença de minerais pesados como hematitas, magnetitas aumentam a densidade de partículas, BUCKMAN & BRADY (19), ao passo que a matéria orgânica atua de modo inverso. Como os resultados de ANDRADE(6) e BAHIA (7) e a análise feita com o ataque sulfúrico indicam que a composição química e mineralógica das partículas é bastante semelhante nas duas coberturas em todo o perfil, e como o teor de matéria orgânica nos horizontes A_{11} , A_{12} e A_3 no solo de mata é maior do que no solo cultivado (quadros 8, 9, 10, 11, 12 e 13 do apêndice II) , verifica-se que este último fator foi o responsável pela menor densidade na mata e, conseqüentemente, pela diferença observada entre as coberturas nos horizontes superficiais. Comportamento semelhante ao efeito da matéria orgânica foi encontrado por BOUMA & HOLE (17), TIARKS et alii (113) e OLIVEIRA (91), sendo os valores encontrados pelo último autor bem menores do que os deste trabalho, enfatizando mais uma vez a participação da composição mineralógica, principalmente através do material de origem.

Outra evidência que comprova essa afirmação é o fato de que tanto o solo cultivado como o solo de mata apresentaram menores densidades nos horizontes A_p e A_{11} , dentro de seus respectivos perfis, justamente onde existe maior acúmulo de matéria orgânica. No solo de mata inclusive, a densidade de partículas no horizonte A_{11} foi significativamente menor que nos horizontes inferiores.

4.3. Argila total, argila dispersa em água e índice de floculação.

Os resultados apresentados no quadro 8 do apêndice IV, mostram que somente o teor de argila total diferiu significativamente entre as médias do perfil do solo cultivado e do perfil do solo sob mata. Apesar disso, quando se compara as médias dos horizontes duas a duas, verifica-se que as diferenças foram mais pronunciadas no teor de argila dispersa em água e índice de floculação, como mostra o quadro 11.

Com relação à argila total, somente os horizontes A_3 e B_1 , acusaram diferenças entre as coberturas, ao passo que, quando se fixa a cobertura, variando os horizontes, não houve diferenças em ambos os casos. Isso demonstra que o cultivo não afeta a textura do solo, o que era de se esperar, uma vez que esta característica é muito estável, não se modificando dentro de curto espaço de tempo e em condições normais, segundo GAVANDE (40). SOUZA & COGO (108) também não observaram alterações na textura em função do uso e manejo do solo.

Outro fato que atesta a homogeneidade nos teores de argila total dentro dos perfis estudados, é o comportamento quase que idêntico, no que diz respeito à presença de diferenças significativas, entre argila dispersa em água e índice de floculação. Como este último é função da argila total e argila dispersa em água, se a argila total não variar, logicamente as alterações nesse índice estariam diretamente relacionadas com as mudanças no teor de argila dispersa em água, embora de maneira inversa. O quadro 11 mostra que isto realmen

QUADRO 11 - Conteúdo de argila total (A.T.), argila dispersa em água (A.D.A.) e Índice de floculação (I.F.), em amostras obtidas de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata)*.

Horizonte	Prof. Média	A.T. (1)		A.D.A. (2)		I.F. (3)	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
	-cm-			%			
Ap/A ₁₁	0 - 21	74,75	76,25	46,17 a	50,50 a	38,23 a	33,77 ab
A ₁₂	21 - 48	75,83	77,50	1,75 c	52,08 a	97,69 c	32,80 a
A ₃	48 - 103	73,83	78,00	0,00 c	27,50 a	100,00 c	64,74 b
B ₁	103 - 130	73,42	77,00	15,58 bc	0,67 b	78,78 bc	99,13 c
B ₂₁	130 - 173	74,33	76,83	30,50 ab	0,75 b	58,97 ab	99,02 c
B ₂₂	173 - 223	76,25	78,08	17,58 bc	1,17 b	76,94 bc	98,50 c
B ₂₃	223 ⁺	76,58	76,75	48,00 a	2,08 b	37,32 a	97,29 c
Médias		75,00 α	77,20 β	22,80	19,25	69,70	75,03

* Médias nas colunas seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente, pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 3,34%.

(2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 15,88%

(3) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 20,85%

te ocorreu.

Dessa forma, não é necessário discutir ambos parâmetros, sendo suficiente somente um deles. Para isso escolheu-se o teor de argila dispersa em água, devido à maior facilidade de compreensão que o termo expõe. Foi comentado que o processo de floculação está relacionado a diversos fatores, como por exemplo, segundo BAVER et alii (11), a presença de argilas inorgânicas (óxidos de ferro e alumínio) e compostos orgânicos, presenças de íons dispersantes e floculantes. tais como sódio e cálcio respectivamente, assim como, conforme CAGUAN & UEHARA (20), o grau de orientação das partículas e ponto isoelétrico do solo, FASSBENDER (32). Dentre os fatores acima mencionados, o ponto isoelétrico do solo, a presença de óxidos de ferro livre e de matéria orgânica, são os que possivelmente mais contribuem para os resultados encontrados.

Quando se observa a variação existente no teor de argila dispersa em água no perfil do solo sob mata, constata-se que os horizontes A₁₁, A₁₂ e A₃ apresentaram valores bem superiores que os horizontes abaixo. Como os resultados de BAHIA (7) não mostram grandes diferenças na composição mineralógica no perfil desse solo, além do fato do teor de óxidos de ferro livre ser praticamente o mesmo em todo o perfil, (quadro 7-apêndice II), parece provável que as diferenças obtidas são devidas à maior quantidade de matéria orgânica presente nos horizontes superficiais (A₁₁, A₁₂ e A₃). A matéria orgânica contribui no aumento de cargas líquidas negativas ao solo, levando o mesmo a atingir seu ponto isoelétrico em valores de pH mais baixo, VAN RAIJ e PEECH (116). Assim, as camadas com maior quantidade de matê

ria orgânica terão um excesso de cargas negativas predominando sobre as positivas, aumentando as forças eletrostáticas que determinam a repulsão entre as partículas, segundo FASSBENDER (32). Segundo Schofield e Swanson, citados por EL-SWAIF (29), a flocculação em sistemas cauliniticos é causada pela atração entre as superfícies negativamente carregadas das argilas e as margens positivamente carregadas, além da presença dos óxidos de ferro livre que, através de suas cargas positivas, unem as superfícies negativas de argila, atuando como uma ponte, SCHWERTMANN & TAYLOR (104). Ao se adicionar matéria orgânica nesse sistema, pode existir a possibilidade que esta, devido às suas cargas negativas, se liguem às margens positivamente carregadas das argilas cauliniticas, evitando assim uma união direta entre essas argilas e, conseqüentemente, reduzindo a flocculação. A ocupação dos sítios positivos exibidos pelas caulinitas e possivelmente, óxidos de ferro livre, que iriam unir as partículas do solo, além do excesso de cargas negativas conferidas pela matéria orgânica, aumentando as forças eletrostáticas de repulsão, parecem ser a causa mais provável do alto teor de argila dispersa em água obtidos nos horizontes superficiais do solo sob mata. Já nos horizontes inferiores, onde a presença de matéria orgânica é desprezível, tem-se a existência de um material argiloso de baixa atividade, ocorrendo um maior equilíbrio entre as cargas eletronegativas e eletropositivas, favorecendo a flocculação, OLIVEIRA (87).

No solo cultivado por sua vez, existiu uma maior variação no teor de argila dispersa em água dentro do perfil. A baixa flocculação no horizonte Ap provavelmente decorre do maior conteúdo de matéria

orgânica existente, além das práticas de calagem que elevam o pH do solo e a eletronegatividade dos seus constituintes, devido ao caráter anfótero dos mesmos. Uma medida para estimar o balanço das cargas elétricas do solo é o ΔpH , de forma que foi utilizado para esclarecer melhor os resultados encontrados. O quadro 12 mostra os teores de argila dispersa em água nas distintas coberturas, juntamente com os ΔpH obtidos nos horizontes estudados. Deve-se ressaltar que o ΔpH não estima a quantidade absoluta de cargas positivas ou negativas do solo, mas somente indica qual delas predomina, de maneira que o mesmo deve ser interpretado com cuidado. Mesmo assim observa-se que quanto mais o ΔpH se aproxima de zero, o teor de argila dispersa em água tende a diminuir, concordando com a teoria exposta por FASSBENDER (32). Com o intuito de estimar até que ponto essa afirmação é verdadeira, calculou-se o coeficiente de correlação existente entre essas variáveis, sendo que os resultados se encontram no quadro 13.

Os resultados (quadro 13) demonstram que o ΔpH do solo esteve bastante associado com o teor de argila dispersa em água, e que a medida que o mesmo se aproxima de zero, a floculação tendeu a aumentar.

Embora as diferenças entre o solo cultivado e o solo de mata nos horizontes subsuperficiais possam também estar relacionados com o ΔpH do solo, outra possibilidade seria o grau de orientação das partículas serem diferentes entre os perfis, uma vez que CAGUIAN & UEHARA (20) constataram que quanto mais orientadas estão as partículas, mais estável é a estrutura de solos caulíníticos. Infelizmente tal fato não pode ser comprovado experimentalmente neste estudo.

QUADRO 12 - Teores percentuais de argila dispersa em água e Δ pH encontrados nos horizontes dos perfis de LRd cultivado e de mata.

Horizontes	Solo cultivado		Solo sob mata	
	Argila dispersa em água	Δ pH	Argila dispersa em água	Δ pH
	- % -		- % -	
Ap/A ₁₁	46,17	- 0,6	50,50	- 0,4
A ₁₂	1,75	- 0,3	52,08	- 0,5
A ₃	0,00	+ 0,4	27,50	- 0,3
B ₁	15,58	+ 0,7	0,67	0,0
B ₂₁	30,50	+ 0,6	0,75	+ 0,1
B ₂₂	17,58	+ 0,5	1,17	+ 0,2
B ₂₃	48,00	+ 0,6	2,08	+ 0,3

QUADRO 13 - Coeficiente de correlação entre Δ pH positivo, Δ pH negativo e os teores de argila dispersa em água, em perfis de Latossolo Roxo Distrófico.

COMPONENTES (%)	Δ pH	
	Positivo	Negativo
Argila dispersa em água	0,7208*	- 0,8177*

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

4.4. Consistência do solo

Os resultados das análises de variância relativas aos limites de plasticidade, limites de liquidez e índice de plasticidade se encontram no quadro 9 do apêndice IV. Eles indicam a existência de diferenças altamente significativas nos três parâmetros citados, entre os perfis do solo cultivado e o de mata.

O limite de plasticidade no solo cultivado foi maior do que o de mata, sendo 43,62 e 39,34%, respectivamente (quadro 14). Fixando o horizonte e variando a cobertura, constata-se que em quase todo o perfil o comportamento foi igual, ou seja, as médias no solo cultivado foram mais elevadas que no solo de mata. Já quando se compara o Ap com A₁₁, as médias foram estatisticamente semelhantes.

O limite de liquidez comportou-se de maneira idêntica ao limite de plasticidade. O perfil do solo cultivado apresentou a maior média de 48,72%, contra 46,08% do solo sob mata. A comparação entre coberturas nos mesmos horizontes indicou também que somente os horizontes Ap e A₁₁ não diferiram significativamente. O índice de plasticidade por sua vez, embora tenha sido significativamente maior no perfil do solo de mata, não apresentou diferença quando comparou-se as médias individuais dos horizontes duas a duas.

Esses resultados discordam de alguns autores, como de BAVER et alii (11) e ODELL et alii (86). Os primeiros evidenciam a importância de certos fatores que influem nos limites estudados, entre eles a quantidade e o tipo de argila presente, além de presença de matéria orgânica. Este último fator, segundo eles, possui a proprie

QUADRO 14 - Valores de limites de plasticidade (LP), limites de liquidez (LL) e índices de plasticidade (IP), obtidos em amostras de horizontes dos perfis de LRd, a partir de três repetições, nas diferentes coberturas (cultivado e mata).*

Horizontes	Prof. Média	LP (1)		LL (2)		IP	
		Cultivado	Mata	Cultivado	Mata	Cultivado	Mata
	-cm-			%			
Ap/A ₁₁	0 - 21	39,88 c	40,02	46,60 c	47,25	6,71	7,23
A ₁₂	21 - 48	42,72 b	38,90	48,25 abc	46,00	5,52	7,09
A ₃	48 -103	44,15 ab	38,49	48,08 bc	45,83	3,93	7,34
B ₁	103 -130	44,66 ab	39,09	50,92 a	46,17	6,25	7,07
B ₂₁	130 -173	45,46 a	39,29	50,08 ab	45,75	4,62	6,46
B ₂₂	173 -223	44,48 ab	39,85	49,50 ab	46,00	5,02	6,15
B ₂₃	223 ⁺	43,97 ab	39,72	47,59 bc	45,53	3,62	5,81
Médias		43,62 α	39,34 β	48,72 α	46,08 β	5,10 α	6,74β

* Médias nas colunas, seguidas da mesma letra, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey (5%). α e β mostram diferenças pelo teste F (1%).

(1) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,59%

(2) DMS (5%) entre coberturas no mesmo horizonte de 1,82%

dade de aumentar o limite de plasticidade, elevando indiretamente o limite de liquidez, uma vez que o índice de plasticidade não é afetado. ODELL et alii (86) comprovaram essa teoria, verificando que um aumento no teor de matéria orgânica resultava no aumento dos limites de plasticidade e liquidez. Nesse estudo, o carbono orgânico foi a variável independente mais importante para explicar o comportamento do limite de plasticidade.

Apesar disso, alguns pesquisadores como SOUZA & COGO (108) e OLIVEIRA (91), obtiveram resultados que não coincidiram com os acima comentados. SOUZA & COGO (108) não constataram o efeito da matéria orgânica sobre o limite de plasticidade, enquanto que OLIVEIRA (91) obteve uma associação negativa entre teor de matéria orgânica e os limites de plasticidade e liquidez.

Neste estudo, os resultados devem ser comparados de dois modos distintos. O primeiro seria fixar a cobertura e variar os horizontes. No solo sob mata, verifica-se que o maior limite de plasticidade se encontra no horizonte A_{11} , indicando que nesse caso a matéria orgânica provavelmente está atuando conforme expôs BAVER et alii (11) e ODELL et alii (86). Já no solo cultivado, o horizonte Ap apresentou o menor limite de plasticidade observado, o que não é de se esperar, visto que o mesmo possui um teor mais elevado de matéria orgânica quando comparado com os horizontes inferiores. Esses últimos resultados se assemelham aos de OLIVEIRA (91), e demonstram que a matéria orgânica atua de maneira distinta sobre a consistência do solo, podendo elevar ou reduzir os seus limites. O comportamento diferencial desse agente está possivelmente relacionado à maneira que o mesmo é dosado, através do carbono total. Isto, segun

do Kononova, citado por PRIMAVESI (96), não dá informação alguma sobre o efeito que a matéria orgânica terá sobre as propriedades físicas do solo, uma vez que folhas e raízes mortas também serão incluídas.

O horizonte Ap do solo cultivado tinha sido movimentado pouco tempo antes da amostragem, o que leva a pensar que os resíduos da cultura anterior incorporados nessas operações ainda não tinham sido suficientemente decompostos, contribuindo assim na diminuição dos limites estudados. O horizonte A₁₁ por sua vez, embora tenha muito material orgânico não decomposto ou parcialmente decomposto, deve também possuir certa quantidade de produtos da decomposição da matéria orgânica. PRIMAVESI (96) verificou que solos no Rio Grande do Sul com 4% de matéria orgânica, possuíam mais de 3% de ácidos húmicos, fúlvicos e humatos, enquanto que menos de 0,5% era constituído de matéria orgânica não decomposta. Dessa forma, matéria orgânica não decomposta reduziria os limites de consistência, o que possivelmente ocorreu no horizonte Ap, ao passo que matéria orgânica que envolvesse mais produtos decompostos, aumentaria, conforme ocorreu no horizonte A₁₁. Já o índice de plasticidade não é alterado, porque a matéria orgânica aumenta tanto o limite de plasticidade como o de liquidez, embora o aumento desse último seja indireto, segundo BAVER et alii (11).

O segundo aspecto que deve ser abordado neste estudo é a diferença que existe nos horizontes subsuperficiais, quando se compara o solo cultivado com o de mata. Nesse caso, verifica-se que o primeiro sempre apresentou limites mais elevados que o segundo. Como nos

horizontes inferiores os conteúdos da matéria orgânica não são muito diferentes entre as duas coberturas, deduz-se que outro fator deve estar atuando. Esse possivelmente, deve ser o teor de óxidos de ferro livre, já que o mesmo mostrou ser, segundo OLIVEIRA (91), positivamente correlacionado com os referidos limites, obtendo esse autor um coeficiente de correlação significativo ao nível de 1%. Os resultados obtidos nesta pesquisa concordam com os de OLIVEIRA (91), já que verificou-se existir uma alta associação entre as variáveis teor de óxidos de ferro livres (quadro 7 - apêndice II) e limites de plasticidade (quadro 14), refletida num alto valor de r ($r = 0,925$), significativo ao nível de 1%.

Algumas considerações práticas podem ser feitas em função dos resultados obtidos. Segundo NICHOLS & REAVES (85), a compactação do solo está diretamente relacionada com o teor de umidade existente, embora, conforme FELT (33), essa relação não seja linear. O prejuízo à estrutura do solo quando trabalhado muito úmido, citado por NICHOLS (84) e evidenciado qualitativamente por DAY & HOLMGREN (26), sugere que é necessário conhecer qual é o teor de umidade máximo no qual o solo pode ser trabalhado sem comprometer suas propriedades originais. Como, segundo BAVER et alii (11), o limite de plasticidade representa a percentagem mínima na qual o solo pode ser seriamente comprimido, verifica-se que no solo em estudo, o cultivo não deve ser realizado quando o teor de umidade exceder a 38%.

5. CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, analisados e discutidos, com a metodologia empregada, chegou-se às seguintes conclusões :

a. O cultivo convencional pelo deslocamento de máquinas e implementos agrícolas afetou significativamente as propriedades físicas do solo, com seu efeito se manifestando, principalmente, até a camada de 21 a 48 cm (horizonte A_{12}).

b. A estrutura do solo, medida através dos parâmetros densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, foi a propriedade que mostrou maior vulnerabilidade à ação do cultivo. A densidade do solo cultivado, no horizonte A_{12} , teve seu valor reduzido em 17%. Ainda nesse horizonte, onde as diferenças foram mais pronunciadas, o cultivo reduziu a microporosidade em 44% e elevou a microporosidade em 24%. A porosidade total, por sua vez, diminuiu em 11%.

c. A água para irrigação não mostrou ser um parâmetro eficiente para detectar alterações na estrutura do solo.

d. O solo cultivado apresentou agregados menos estáveis em água, porém o pré-tratamento das amostras demonstrou que o preparo e cultivo com o solo úmido (nunca acima de 38%) contribuirá na preservação da estrutura.

e. A menor agregação no solo cultivado, com a presença de argila dispersa em água no horizonte Ap, evidenciam a necessidade de práticas conservacionistas para preservar o solo e mesmo diminuir as perdas por erosão.

f. O cultivo aumentou a densidade de partículas devido a redução no conteúdo de matéria orgânica.

g. O conteúdo de argila total não foi alterado pelo cultivo. A argila dispersa em água aumentou com a elevação no conteúdo de matéria orgânica, reduzindo, conseqüentemente, o índice de floculação.

h. As diferenças observadas na consistência do solo foram possivelmente, mais de natureza pedogenética do que devido ao cultivo propriamente dito.

6. RESUMO

Embora a maior parte dos solos agrícolas do Brasil ainda estejam submetidos às práticas convencionais e muitas vezes indiscriminadas de cultivo, atualmente os técnicos estão se questionando da validade dessas operações da forma como estão sendo realizadas. A restrição no uso de máquinas e implementos agrícolas na preparação do terreno e na condução da cultura deve-se não somente ao desperdício de mão-de obra e energia, como também aos resultados fornecidos pela pesquisa. Esses últimos indicam que o cultivo intenso está alterando a estrutura dos solos, levando-os a um declínio gradual nas suas produtividades.

Tais fatos estimularam a efetuar a presente pesquisa, que teve por objetivo determinar o comportamento de algumas características e propriedades físicas do solo, frente ao cultivo convencional. Para isto utilizou-se um Latossolo Roxo Distrófico que vem sendo cultivado a mais de dez (10) anos com culturas anuais, no campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, e um solo vir-

gem sob mata do mesmo tipo situado nas adjacências. Três perfis em cada cobertura foram estudados e comparados nos seus diversos horizontes, com as análises sendo realizadas no Departamento de Ciência do Solo da referida Instituição. Os parâmetros utilizados nesta pesquisa foram: 1. densidade do solo; 2. porosidade total; 3. macro e microporosidade; 4. estabilidade dos agregados, com pré-tratamento e sem pré-tratamento e efeito do pré-tratamento das amostras na estabilidade dos agregados; 5. água para irrigação; 6. densidade de partículas; 7. argila total, argila dispersa em água e índice de floculação; 8. limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade.

Os resultados indicam que o cultivo alterou as propriedades físicas do solo, com seus efeitos se refletindo principalmente até a camada de 21 a 48 cm. As elevações observadas na densidade do solo e microporosidade, e as reduções na porosidade total e macroporosidade, indicam que a estrutura do solo foi a propriedade mais afetada pela ação do cultivo. A água para irrigação por sua vez, não mostrou ser um parâmetro eficiente para detectar alterações na estrutura do solo.

Os agregados do solo cultivado apresentaram-se menos estáveis em água, porém o pré-tratamento das amostras indicou que se o solo for trabalhado com teor de umidade adequado (nunca acima de 38%), os efeitos do cultivo serão minimizados. A menor agregação no solo cultivado e o baixo índice de floculação no horizonte Ap, evidenciam a necessidade de se estabelecer práticas conservacionistas para diminuir a erosão e manter ou aumentar a capacidade produtiva do solo.

O cultivo aumentou a densidade de partículas devido à redução no conteúdo de matéria orgânica. Essa redução esteve negativamente associada com a floculação das partículas. As diferenças constatadas na consistência do solo foram, possivelmente, mais de natureza pedogenética do que devido ao cultivo propriamente dito.

7. SUMMARY

CHANGES ON SOIL PHYSICAL CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF A DYSTROFIC DUSKY RED LATOSOL (TYPIC ACRORTHOX), UPON CONVENTIONAL TILLAGE

Most of the agricultural soils in Brazil have been under conventional and generally indiscriminate practices of tillage. In the last year, however, the value of these indiscriminate tillage operations have been put under question by soil scientists. A restriction in use of agricultural machinery and implements in the farm is a result of both, excess energy consumption and wastefulness of hand labor and also due to recent research results, showing the detrimental effect of intensive tillage operations on soil structure, leading to a gradual loss in the productivity potential.

These facts stimulated this research. It was evaluated some soil physical characteristics and properties of an oxisol (Dusky Red Latosol) from the region of Lavras, State of Minas Gerais, in order to compare three profiles, respectively, under natural secun-

dary forest and conventional cultivation for 10 consecutive years.

The characteristics and properties studied were: 1. bulk density; 2. total porosity; 3. macro and microporosity; 4. soil aggregation; 5. irrigation water; 6. particles density; 7. total and water dispersed clay, and flocculation index; 8. soil consistency. Cultivation led to a considerable changes in soil properties, mainly down to A₁₂ horizon (21-48 cm layer). Soil cultivation increased the bulk density and microporosity and reduced the total porosity and macroporosity. Irrigation water didn't show to be an efficient parameter to evaluate alterations on soil structure.

The little soil aggregation and the presence of the water dispersed clay, make clear the need to establish practices of soil and water conservation in order to reduce the soil erosion and maintain their productivity. Particle density and flocculation index were negatively associated with organic matter content, meanwhile soil consistency differences were considered as affected by soil genesis.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AINA, P.O. Soil changes resulting from long-term management practices in Western Nigeria. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 43(1):173-7, Jan./Feb. 1979.
2. ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. Structural stability and permeability of native forest soils compared with cultivated areas of the same soil type. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 6:98-103, 1941.
3. ALLISON, F.E. Soil organic matter and its role in crop production. Amsterdam, Elsevier, 1973. 637 p.
4. ANDERSON, M.A. & BROWNING, G.M. Some physical and chemical properties of six virgin and six cultivated Iowa soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 14:370-4, 1949 .
5. ANDERSON, W.B. & KEMPER, W.D. Corn growth as affected by aggregate stability, soil temperature and soil moisture. Agronomy Journal, Madison, 56(5):453-6, Sept./Oct. 1964.

6. ANDRADE, H. Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do Município de Lavras - MG, em correlação com a geomorfologia da área. Lavras, ESAL, 1979. 76 p. (Tese de Mestrado).
7. BAHIA, V.G. Gênese e classificação de um solo do Município de Lavras - MG. Piracicaba, ESALQ, 1975. 67 p. (Tese de Doutorado).
8. BAVER, L.D. Practical values from physical analysis of soils . Soil Science, Baltimore, 68:1-14, 1949.
9. _____ . Soil physics. 3 ed. New York, J. Wiley, 1940. 370 p.
10. _____ & FARNSWORTH, R.B. Soil structure effects in the growth of sugar beets. Soil Science Society of America Proceedings , Madison, 5:45-8, 1940.
11. _____ et alii. Soil physics. 4. ed. New York, J. Wiley, 1972 . 498 p.
12. BELTRAME, L.S.F. et alii. Influência da desestruturação e compactação na permeabilidade do solo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3., Recife, PE, 1980. Resumos ... s.n.t. p. 14.
13. BEZERRA, J.E.S. Influência de sistemas de manejo do solo sobre algumas propriedades físicas e químicas de um Podzólico Vermelho Amarelo Câmbico Distrófico, fase terraço, e sobre a produção de milho (Zea mays, L.). Viçosa, UFV, 1978. 61 p. (Tese de Mestrado).

14. BRUSHAN, L.S. et alii. Influence of tillage practices on clod size, porosity and water retention. Indian Journal of Agricultural Science, New Dehli, 43(5):466-71, May 1973.
15. BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p. 374-90.
16. _____. Particle density. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p. 371-3.
17. BOUMA, J. & HOLE, F.D. Soil structure and hidraulic conductivity of adjacent virgin and cultivated pedons at two sites: A Typic Argiuldoll (silt loam) and A Typic Eutrochrept (clay). Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 35(2):316-9, 1971.
18. BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos, 5. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1979. 647 p.
19. BUCKMAN, H.O. & BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. 4. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1976. 594 p.
20. CAGAUAN, B. & UEHARA, G. Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29:198-200, 1965.

21. CAPUTO, H.P. Plasticidade e consistência dos solos. In: ____. Me cânica dos solos e suas aplicações. 3 ed. Rio de Janeiro , Livros Técnicos e Científicos, 1977. p. 60-9.
22. CORSINI, P.C. Modificações de características físico-hídricas em perfis das séries Jaboticabal Santa Tereza, ocasionadas pelo cultivo intenso. Científica, Jaboticabal, 2(2):148-61 , jul./dez. 1974.
23. DANIELSON, R.E. Nutrient supply and uptake in relation to soil physical conditions. In: HILLEL, D. Optimizing the soil physical environment towards greater crop yields. London , Academic Press, 1972. p. 193-211.
- X 24. DAVIDSON, J. et alii. Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. Agronomy Journal, Madison, 59:375-8, July/Aug. 1967.
25. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis . In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling . Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 545-66.
- X 26. _____ & HOLMGREN, G.G. Microscopic changes in soil structure during compression. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 16:73-7, 1952.
27. DICKERSON, B.P. Soil compactation after tree-length skidding in Northern Mississippi. Soil Science Society of America Journal, Madison, 40(6):965-6, Nov./Dec. 1976.

28. DONAHUE, P.L. Soils, an introduction to soils and plant growth. 2.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1965. 363 p.
29. EL-SWAIFY, S.A. The stability of saturated soil aggregates in certain tropical soils as affected by solution composition. Soil Science, Baltimore, 109(3):197-202, 1970.
30. EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. Journal of Environmental Quality, Maryland, 4(1) : 139-42, Jan. 1975.
31. FARIAS, G. et alii. Caracterização da infiltração de água em um oxisol sob cultivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, PE, 1980. Resumos... s. n.t. p. 24.
32. FASSBENDER, H.W. Química de suelos. Turrialba, Matilde de la Cruz, 1975. 390 p.
33. FELT, E.J. Compactibility. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt.1, p. 400-12.
34. FORSYTHE, W.M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. Fitotecnia Latinoamericana, San José, 4(2):165-76, jul./dic. 1967.
35. FOX, W.E. & TEAKLE, L.H. 1963. What is soil structure? Nature Lond. 198,1329-1330. In: SOILS AND FERTILIZERS, Bucks, 26(5):326, abst. 2327, 1963.

- X36. FREIRE, J.C. Condutividade hidráulica e capacidade de campo de Latossolo Roxo Distrófico não saturado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(2):73-7, maio/ago. 1979.
37. FREIRE, W.J. O efeito da vegetação sobre a agregação do solo. Revista de Agricultura, Piracicaba, 49(1):29-38, jun. 1974.
38. FREIRE, J.C. & SCARDUA, R. Influência da matéria orgânica na retenção de umidade de um Latossolo Roxo Distrófico do Município de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 3(1):29-36, jan./jun., 1979.
39. GANTZER, C.J. & BLAKE, G.R. Physical characteristics of le sueur clay loam following no-till and conventional tillage. Agronomy Journal, Madison, 70(5):853-7, Sept./Oct. 1978.
40. GAVANDE, S.A. Física de suelos; principios e aplicaciones. México, Limusa, 1976. 351 p.
41. GOMES, A.S. & CABEDA, M.V. Consistência de solos argilosos-escuros do Rio Grande do Sul e sua importância agronômica. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Santa Maria, RS, Anais... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p. 31-4.
- X42. _____ et alii. Efeito de sistemas e tempo de cultivo sobre a estrutura de um solo Podzólico Vermelho Amarelo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1):17-21, jan./abr. 1978.

- X 43. GOODERHAM, P.T. The effect on soil conditions of mechanized cultivation at high moisture content and of loosening by hand digging. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 86:567 - 71, 1976.
44. GROHMANN, F. Análise de agregados do solo. Bragantia, Campinas, 19(13):201-14, mar. 1960.
- Y 45. _____. Compacidade. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p. 93-9.
46. _____. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 19(21):319-28, abr. 1960.
47. _____. Estrutura. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p. 101-10.
- K 48. _____. Porosidade. In: MONIZ, A.C. Elementos de pedologia. São Paulo, Polígono, 1972. p. 77-84.
49. _____ & ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da Terra-Roxa-Legítima. Bragantia, Campinas, 20(49): 1203-9, dez. 1961.
50. _____ & QUEIROZ NETO, J. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos sobre a penetração das raízes de arroz. Bragantia, Campinas, 25(38):421-31, dez. 1966.
51. _____ & VAN RAIJ, B. Influência dos métodos de agitação na dispersão da argila do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, RS, 1973. Anais ... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.123-32.

- ✓ 52. GUMBS, F.A. & WARKENTIN, B.P. Bulk density, saturation water content and rate of wetting of soil aggregates. Soil Science Society of America Journal, Madison, 40:28-33, 1976.
53. HARRIS, R.F. et alii. Dynamics of soil aggregation. Advances in Agronomy, Wisconsin, 18:108-30, 1966.
- ✓ 54. HENIN, S. et alii. Influence of tillage practices on clod size, porosity and water retention. Indian Journal of Agricultural Science, New Dehli, 43(5):466-71, May 1973.
- ✓ 55. HILLEL, D. Solo e água. Porto Alegre, UFRGS, 1970. 231 p.
56. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis; advanced course. 2. ed. Madison, University of Wisconsin, 1969. 895 p.
- ✓ 57. JAIN, N.K. & AGRAWAL, L. Effect of clod size in the seedbed on development and yield of sugarcane. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34(5):795-7, Sept./Oct. 1970.
58. JAMISON, V.C. Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. Soil Science, Baltimore, 76:143-51, 1952.
59. KACHINSKII, N.A. 1962. The nature of soil-structure formation & an attempt at its artificial productions by means of polymers. Roczn. glebozn. 12, 61-83. In: SOILS AND FERTILIZERS, Bucks, 26(5):326, abst. 2323, 1963.
60. KASHIRAD, A. et alii. Tillage pan characterization of selected coastal plain soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 31:534-41, 1967.

61. KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates .
In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mine-
ralogical properties, including statistics of measurement.
and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965 .
pt.1, p. 499-510.
62. KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo, Ceres, 1979. 262
p.
63. KLINGBIEL, A.A. & O'NEAL, A.M. Structure and its influence on
tilth of soils. Soil Science Society of America Proceedings,
Madison, 16:77-9, 1952.
64. KLUTE, A. & JACOB, W.C. Physical properties of sassafras silt
loam as affected by long-time organic matter additions. Soil
Science of America Proceedings, Madison, 14:24-8, 1949.
65. KUIPERS, H. The objectives of soil tillage. Netherlands Jour-
nal of Agricultural Science, Wageningen, 11(2):91-6, 1963.
66. LARSON, W.E. Important soil parameters for evaluating tillage
practices in the United States. Netherlands Journal of Agri-
cultural Science, Wageningen, 11(2):100-9, 1963.
67. LAWS, W.D. & EVANS, D.D. Effect of long-time cultivation on so-
me physical properties of two rendzine soils. Soil Science
Society of America Proceedings, Madison, 14:15-9, 1949.
68. LOPES, A.S. Métodos para determinação das principais caracterís-
ticas químicas e físicas do solo. Lavras, ESAL, 1970 102 p.
(Apostila).

69. LOW, A.J. The effect of cultivation on the structure and other physical characteristics of grassland and arable soils (1945-1970). Journal of Soil Science, Oxford, 23(4):363-80, Dec. 1972.
70. _____. The study of soil structure in the field and the laboratory. Journal of Soil Science, Oxford, 5(1):57-76, 1954.
71. LOWRY, F.E. et alii. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pans. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 34:306-9, 1970.
72. LYON, L.T. & BUCKMAN, H. The nature and properties of soils. New York, McMillan, 1939. 392 p.
73. _____ et alii. Soils; their properties and management. New York, McMillan, 1915. 764 p.
74. MACHADO, J.A. & BRUM, A.R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(2):81-4, maio/ago. 1978.
75. MALLICK, S. & NAGARAJARAO, Y. Effect of tillage on soil structure and plant growth under rain-fed conditions. Indian Journal of Agricultural Science, New Dehli, 42(9):827-31, Sept. 1972.
76. MARCOS, Z.Z. Estrutura, agregação e água do solo. Piracicaba, ESALQ, 1968. 55 p. (Tese de Doutorado).
77. MARTIN, J.P. Microorganism and soil aggregation. I. Origin and nature of some aggregation substances. Soil Science, Baltimore, 59:163-74, 1945.

78. MARTIN, J.P. & RICHARDS, S.J. Influence of exchangeable hydrogen and calcium, and of sodium, potassium and ammonium at different levels on certain physical properties of soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 23:335-8, 1959.
79. MAYS, D.A. et alii. Municipal compost: effect on crop yields and soil properties. Journal of Environmental Quality, Maryland, 2(1):89-92, Jan. 1973.
80. MOHR, J. et alii. Tropical soils. 3.ed. Amsterdam, Geuze, 1972. 481 p.
81. MORACHAN, Y.B. et alii. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn: yields and soil physical properties. Agronomy Journal, Madison, 64(2):199-203, Mar./Apr. 1972.
82. MOSIER, J.G. & GUSTAFSON, A.F. Soils physics and management. Philadelphia, Lipincott, 1917. 442 p.
- ×83. NELSON, W.E. et alii. Yield potential of soybeans as related to soil compactation induced by farm traffic. Agronomy Journal, Madison, 67(6):769-72, Nov./Dec. 1975.
- ×84. NICHOLS, M.L. Soil compactation by farm machinery. Soil Conservation, Washington, 23(5):95-8, Dec. 1957.
- ×85. _____ & REAVES, C.A. Soil structure and consistency in tillage implement design. Agricultural Engineering, Saint Joseph, 36(8):517-28, Aug. 1955.

86. ODELL, R.T. et alii. Relationships of Atterberg limits to some others properties of Illinois soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24:297-300, 1960.
87. OLIVEIRA, J.B. Classificação do solo. Piracicaba, ESALQ, 1979 61 p. (Apostila).
88. OLIVEIRA, L.B. Determinação da macro e microporosidade pela "Mesa de Tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 3(1): 197-200, jan./fev. 1968.
89. _____. O estudo físico do solo e a aplicação racional de técnicas conservacionistas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 2:281-5, 1967.
90. _____ et alii. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de "tabuleiro" da Estação Experimental do Curado, Recife. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, 3:207-14, 1968.
91. OLIVEIRA, M. Comportamento de características e propriedades físicas de um Podzólico Vermelho Amarelo sob condições de pasto natural e cultivo na região de Lavras, Minas Gerais. Lavras, ESAL, 1979. 136 p. (Tese de Mestrado).
92. OLMSTEAD, L.B. The effect of long-time cropping systems and tillage practices upon soil aggregation at Hays, Kansas. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 11 : 89-92, 1946.

93. PANABOKKE, C.R. & QUIRK, J.P. Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. Soil Science, Baltimore, 83:185-95, 1956.
94. PENG, C.L. & BROWNING, G.M. Aggregate stability in relation to pore size distribution. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 11:67-73, 1946.
95. PHILLIPS, R.E. & KIRKHAM, D. Soil compactation in the field and corn growth. Agronomy Journal, Madison, 54(1):29-34, Jan . Feb. 1962.
96. PRIMAVESI, A. O manejo ecológico do solo. São Paulo, Nobel , 1980. 541 p.
97. RAMOS, M. Sistemas de preparo do solo na sucessão trigo-soja . III. Efeitos sobre o estado de agregação e a estabilidade dos agregados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17 , Manaus, AM, 1979. Resumos ... s.n.t. p.14.
98. REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 3.ed. Piracicaba, CENA/Fundação Cargill, 1975. 286 p.
99. ROSENBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compactation. Advances in Agronomy, New York, 16:181 - 96, 1964.
- 100 RUSSELL, J. & RUSSELL, E.W. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4.ed. Madrid, Aguilar, 1968. 801 p.

101. SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, J. Wiley, 1976. 617 p.
102. SCARDUA, R. Porosidade livre de água de dois solos do Município de Piracicaba - SP. Piracicaba, ESALQ, 1972. 83 p.
(Tese de Mestrado).
103. SCHWAB, G.O. et alii. Soil and water conservation engineering. 2 ed. New York, J. Wiley, 1966. 683 p.
104. SCWERTMANN, V. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J. & WEED, S. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p. 145-80.
105. SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in Low Humic Latosols. I. Water retention. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32 : 765-70, 1968.
106. SILVA, I. et alii. Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., Manaus, AM , 1979. Resumos ... s.n.t. p.4.
107. SING, A. et alii. Effect of soil compactation on the growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). Indian Journal of Agricultural Science, New Dehli, 41(5):422-6, May 1971.
108. SOUZA, L. & COGO, N.P. Caracterização física em solo da unidade de mapeamento São Jerônimo - RS (Paleudult), em três sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(3):170-5, set./dez. 1978.

109. SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 391-9.
110. TAYLOR, H.M. et alii. Root development in relations to soil physical conditions. In: HILLEL, D. Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. London, Academic Press, 1972. p. 57-77.
111. TERZAGHI, K. & PECK, R.B. Propriedades e índices dos solos. In: ____ & _____. Mecânica dos solos na prática de engenharia. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1962. p. 3-43.
112. THOMPSON, L.M. Soils and soil fertility. New York, McGraw - Hill, 1952. 339 p.
113. TIARKS, A.E. et alii. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feed lots. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 38:826-30, 1974.
114. UHLAND, R.E. Physical properties of soils as modified by crops and management. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 13(2):361-6, Mar./Apr. 1949.
115. UNGER, P.W. Soil organic matter and nitrogen changes during 24 years of dryland wheat tillage and cropping practices. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 32:427-9, 1968.

116. VAN RAIJ, B. & PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 36:587-93, 1972.
117. VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).
118. VILIRA, M.J. & KEMPER, B. A prática da subsolagem. Folha de Londrina, Londrina, 1: out. 1979. Folha rural, p. 11-2.
119. WOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pt. 1, p. 499-510.
120. VOORHEES, W.B. et alii Compactation and soil structure modification by wheel traffic in the Northern Corn Belt. Soil Science Society of America Journal, Madison, 42(2):344-9, 1978.
121. WILLIAMS, R.B. 1963. The effects of cropping systems on soil stability. Rep. Rothamts. exp. Sta. 1962, 45-46. In: SOILS AND FERTILIZERS, Bucks, 26(5):326, abst. 2325, 1963.
122. WILSON, H.A. Effect of vegetation upon agregation in strip mine spoils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 21:637-40, 1957.
123. _____ & BROWNING, G.M. Soil aggregation, yields, runoff and erosion as affected by cropping systems. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 10:51-7, 1945.

124. WINER, B.J. Statisticals principles in experimental designs.
London, McGraw-Hill, 1970. 672 p.
125. WINTER, E.J. A água, o solo e a planta. São Paulo, USP, 1976.
170 p.
126. WORTHEN, M.S. et alii. Suelos agrícolas; su conservacion y
fertilization. 2.ed. México, Hispano Americana, 1959.
416 p.
127. WÜNSCHE, W.A. et alii. Projeto integrado de conservação do
solo; um esforço conjunto no Rio Grande do Sul. In: ENCON-
TRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO. 3., Re-
cife, PE, 1980. Resumos ... s.n.t. p. 28.

APÊNDICES

APÉNDICE I

1. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS REPRESENTATIVOS DA ÁREA CULTIVADA CONVENCIONALMENTE.

1.1. Perfil Nº 1

Data - 21/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acrorthox

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, a aproximadamente 100 metros ao Norte do Departamento de Biologia.

Situação e declive - Trincheira situada no terço superior da encosta, com 6% de declive.

Altitude - 916 metros.

Material de origem - Rochas básicas.

Relevo - Suave ondulado a ondulado

Erosão - Laminar ligeira.

Drenagem - Acentuadamente drenado.

Vegetação - Terreno arado e gradeado

Uso atual - Culturas anuais.

DESCRIÇÃO DO PERFIL Nº 1

Ap 0 - 20 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, grande, médio, pequeno e muito pequena granular; extremamente poroso; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição abrupta e irregular; raízes comuns.

- A₁₂ 20 - 50 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; poros pequenos comuns; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- A₃ 50 - 80 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, pequenos, médios e grande granular com algum aspecto de maciça porosa; poros pequenos comuns; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- B₁ 80 - 108 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; moderada, médio, pequenos e muito pequenos, granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- B₂₁ 108-146 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico, ligeiramente pegajoso: transição difusa e plana; raras raízes.
- B₂₂ 146-200; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

B₂₃ 200 - 250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido) ; argila pesada: fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico, ligeiramente pegajoso ; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

1.2. Perfil Nº 2

Data - 21/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acror - thox.

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, a aproximadamente 170 metros ao Norte do Departamento de Biologia.

Situação e declive - Trincheira situada no terço médio da encosta, com 7% de declive.

Altitude - 912 metros

Material de origem - Rochas básicas

Relevo - Suave ondulado a ondulado

Erosão - Laminar ligeira

Drenagem - Acentuadamente drenado

Vegetação - Terreno arado e gradeado

Uso atual - Culturas anuais.

DESCRIÇÃO DO PERFIL Nº 2

Ap 0 - 25 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6 seco): argila pesada; moderada, grande, médio e pequeno granular; extremamente poroso; ligeiramente duro ,

friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição abrupta a irregular; raízes comuns.

- A₁₂ 25 -53 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, médio a pequeno granular; poros pequenos, porosidade comum a muito poroso; ligeiramente duro, friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- A₃ 53-78 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada a fraca, pequeno granular; muitos poros, muito pequenos; ligeiramente duro a macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- B₁ 78-104 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4), úmido); argila pesada; moderada a fraca, pequeno granular; muitos poros, muito pequenos; ligeiramente duro a macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- B₂₁ 104-137 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso ; transição difusa; raras raízes.
- B₂₂ 137-198 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso-

so; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

B₂₃ 198-250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acen-
tuado aspecto de máciça porosa; muitos poros; muito pequenos ;
macio, muito friável; ligeiramente plástico, ligeiramente pega-
joso; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

1.3. Perfil Nº 3

Data - 21/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acror-
thox.

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de
Lavras, a aproximadamente 250 metros ao Nor-
te do Departamento de Biologia.

Situação e declive - Trincheira situada no terço inferior
da encosta, com 8% de declive.

Altitude - 906 metros.

Material de origem - Rochas básicas

Relevo - ondulado

Erosão - Laminar ligeira

Drenagem - Acentuadamente drenado

Vegetação- Terreno arado e gradeado

Uso atual- Culturas anuais.

DESCRIÇÃO DO PERFIL Nº 3

Ap 0 - 15 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho
escuro (2.5 YR 2.5/6, seco); argila pesada; moderada, grande, mé-
dio e pequeno granular; extremamente poroso; ligeiramente duro ,
friável, plástico, ligeiramente pegajoso; transição abrupta e irregular;
raízes comuns.

- A₁₂ 15-43 cm; bruno avermelhado escuro (2,5YR 2,5/4, úmido), vermelho escuro (2,5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada a fraca, pequeno granular; muitos poros, muito pequenos; ligeiramente duro a macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- A₃ 43-67 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada a fraca, pequeno granular; muitos poros, muito pequenos; ligeiramente duro a macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana, poucas raízes.
- B₁ 67-95 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; moderada a fraca, pequeno granular; muitos poros, muito pequenos; ligeiramente duro a macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; poucas raízes.
- B₂₁ 95-150 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico. ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana, raras raízes.
- B₂₂ 150-212 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

B₂₃ 212-250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno e muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana; raízes inexistentes.

2. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS REPRESENTATIVOS DA ÁREA COM SOLO VIRGEM (MATA).

2.1. Perfil Nº 4

Data - 23/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acrorthox.

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, na reserva biológica localizada ao fim da avenida.

Situação e declive - Trincheira situada no terço superior da encosta, com 4% de declive.

Altitude - 950 metros

Material de origem - Rochas básicas

Relevo - Suave ondulado

Erosão - Nula

Drenagem - Acentuadamente drenado

Vegetação - Floresta latifoliada tropical

Uso atual - Reserva biológica

DESCRIÇÃO DO PERFIL Nº 4

A₁₁ 0 - 15 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; muitos poros, pequenos, médios e grandes; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes abundantes.

A₁₂ 15-35 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; muitos poros, pequenos, médios e grandes;

ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, pegajoso ;
transição difusa e plana; raízes muitas.

- A₃ 35-60 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno e médio granular; muitos poros, pequenos e médios, ligeiramente duro, friável e muito friável, plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes comuns a poucas.
- B₁ 60-85 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; moderada a fraca, pequeno a médio granular; muitos poros, pequenos e médios; macio, muito friável, plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- B₂₁ 85-140 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, pequeno a muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- B₂₂ 140-190 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana ; raízes raras.
- B₂₃ 190 - 250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido) ; argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes raras.

2.2, Perfil Nº 5

Data - 23/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acrorthox.

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, na reserva biológica situada ao fim da avenida.

Situação e declive - Trincheira situada no terço médio da encosta, com 5% de declive.

Altitude - 945 metros

Material de origem - Rochas básicas

Relevo - Suave ondulado

Erosão - Nula

Drenagem - Acentuadamente drenado

Vegetação - Floresta latifoliada tropical

Uso atual - Reserva biológica.

DESCRIBÇÃO DO PERFIL Nº 5

- A₁₁ 0 - 29 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; muitos poros, pequenos, médios e grandes; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, pegajoso, transição difusa e plana; raízes abundantes.
- A₁₂ 29 - 47 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno a grande granular; muitos poros, pequenos e grandes; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes muitas e comuns.

- A₃ 47-85 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3.5/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno e médio granular; muitos poros, pequenos e médios; ligeiramente duro, friável, plástico, pegajoso; transição difusa e plana ; raízes comuns a poucas.
- B₁ 85-118 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; moderada a fraca, pequeno e médio granular; muitos poros, pequenos e médios; macio, muito friável, plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- B_{2 1} 118-149 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas a raras.
- B_{2 2} 149-185 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido); argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muito poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes raras.
- B_{2 3} 185 - 250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido) ; argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio , muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes raras.

2.3. Perfil Nº 6

Data - 23/05/79

Classificação - Latossolo Roxo Distrófico ou Typic Acrorthox.

Localização - Campus da Escola Superior de Agricultura de Lavras, na reserva biológica localizada ao fim da avenida.

Situação e declive - Trincheira situada no terço inferior da encosta, com 4% de declive.

Altitude - 940 metros.

Material de origem - Rochas básicas

Relevo - Suave ondulado

Erosão - Nula

Drenagem - Acentuadamente drenado

Vegetação - Floresta latifoliada tropical

Uso atual - Reserva biológica

DESCRICÃO DO PERFIL Nº 6

A₁₁ 0 - 21 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; muitos poros, pequenos a grandes; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico a plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes abundantes.

A₁₂ 21-58 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 3/4, úmido), vermelho escuro (2.5YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno, médio e grande granular; muitos poros, pequenos, médios e grandes; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico a plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes muitas.

- A₃ 50-80 cm; bruno avermelhado escuro (2.5YR 2.5/4, úmido), vermelho escuro (2.5 YR 3/6, seco); argila pesada; moderada, pequeno e médio granular; muito poros, pequenos e médios; ligeiramente duro, friável a muito friável, plástico, pegajoso; transição difusa e plan; raízes comuns a poucas.
- B₁ 80-100 cm; bruno avermelhado escuro (2.5 YR 2.5/4, úmido); argila pesada; moderada a fraca, pequeno e médio granular; muitos poros, pequenos e médios; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- B₂₁ 100-147 cm; bruno avermelhado escuro (2.5 YR 2.5/4, úmido), argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muito poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes poucas.
- B₂₂ 147-185 cm; bruno avermelhado escuro (2.5 YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes raras.
- B₂₃ 185-250 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2.5 YR 2.5/4, úmido); argila pesada; fraca, muito pequeno granular com acentuado aspecto de maciça porosa; muitos poros, muito pequenos; macio, muito friável, plástico a muito plástico, pegajoso; transição difusa e plana; raízes raras.

APÉNDICE II

QUADRO 1 - Complexo sortivo do solo no perfil 1 (cultivado).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$\frac{100 \cdot Al^{+++}}{Al^{+++} + S}$	$\frac{100 \cdot Na^+}{T}$	P
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	T		Al ⁺⁺⁺ + S	T	
	mE/100cm ³									%		
Ap	2,5	0,2	0,12	0,02	2,8	0,1	3,0	5,8	48	3	0,3	8
A ₁₂	0,9	0,0	0,08	0,02	1,0	0,1	4,3	5,3	19	9	0,4	1
A ₃	0,5	0,1	0,04	0,02	0,7	0,1	5,0	5,7	12	13	0,4	1
B ₁	0,3	0,0	0,04	0,02	0,4	0,1	2,6	3,0	13	20	0,7	1
B ₂₁	0,2	0,0	0,06	0,02	0,3	0,1	2,0	2,3	13	25	0,9	1
B ₂₂	0,1	0,0	0,10	0,02	0,2	0,1	2,3	2,5	8	33	0,8	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,06	0,02	0,2	0,1	1,7	1,9	11	33	1,1	1

QUADRO 2 - Complexo sortivo do solo no perfil 2 (cultivado).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$100 \cdot Al^{+++}$	$100 \cdot Na^+$	P
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	T		Al ⁺⁺⁺ + S	T	
	mE/100 g									%		-ppm-
A _p	2,3	0,1	0,12	0,02	2,5	0,1	2,0	4,5	56	4	0,4	12
A ₁₂	1,4	0,0	0,05	0,02	1,5	0,1	2,0	3,5	43	6	0,6	3
A ₃	0,8	0,0	0,04	0,02	0,9	0,1	2,3	3,2	28	10	0,6	1
B ₁	0,4	0,0	0,03	0,02	0,5	0,1	1,7	2,2	23	17	0,9	1
B ₂₁	0,2	0,0	0,04	0,01	0,3	0,1	6,9	7,2	4	25	0,1	1
B ₂₂	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	3,0	3,1	3	50	0,3	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	5,3	5,4	2	50	0,2	1

QUADRO 3 - Complexo sortivo do solo no perfil 3 (cultivado).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$\frac{100 \cdot Al^{+++}}{Al^{+++} + S}$	$\frac{100 \cdot Na^+}{T}$	P
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ + Al ⁺⁺⁺	T				
	mE/100 g								%		ppm	
Ap	1,0	0,0	0,11	0,01	1,1	0,4	4,3	5,4	20	27	0,2	2
A ₁₂	0,4	0,0	0,04	0,01	0,5	0,1	5,9	6,4	8	17	0,2	1
A ₃	0,5	0,0	0,04	0,01	0,6	0,1	1,7	2,3	26	14	0,4	1
B ₁	0,4	0,0	0,03	0,01	0,4	0,1	2,0	2,4	17	20	0,4	1
B ₂₁	0,2	0,0	0,04	0,01	0,3	0,1	13,5	13,8	2	25	0,1	1
B ₂₂	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	8,9	9,0	1	50	0,1	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	6,6	6,7	1	50	0,1	1

QUADRO 4 - Complexo sortivo do solo no perfil 4 (mata nativa).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$100.A1^{+++}$	$100.Na^+$	P
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺	H ⁺ +Al ⁺⁺⁺	T		Al ⁺⁺⁺ +S	T	
	mE/100 g									%		-ppm-
A ₁₁	0,2	0,0	0,08	0,02	0,3	1,4	2,3	2,6	12	82	0,8	2
A ₁₂	0,1	0,0	0,05	0,01	0,2	0,9	2,3	2,5	8	82	0,4	1
A ₃	0,1	0,0	0,03	0,01	0,1	0,6	2,6	2,7	4	86	0,4	1
B ₁	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,2	5,0	5,1	2	67	0,2	1
B ₂₁	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	4,0	4,1	2	50	0,2	1
B ₂₂	0,2	0,0	0,02	0,01	0,2	0,1	3,0	3,2	6	33	0,3	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	2,3	2,4	4	50	0,4	1

QUADRO 5 - Complexo sortivo do solo no perfil 5 (mata nativa).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$100.A1^{+++}$	$100.Na^+$	P
	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	S	Al^{+++}	$H^+ + Al^{+++}$	T		$Al^{+++} + S$	T	
	mE/100g									%		-ppm-
A ₁₁	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	1,0	6,6	6,7	1	91	0,1	1
A ₁₂	0,2	0,0	0,04	0,02	0,3	0,4	6,3	6,6	5	57	0,3	1
A ₃	0,1	0,0	0,02	0,02	0,1	0,3	9,6	9,7	1	75	0,2	1
B ₁	0,2	0,0	0,02	0,01	0,3	0,1	4,6	4,9	6	25	0,2	1
B ₂₁	0,2	0,0	0,02	0,01	0,3	0,1	4,0	4,3	7	25	0,2	1
B ₂₂	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	3,6	3,7	3	50	0,3	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	3,0	3,1	3	50	0,3	1

QUADRO 6 - Complexo sortivo do solo no perfil 6 (mata nativa).

Horizontes	Complexo Sortivo								V	$100 \cdot Al^{+++}$	$100 \cdot Na^+$	P
	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+	S	Al^{+++}	$H^+ + Al^{+++}$	T		$Al^{+++} + S$	T	
	mE/100 g									%		
A ₁₁	0,1	0,0	0,04	0,01	0,2	1,4	7,6	9,0	2	88	0,1	1
A ₁₂	0,1	0,0	0,03	0,01	0,1	0,5	5,3	5,8	2	83	0,2	1
A ₃	0,2	0,0	0,02	0,01	0,2	0,2	12,9	13,1	2	50	0,1	1
B ₁	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	4,6	4,7	2	50	0,2	1
B ₂₁	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	4,0	4,1	2	50	0,2	1
B ₂₂	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	4,0	4,1	2	50	0,2	1
B ₂₃	0,1	0,0	0,02	0,01	0,1	0,1	3,0	3,1	3	50	0,3	1

QUADRO 7 - Médias percentuais do teor de óxidos de ferro livre, obtidos nos perfis estudados nas diferentes coberturas (média de 3 repetições).

Horizontes	Prof. (média) -cm-	Óxidos de ferro livre	
		Cultivado	Mata
		%	
Ap/A ₁₁	0 - 21	20,15	17,86
A ₁₂	21 - 48	20,96	18,16
A ₃	48 -103	21,78	18,16
B ₁	103 -130	21,91	18,52
B ₂₁	130 -173	22,27	17,89
B ₂₂	173 -223	21,25	17,58
B ₂₃	223 -250 ⁺	21,59	17,28
Médias		21,41	17,92

QUADRO 8 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares e reação do solo, determinados no perfil 1 (cultivado).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d = 1,47)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				Fe ₂ O ₃	1:2,5 Água
	-cm-	-%-	-%TFSE-									
Ap	0 - 20	1,65	16,1	28,4	28,3	1,73	0,19	0,96	0,59	1,57	5,5	5,0
A ₁₂	20 - 50	1,14	16,7	29,2	28,6	1,64	0,13	0,97	0,60	1,60	5,1	5,0
A ₃	50 - 80	0,84	16,7	28,9	29,1	1,63	0,12	0,98	0,60	1,56	5,1	5,6
B ₁	80 -108	0,62	17,2	29,2	29,1	1,65	0,11	1,00	0,61	1,58	5,3	5,6
B ₂₁	108 -146	0,50	16,9	29,5	29,4	1,69	0,12	0,97	0,59	1,58	5,6	5,9
B ₂₂	146 -200	0,50	16,6	29,7	29,5	1,71	0,12	0,95	0,58	1,58	5,9	6,1
B ₂₃	200 -250 ⁺	0,47	15,5	30,3	29,4	1,74	0,11	0,87	0,54	1,62	5,8	6,3

QUADRO 9 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares e reação do solo, determinados no perfil 2 (cultivado).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d=1,47)					K _i	K _r	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				Água	1:2,5 KCl 1N
	-cm-	-%-	% TFSE									
Ap	0 - 25	1,80	16,3	27,8	28,0	1,69	0,21	1,00	0,61	1,56	5,2	4,6
A ₁₂	25 - 53	1,47	15,7	28,6	28,8	1,61	0,16	0,93	0,57	1,56	5,6	5,0
A ₃	53 - 78	0,95	16,1	29,2	29,3	1,73	0,14	0,94	0,57	1,56	5,5	5,8
B ₁	78 -104	0,66	16,8	29,2	29,2	1,71	0,11	0,98	0,60	1,57	5,2	6,1
B ₂₁	104 -137	0,50	16,2	30,0	29,7	1,71	0,12	0,92	0,56	1,59	5,4	6,1
B ₂₂	137 -198	0,47	16,3	29,7	29,8	1,65	0,11	0,93	0,57	1,56	5,6	6,3
B ₂₃	198 -250 ⁺	0,43	14,1	30,8	30,2	1,74	0,10	0,78	0,48	1,60	5,9	6,5

QUADRO 10 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares e reação do solo, determinados no perfil 3 (cultivado).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d=1,47)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				Água	1:25 KCl 1N
	-cm-	-%-	-%TFSE-									
Ap	0 - 15	1,85	10,3	28,9	27,4	1,36	0,18	0,61	0,38	1,65	4,8	4,2
A ₁₂	15 - 43	1,80	14,6	29,4	28,1	1,35	0,14	0,84	0,52	1,64	4,9	4,8
A ₃	43 - 67	1,00	15,1	30,2	29,1	1,39	0,13	0,85	0,53	1,63	4,9	5,3
B ₁	67 - 95	0,80	13,2	30,2	28,7	1,40	0,13	0,74	0,46	1,65	4,9	5,8
B ₂₁	95 - 150	0,47	15,0	31,0	29,1	1,38	0,13	0,82	0,51	1,67	5,2	5,9
B ₂₂	150 - 212	0,50	15,5	31,0	28,9	1,35	0,13	0,85	0,53	1,68	5,4	6,0
B ₂₃	212 - 250 ⁺	0,40	13,6	30,7	28,9	1,48	0,10	0,72	0,47	1,67	5,6	6,4

QUADRO 11 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares e reação do solo, determinados no perfil 4 (Mata nativa).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d= 1,47)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅			Fe ₂ O ₃	1:2,5	Água
	-cm-	-%-	%TFSE									
A ₁₁	0 - 15	3,40	14,7	26,5	24,1	1,58	0,12	0,94	0,60	1,73	4,6	4,0
A ₁₂	15 - 35	2,10	14,9	27,8	24,7	1,53	0,11	0,91	0,58	1,77	4,5	4,3
A ₃	35 - 60	1,50	15,2	28,6	25,5	1,50	0,11	0,90	0,57	1,76	5,0	4,4
B ₁	60 - 85	1,45	15,9	27,6	25,4	1,51	0,10	0,98	0,62	1,71	4,9	4,8
B ₂₁	85 -140	1,00	14,7	29,2	25,9	1,58	0,10	0,85	0,55	1,77	5,1	5,2
B ₂₂	140 -190	0,60	15,9	29,4	26,0	1,51	0,11	0,92	0,59	1,78	5,3	5,6
B ₂₃	190 -250 ⁺	0,60	14,8	30,2	25,9	1,50	0,10	0,83	0,54	1,83	5,5	6,0

QUADRO 12 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares, e reação do solo, determinados no perfil 5 (Mata nativa).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d= 1,47)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	pH	
			Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				Água	1:2,5 KCl 1 N
	-cm-	-%-	% TFSE									
A ₁₁	0 - 29	2,20	11,6	25,2	23,3	1,48	0,11	0,78	0,49	1,70	4,7	4,3
A ₁₂	29 - 47	1,50	14,5	29,5	25,1	1,58	0,11	0,84	0,54	1,85	5,2	4,4
A ₃	47 - 85	1,30	14,5	29,4	25,2	1,60	0,11	0,84	0,54	1,83	4,9	4,7
B ₁	85 -118	1,10	15,1	30,0	25,0	1,58	0,12	0,86	0,56	1,88	5,1	4,9
B ₂₁	118 -149	0,95	15,7	30,0	25,4	1,45	0,13	0,89	0,58	1,85	5,3	5,2
B ₂₂	149 -185	0,70	14,2	31,1	26,4	1,49	0,13	0,78	0,50	1,85	5,3	5,5
B ₂₃	185 -250 ⁺	0,70	14,4	31,1	26,0	1,50	0,12	0,79	0,51	1,88	5,5	5,8

QUADRO 13 - Resultados de carbono orgânico, ataque sulfúrico, relações moleculares, e reação do solo, determinados no perfil 6. (Mata nativa).

Horizonte	Prof.	C	Ataque por H ₂ SO ₄ (d= 1,47)					Ki	Kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	pH	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅				1:2,5 Água	KCl 1 N
	-cm-	-%-	-% TFSE									
A ₁₁	0 - 21	2,80	14,9	26,4	22,2	1,21	0,13	0,96	0,62	1,87	4,3	4,0
A ₁₂	21 - 58	1,90	10,1	29,5	25,4	1,47	0,14	0,58	0,37	1,82	4,9	4,4
A ₃	58 - 80	1,30	11,9	30,7	25,9	1,47	0,13	0,66	0,43	1,86	4,8	4,7
B ₁	80 - 100	1,30	11,9	31,0	26,0	1,44	0,13	0,65	0,43	1,87	4,7	4,9
B ₂₁	100 - 147	1,29	11,9	31,6	26,0	1,50	0,14	0,64	0,42	1,91	5,0	5,3
B ₂₂	147 - 185	0,82	11,8	31,1	26,5	1,34	0,13	0,65	0,42	1,84	5,3	5,4
B ₂₃	185 - 250 ⁺	0,82	11,3	31,7	26,6	1,41	0,12	0,61	0,39	1,87	5,5	5,7

APÉNDICE III

QUADRO 1 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 1 (cultivado).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
Ap	0 - 20	9,41	15,59	75,00
A ₁₂	20 - 50	7,50	14,50	78,00
A ₃	50 - 80	7,47	20,78	71,75
B ₁	80 -108	7,85	21,65	70,50
B ₂₁	108 -146	7,83	20,67	71,50
B ₂₂	146 -200	8,50	17,25	74,25
B ₂₃	200 -250 ⁺	9,10	17,15	73,75

QUADRO 2 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 2 (cultivado).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
Ap	0 - 25	8,90	19,35	71,75
A ₁₂	25 - 53	8,03	19,47	72,50
A ₃	53 - 78	7,89	19,36	72,75
B ₁	78 -104	7,80	17,70	74,50
B ₂₁	104 -137	8,20	15,80	76,00
B ₂₂	137 -198	8,75	13,50	77,75
B ₂₃	198 -250 ⁺	8,55	13,20	78,25

QUADRO 3 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 3 (cultivado).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
Ap	0 - 15	9,50	13,00	77,50
A ₁₂	15 - 43	8,00	15,00	77,00
A ₁	43 - 67	7,95	15,05	77,00
B ₁	67 - 95	8,10	16,65	75,25
B ₂₁	95 - 150	8,56	15,94	75,50
B ₂₂	150 - 212	8,62	14,63	76,75
B ₂₃	212 - 250 ⁺	9,60	12,65	77,75

QUADRO 4 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 4 (mata nativa).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
A ₁₁	0 - 15	14,00	11,25	74,75
A ₁₂	15 - 35	13,30	10,20	76,50
A ₃	35 - 60	12,60	10,90	76,50
B ₁	60 - 85	12,52	14,48	73,00
B ₂₁	85 - 140	11,90	13,10	75,00
B ₂₂	140 - 190	12,30	12,27	75,50
B ₂₃	190 - 250 ⁺	12,80	12,70	74,50

QUADRO 5 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 5 (mata nativa).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
A ₁₁	0 - 29	15,40	4,35	80,25
A ₁₂	29 - 47	13,50	4,00	82,50
A ₃	47 - 85	13,41	3,84	82,75
B ₁	85 - 118	12,60	5,90	81,50
B ₂₁	118 - 149	12,85	8,40	78,75
B ₂₂	149 - 185	13,80	4,45	81,75
B ₂₃	185 - 250 ⁺	13,00	8,75	78,25

QUADRO 6 - Conteúdos de areia total, limo e argila total, determinados no perfil 6 (mata nativa).

Horizontes	Profundidade	Areia Total	Limo	Argila Total
	-cm-		% TFSE	
A ₁₁	0 - 21	15,00	11,25	73,75
A ₁₂	21 - 58	14,70	11,80	73,50
A ₃	58 - 80	15,50	10,00	74,50
B ₁	80 - 100	15,55	7,95	76,50
B ₂₁	100 - 147	14,80	8,45	76,75
B ₂₂	147 - 185	14,40	8,60	77,00
B ₂₃	185 - 250 ⁺	15,30	7,20	77,50

APÉNDICE IV

QUADRO 1 - Resumo das análises de variância relativas à densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp) e água para irrigação (AI).

Causas de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Ds	Dp	A.I.
Coberturas	1	0,0991**	0,0113**	12,6555*
Horizontes	6	0,0105*	0,0071**	1,0130
Cobertura x Horizontes	6	0,0036*	0,0043**	2,1989
Posição:Cobertura	4	0,0056**	0,0009	15,4665**
Resíduo	24	0,0012	0,0011	1,8123
Coefic. de variação %		3,37	1,15	15,19

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 2 - Resumo das análises de variância relativas à porosidade total, macroporosidade e microporosidade.

Causas de Variação	GL	Quadrados médios - Porosidade		
		Total	Macro	Micro
Coberturas	1	90,7136**	477,8327**	151,9812**
Horizontes	6	8,9840**	32,2121**	11,0279**
Cobertura x Horizontes	6	5,5444*	19,0616*	6,6536**
Posição:cobertura	4	6,8688*	18,7480*	4,0484
Resíduo	24	1,6443	5,8851	1,6720
Coefic. de variação %		1,99	8,55	3,59

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 3 - Resumo das análises de variância relativas à estabilidade de agregados, sem pré-tratamento das amostras.

Causas de variação	GL	Quadrados Médios		
		7 - 2	2 - 1	1 - 0,5
		mm		
Coberturas	1	295,979**	63,6156**	31,3304**
Horizontes	6	89,199	12,5771*	8,1413*
Cobertura x Horizontes	6	115,219*	8,3344	12,8172**
Posição:Cobertura	4	97,146	12,1402	8,0084
Resíduo	24	35,746	4,3736	3,1196
Coefic. de variação %		6,89	51,81	53,88

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 4 - Resumo das análises de variância relativas à estabilidade de agregados, sem pré-tratamento das amostras.

Causas de variação	GL	Quadrados médios		
		0,5-0,25	0,25-0,105	< 0,105
		mm		
Coberturas	1	6,9174*	6,0003**	2,0770
Horizontes	6	3,5957	1,7977*	0,9887
Coberturas x Horizontes	6	6,0638**	1,8005*	1,0560
Posição:Cobertura	4	3,9763	1,4145	0,4818
Resíduo	24	1,5522	0,5408	1,2408
Coefic. de variação %		56,42	45,34	54,02

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 5 - Resumo das análises de variância relativas à estabilidade de agregados, com pré-tratamento das amostras.

Causas de variação	GL	Quadrados Médios		
		7 - 2	2 - 1	1 - 0,5
		mm		
Coberturas	1	16,0891	1,4061	1,6225*
Horizontes	6	5,1942	0,1477	0,4475
Cobertura x Horizontes	6	23,8264**	1,0333*	1,2436**
Posição: cobertura	4	8,4912	0,7303	0,5488
Resíduo	24	4,6492	0,3798	0,3129
Coefic. de variação %		2,25	89,19	90,95

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 6 - Resumo das análises de variância relativas à estabilidade de agregados, com pré-tratamento das amostras.

Causas de variação	GL	Quadrados Médios		
		0,5-0,25	0,25-0,105	< 0,105
		mm		
Coberturas	1	0,0793	0,0029	1,6620
Horizontes	6	0,2701	0,1739	0,6575
Cobertura x Horizontes	6	1,0373**	0,6695**	1,1835
Posição: cobertura	4	0,4449	0,2663	0,4365
Resíduo	24	0,2389	0,1466	0,7632
Coefic. de variação %		84,56	77,35	53,89

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 7 - Resumo das análises de variância relativas ao efeito do pré-tratamento na estabilidade dos agregados, no solo cultivado e no solo sob mata.

Causas de variação	GL	Quadrados Médios	
		Cultivado	Mata
Tratamentos	1	1.326,5440**	539,1491**
Horizontes	6	89,0849*	79,6390**
Posições	2	85,7777	40,2837*
Tratamentos x Horizontes	6	29,2473	35,5779*
Tratamento x Posição	2	63,1802	22,2193
Horizontes x Posição	12	30,0209	15,1560
Resíduo (Tratamento x Horizonte x Posição)	12	26,4132	9,1743
Coefic. de variação %		5,73	3,26

* Significância ao nível de 5%

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 8 - Resumo das análises de variância relativas à argila total (A.T.), argila dispersa em água (A.D.A.) e índice de floculação (I.F.).

Causas de variação	GL	Quadrados Médios		
		A.T.	A.D.A.	I.F.
Coberturas	1	50,9301**	132,1488	291,3256
Horizontes	6	3,2356	1.180,809 **	2065,186 **
Coberturas x Horizontes	6	2,7287	1.676,447 **	2832,141 **
Posição: cobertura	4	43,4301**	189,0997	314,5872
Resíduo	24	3,9196	88,7247	152,9101
Coefic. de variação %		2,60	44,80	17,08

** Significância ao nível de 1%

QUADRO 9 - Resumo das análises de variância relativas aos limites de plasticidade (LP), limites de liquidez (LL) e índice de plasticidade (IP).

Causas de variação	GL	Quadrados Médios		
		LP	LL	IP
Coberturas	1	192,6643**	73,2072**	28,3475**
Horizontes	6	4,3661**	2,8975	3,6130
Cobertura x Horizontes	6	6,4707**	4,8839**	1,4222
Posição: cobertura	4	7,9755**	16,6405**	7,8656**
Resíduo	24	0,8890	1,1637	1,6851
Coefic. de variação %		2,27	2,28	21,93

** Significância ao nível de 1%