



UNICAMP
FEAGRI

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
FEAGRI - UNICAMP

DEGRADAÇÃO DE SOLOS CULTIVADOS AO
LONGO DE UMA SEQÜÊNCIA TOPOGRÁFICA, EM
BARIRI(SP)

JORGE LUÍS NASCIMENTO SOARES

CAMPINAS

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 2001

**DEGRADAÇÃO DE SOLOS CULTIVADOS AO
LONGO DE UMA SEQÜÊNCIA TOPOGRÁFICA, EM
BARIRI (SP)**

JORGE LUÍS NASCIMENTO SOARES

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **CARLOS ROBERTO ESPINDOLA**

Co-Orientador: Prof. Dr. **Luiz Antônio Daniel**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas FEAGRI/UNICAMP, para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola; Área de Concentração: Água e Solo.

CAMPINAS

Estado de São Paulo - Brasil

Outubro - 2001

**“There is an island of opportunity in
every difficulty”**

Albert Einstein

**A Deus por tudo,
Agradeço**

**Aos meus PAIS e IRMÃOS
pelo incentivo e carinho,
DEDICO.**

AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Carlos Roberto Espindola, que, com muita presteza, nos encorajou e orientou nas várias fases deste trabalho.
- À Dr^a. Othília Baptista de Melo Sampaio (INCRA/DF), que viabilizou nossa liberação para o desenvolvimento do programa.
- Ao INCRA pela liberação e apoio financeiro.
- À Faculdade de Engenharia Agrícola FEAGRI/UNICAMP, professores e funcionários, pelo ambiente fraterno, voltado ao conhecimento científico.
- À Prof^a. Dr^a. Selma Simões de Castro, pelo suporte dado no âmbito da micromorfologia do solo.
- À Prof^a. Dr^a. Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso ESALQ/USP, no auxílio à interpretação das análises microbiológicas.
- Ao Prof. Dr. Luiz Lonardoní Foloni, por disponibilizar a área de pesquisa e pelo apoio durante a coleta das amostras.
- À colega e amiga Walcilene Lacerda Matos Pereira, pelas discussões técnicas e apoio nas análises estatísticas.
- Ao amigo José Pereira de Santana pelo incentivo no início desta caminhada.
- Ao FAEP/UNICAMP e à Comissão de Pós-graduação da FEAGRI, pelos auxílios financeiros em algumas análises e viagens de estudo.
- Aos técnicos dos laboratórios da FEAGRI/UNICAMP, IAC e ESALQ/USP, pelo apoio na realização das análises de solo.
- Ao Eng^o de Computação, Carlos Alberto, pelo suporte em informática.
- Aos colegas Admilson, Ana Carolina, Antônio Carlos Néri, Bernadete, Carlão, Carlos Teixeira, Claudinei, Cristiane Colleti, Délvio, Edilson Mestrine, Helbert, Helena Ito, Juarez Junior, Lagrotti, Lauro Charlet, Lúcia, Mário Jorge, Regis Ferreira, Rafael, Regina Longo, Rogério Stacciarine, Ricardo Bertol, Saul, Sebastião, Sérgio Quieroz e outros, pelo companheirismo nas tarefas e nos momentos de descontração.
- Aos anônimos, que indiretamente nos facilitaram a vida em uma terra distante e que, assim, também contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	v
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 INVESTIGAÇÃO DO SOLO NO CAMPO	3
2.2 TRANSFORMAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO NO SOLO.....	9
2.3 AGREGADOS DO SOLO	16
2.4 ESTUDOS MICROMORFOLÓGICOS EM SOLOS.....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	29
3.1.1 Localização e meio físico.....	29
3.1.2 Histórico das atividades agrícolas	32
3.1.3 Coleta de solos para análises.....	34
3.1.4 Infiltração da água no solo.	35
3.1.5 Análises de laboratório.....	35
3.1.5.1 Análise Granulométrica.....	35
3.1.5.2 Argila Natural (dispersa em água) e Grau de Flocculação (GF).....	36
3.1.5.3 Distribuição dos agregados estáveis em água	36
3.1.5.4 Curva característica de umidade do solo.....	37
3.1.5.5 Densidade	37
3.1.5.6 Porosidade	38
3.1.5.7 Análises químicas de rotina.....	38

3.1.5.8	Análise biológica (Respirometria).....	39
3.1.5.9	Análise micromorfológica.....	39
3.1.6	Análise Estatística.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1	MORFOLOGIA DO SOLO.....	43
4.2	RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS - Partículas primárias.....	49
4.3	RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS - Complexo sortivo.....	52
4.4	MATÉRIA ORGÂNICA.....	55
4.5	DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS EM ÁGUA – Partículas secundárias .	59
4.6	POROSIDADE DO SOLO.....	63
4.7	DENSIDADE DO SOLO.....	66
4.8	CURVAS DE RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO.....	69
4.9	OBSERVAÇÕES MICROMORFOLÓGICAS.....	75
4.9.1	Citros.....	75
4.9.2	Cana-de-açúcar.....	82
4.10	OBSERVAÇÕES SOBRE A MICROBIOLOGIA DO SOLO.....	88
4.11	INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO.....	93
5	CONCLUSÕES.....	96
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
7	APÊNDICES.....	119
7.1	APÊNDICE 1 - Descrição Morfológica dos Perfis de Solos.....	120
7.2	APÊNDICE 2 – Densidade, Porosidade e Teor de Matéria Orgânica.....	129
7.3	APÊNDICE 3 –Agregados Estáveis em Água.....	130
7.4	APÊNDICE 4 - Infiltração da Água no Solo.....	131
7.5	APÊNDICE 5 - Análises Microbiológicas.....	132
7.6	APÊNDICE 6 - Curvas Características de Umidade.....	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Histórico das atividades agrícolas na Fazenda Bananal.	32
Tabela 2. Características morfológicas dos perfis localizados no terço superior da encosta.	44
Tabela 3. Características morfológicas dos perfis localizados no terço médio da encosta.	46
Tabela 4. Características morfológicas dos perfis localizados no terço inferior da encosta.	47
Tabela 5. Dados granulométricos dos perfis de solo.	50
Tabela 6. Características químicas dos solos estudados.	53
Tabela 7. Teores de matéria orgânica dos solos; valores médios de 10 repetições em g kg^{-1}	55
Tabela 8. Comparação entre médias de material orgânico e culturas.	57
Tabela 9. Comparação entre médias de matéria orgânica e posições no relevo.	58
Tabela 10. Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho e DMP.	60
Tabela 11. Porosidade dos solos: valores médios de 10 repetições.	64
Tabela 12. Comparação entre médias de macroporosidade e culturas.	65
Tabela 13. Comparação entre médias de macroporosidade e posição no relevo.	66
Tabela 14. Densidade dos solos: valores médios de 10 repetições.	67
Tabela 15. Comparação entre médias de densidade do solo e culturas.	68
Tabela 16. Comparação entre médias de densidade do solo e posições no relevo.	69
Tabela 17. Condições de água e ar disponíveis no terço superior da encosta.	71
Tabela 18. Condições de água e ar disponíveis no terço médio da encosta.	72
Tabela 19. Condições de água e ar disponíveis no terço inferior da encosta.	74
Tabela 20. Algumas características micromorfológicas dos solos cultivados com citros.	76
Tabela 21. Algumas características micromorfológicas dos solos cultivados com cana.	82
Tabela 22. Respirometria nos solos cultivados; valores médios de 4 repetições, durante 8 dias. .	88
Tabela 23. Infiltração da água no solo determinada com permeâmetro de Guelph com carga hidráulica de 6 cm; médias de quatro repetições.	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Situação geográfica do município de Bariri (SP) e localização da Fazenda Bananal. .	30
Figura 2. Imagem de satélite com a paisagem e os pontos de coleta de solo: P, Mata Nativa; P1, P3 e P5 - Citros; P2, P4 e P6 - Cana-de-açúcar (Escala vertical aumentada para melhor visualização do relevo).	33
Figura 3 - Mapa planialtimétrico da área, Fazenda Bananal, com a localização dos pontos de coletas de solo: P1 e P2, terço superior; P3 e P4 terço médio e P5 e P6 terço inferior.	33
Figura 4 - A) Pontos de amostragem para as observações micromorfológicas: a-camada de 0 a 10 cm; b-camada de 20 a 30 cm e c-camada de 60 a 70 cm); B) Monolito de solo e C) Lâmina delgada.	41
Figura 5- Fotomicrografia de lâmina delgada representando os constituintes de fundo matricial, plasma (<i>p-plasma</i>), esqueleto (<i>s-skeleton</i>) e poros (<i>v-voids</i>).	41
Figura 6- Bolsões de estrutura granular em camadas virtualmente compactadas.	48
Figura 7- Diâmetro mediano ponderado de agregados estáveis em água nos perfis de solo sob mata nativa e nos perfis da seqüência topográfica estudada.	62
Figura 8- Curva de retenção da água no terço superior da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.	70
Figura 9- Curva de retenção da água no terço médio da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.	73
Figura 10 - Curva de retenção da água no terço inferior da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.	74
Figura 11 - Fotomicrografia de solo em áreas com citros no terço superior da encosta.	79
Figura 12 - Fotomicrografia de solos em áreas com citros, no terço médio da encosta: a) 20 a 30 cm – Achatamento de poros e coalescência de agregados. b) 60 a 70 cm - Macroporos mamelonados comunicantes e pontes de argila iluvial.	80
Figura 13 - Fotomicrografia de solos em áreas com citros no terço inferior da encosta.	81
Figura 14 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço superior da encosta: a) 20 a 30cm - Macroporo de origem biológica, poros não comunicantes e esqueleto quartzoso subangular; b) 60 a 70 cm - Poros comunicantes e estrutura microagregada.	84
Figura 15 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço médio da encosta.	85

Figura 16 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço inferior da encosta.	86
Figura 17 – Respirometria nos solos cultivados com citros comparando a posição na seqüência topográfica em função dos dias de leitura: TS=Terço superior; TM=Terço médio; TI=Terço inferior.	90
Figura 18 - Respirometria nos solos cultivados com cana-de-açúcar comparando a posição na seqüência topográfica em função dos dias de leitura: TS=Terço superior; TM=Terço médio; TI=Terço inferior.	90
Figura 19 - Respirometria nos solos com citros. TS, terço superior da encosta; TM, terço médio e TI terço inferior. a)0–5cm e b)10–15cm. Valores médios de 4 leituras.....	91
Figura 20 - Respirometria nos solos com cana-de-açúcar. TS, terço superior da encosta; TM, terço médio e TI terço inferior. a) 0–5cm e b) 10–15cm. Valores médios de 4 leituras.	91
Figura 21- Respirometria no citros e na cana-de-açúcar: a) Terço Superior; b) Terço médio e c) terço inferior.	92

DEGRADAÇÃO DE SOLOS CULTIVADOS AO LONGO DE UMA SEQUÊNCIA TOPOGRÁFICA, EM BARIRI (SP)

Autor: JORGE LUÍS NASCIMENTO SOARES

Orientador: Dr. CARLOS ROBERTO ESPINDOLA

RESUMO

O presente trabalho foi realizado numa propriedade agrícola situada no município de Bariri (SP), submetida a práticas tradicionais de manejo do solo, onde foram estudadas algumas alterações pedológicas decorrentes de um longo período de exploração agrícola. Foi estabelecida uma condição de seqüência topográfica, para que pudesse ser avaliada a importância da posição dos solos no relevo sobre as modificações de alguns dos seus atributos físicos, químicos e biológicos.

As observações foram realizadas em campo e laboratório, em perfis verticais situados nos terços superior (topo), médio e inferior da encosta, em uma seqüência com 2.000 m de extensão, cultivada com citros e com cana-de-açúcar. Descrições morfológicas e análises laboratoriais (granulometria, agregados em água, curvas de retenção, complexo sortivo, taxa de infiltração da água, micromorfologia, porosidade, densidade e emissão de CO₂ do solo) foram estabelecidas, com alguns parâmetros avaliados estatisticamente por meio de comparação de médias.

Foram evidenciadas alterações de ordem física e biológica, com modificação da densidade do solo e dos teores de material orgânico e porosidade de aeração, com reflexos na infiltração da água no solo, principalmente nas posições mais baixas do relevo. Nestas posições, o teor de argila é mais elevado, preenchendo mais os espaços vazios, com a formação de estrutura em blocos, ocorrendo concomitantemente com a estrutura microagregada. Nos solos cultivados com cana-de-açúcar, os tratos culturais mais intensos promoveram maiores alterações estruturais dos solos, mesmo em camadas mais profundas. Na cultura do citros, o sistema radicular mais profundo e a menor mobilização do solo, concorreram para maior estabilidade dos agregados, tornando o ambiente adequado ao desenvolvimento radicular.

O estudo ressaltou a importância de observações morfológicas detalhadas dos perfis verticais, aos moldes de um “perfil cultural”, em face da grande variabilidade dos atributos pedológicos a uma curta distância, tendo sido observada uma situação, num só perfil, de setores compactados lado-a-lado com bolsões desagregados. Os resultados obtidos atestaram a necessidade de serem considerados tanto os gradientes verticais (em cada perfil), como os laterais (ao longo da vertente), no estudo das variações temporais dos parâmetros pedológicos.

As degradações encontradas podem ser minimizadas mediante o emprego crescente de práticas que mobilizem menos o solo, a exemplo do que vem ocorrendo em outras áreas, inclusive em outros setores da mesma propriedade agrícola, onde se inicia o plantio direto.

**CULTIVATED SOIL DEPLETION
ALONG A TOPOGRAPHIC SEQUENCE
IN BARIRI (SP)**

Author: JORGE LUÍS NASCIMENTO SOARES

Adviser: Dr. CARLOS ROBERTO ESPINDOLA

ABSTRACT

During the present work, some pedological alterations resulting from traditional soil management methods, were studied after extended planting cycles, on a farm in Bariri County, São Paulo. A topographic sequence was established to evaluate the importance of relief soil position for the modifications of its physical, chemical and biological attributes.

Field and laboratory observations were undertaken in vertical profiles of the upper, middle and lower levels of the slope, covering an extension of 2,000 meters, planted with citrus and sugar cane crops. Morphological descriptions and laboratory analyses (particle size distribution, water aggregate stability, water retention curve, sorptive complex, water infiltration rates, micromorphology, porosity, bulk density and the soil CO₂ emission), were established with some parameters evaluated by means of measure comparisons.

Physical and biological alterations were evidenced, with soil bulk density modifications and grades of organic matter and aeration porosity, reflecting soil-water infiltration, especially in the lower levels of the slope. In those positions, the grade of clay was higher, filling in the empty spaces

forming block shaped structures, together with the micro-aggregate structure. In the sugar cane planted soils, intensive cultivation promoted the largest soil structure alterations, even in the deeper layers. In citrus cultivation, the deeper root systems and lessened soil mobility worked together for greater aggregate stability, promoting adequate root development.

The study points out the importance of detailed morphological observations in vertical profiles like "profil cultural," due to the great variation of pedological attributes which have been observed over a short distance (in just one profile) of compact sectors, side-by-side with desaggregated pockets. The results obtained prove that vertical gradients (in each profile), as well as lateral ones, are necessary to be studied, during investigations involving the time variations of pedological parameters.

The depletures encountered can be minimized by means of the use of methods, which move less soil, as it is happening in other areas, including other sectors of the same property, where no-tillage is taking place.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental e as desigualdades sociais são elementos constitutivos do processo de desenvolvimento da agricultura brasileira desde os primórdios da nossa história. Mas é a partir da década de 60 que a crise socio-ambiental intensifica-se e amplia-se em níveis sem precedentes, como resultado de rápidas e profundas transformações na organização física, técnica e social do espaço rural, conhecidas como “modernização da agricultura”.

Sucessivos programas governamentais têm reiterado o objetivo de viabilização da modernização da agricultura via leis, regulamentos, programas e instituições, para garantir o abastecimento interno e superar as carências alimentares da população, aumentando a produção agrícola via acréscimo na produtividade das explorações.

Desta forma, instalou-se no meio rural a doutrina do aumento de produtividade das culturas, por vezes sem a preocupação devida com os recursos naturais, onde grande parte dos agricultores cultiva suas terras com tecnologias herdadas ou importadas de outras regiões, sem o devido ajuste à realidade, comprometendo o ambiente com práticas agrícolas que o agridem e, com o passar do tempo, revelando seus insucessos.

Dos recursos naturais, inegavelmente o solo é um dos que mais se tornam comprometidos, já que é nele que diretamente são realizadas as atividades agrícolas. Dos atributos pedológicos, a estrutura é um dos que mais rapidamente sofrem a influência da ação antrópica, em geral de forma negativa, pela compactação mecânica promovida pela diminuição da porosidade e pela diminuição da estabilidade dos agregados, com efeitos diversos sobre o meio: menor infiltração e menor capacidade de armazenamento de água, maior escoamento superficial, maiores perdas por erosão, assoreamentos, perda de fertilidade entre outros.

Diversas pesquisas têm sido direcionadas para avaliar os efeitos do cultivo e das práticas de manejo nas propriedades físicas, químicas, e biológicas dos solos. Segundo DREES et al. (1994), mudanças nessas propriedades, embora possam ser mensuradas, são, em grande parte, conseqüência de alterações na estrutura do solo. No entanto, nem sempre os estudos têm convenientemente contemplado informações sobre as alterações no tamanho dos agregados e na orientação dos poros, principalmente levando em conta certas modificações que operam ao longo das vertentes, com pouca importância se imputando ao relevo, sobre a constituição dos solos e suas organizações elementares, que afetam todo o comportamento do sistema. Diante desta preocupação, importa conhecer o comportamento de solos que têm sido submetidos a intensivos uso e manejo agrícola, mediante avaliação de determinados parâmetros pedológicos, levando em conta suas possíveis variações ao longo das vertentes cultivadas.

O objetivo da presente pesquisa foi avaliar as condições morfológicas de perfis de solos situados em uma vertente, em Bariri (SP), comportando, lado a lado, citros e cana-de-açúcar sob sistema de manejo tradicional intensivo. Em áreas adjacentes, na mesma categoria de solo, vem se tentando introduzir a técnica do plantio direto, menos impactante ao meio, de sorte que os resultados ora obtidos poderão, mais adequadamente, nortear as práticas agrícolas da propriedade onde a pesquisa foi desenvolvida.

Percebe-se, pois, que se tem, como hipótese, que as práticas tradicionais impactam mais o meio (especialmente o solo), e que os diferentes usos agrícolas (no caso, citros e cana-de-açúcar) podem promover diferentes graus de degradação; além disso, está se pressupondo que devam ocorrer modificações nas organizações internas do solo ao longo das encostas cultivadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INVESTIGAÇÃO DO SOLO NO CAMPO

Os agroecossistemas brasileiros, como as florestas (Amazônica, Atlântica), ou os cerrados, dentre outros, vêm sofrendo uma grande devastação nas últimas décadas, para cederem lugar a atividades agro-silvo-pastoris, portanto de natureza antrópica. O paradigma de "sustentabilidade" dos sistemas agrícolas, em que a qualidade ambiental é um forte componente, tem propiciado uma visão de solo como um integrante muito importante da questão, visto que a sua degradação acaba por afetar todo o meio, gerando processos erosivos, assoreamentos, má qualidade das águas, poluição dos mananciais entre outros. Por ocasião do seminário "Ciência e Desenvolvimento Sustentável", organizado pelo Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, trabalhos técnicos e científicos, de diversos campos de atuação, mostraram a necessidade emergente de um avanço nas pesquisas voltadas a esse direcionamento (IEA, 1997).

O XXVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo foi realizado em Londrina (PR), de 1 a 6 de Julho de 2001, sob a égide: "Ciência do Solo: fator de Produtividade Competitiva com Sustentabilidade", reforçando a importância do assunto no meio científico, sendo abordado, em forma de mini-cursos e mesas-redondas, temas como: manejo do sistema plantio direto; poluição do solo e qualidade ambiental; manejo de agrossistemas e a comunidade de microorganismos do solo; matéria orgânica e produtividade agrícola; manejo dos solos para reduzir a produção de sedimentos: o desafio do novo milênio, dentre outros assuntos voltados ao meio ambiente.

RUELLAN (1985) alertou para a importância de acuradas observações de perfis de solos no campo, caracterizando a sua morfologia (anatomia), de preferência em toposseqüências, para se obter uma noção de espacialização dos horizontes pedológicos: seus aparecimentos, contatos ou transições, modificações, desaparecimentos (cedendo lugar a outros). O autor ressaltou que apenas após se obter essa noção da distribuição espacial dos horizontes é que se pôde efetuar uma adequada amostragem dos materiais de estudo (solos/horizontes).

Esse método, convencionalmente denominado “análise estrutural da cobertura pedológica” (BOULET, 1988), requer trabalhos contínuos e prolongados, acurada experiência em descrições morfológicas e, quase sempre, a abertura de um elevado número de trincheiras, principalmente quando ocorrem mudanças nas classes de solos, ou influências de diferentes materiais de origem, ou ainda muitas variações no relevo. Alguns trabalhos dessa natureza, no Brasil, foram desenvolvidos após treinamentos e cursos especializados, com a participação de diversos acadêmicos (a grande maioria de pós-graduação), tendo possibilitado a geração de diversas teses e dissertações (CASTRO, 1989; COOPER, 1999, dentre outros).

Dependendo dos propósitos que se têm em mente, quando não se objetiva especificamente estudar os solos como sistemas de transformação (BOULET et al., 1990), ou ainda tentar reconstituir os caminhos dos fluxos hídricos em uma bacia hidrográfica, ou em algum setor da paisagem, uma maneira utilizada para descrever perfis verticais de solos é aquela em que se privilegia a observação das organizações - as estruturas - em perfis até a uma profundidade na qual o solo fica praticamente isento das práticas de manejo utilizadas. Corresponderia a um “perfil de cultivo”, cuja idéia remonta a trabalhos de HÉNIN et al. (1960 e 1972), com a adoção da expressão “profil cultural”, que acabou por ser, em nosso meio, identificado como “perfil cultural” (TAVARES FILHO et al., 1991; GUIMARÃES et al., 1993), com a designação cultural aqui se referindo à “cultura” (espécie/variedade cultivada).

Utilizando-se desta técnica (perfil cultural), RIZZO (2000) concluiu que os melhores indicadores das condições de estrutura/agregação do solo, ao longo do tempo, sob a ação do manejo agrícola, foram os decorrentes das descrições morfológicas (macroestrutura) e das descrições em secções delgadas (micromorfologia).

O uso agrícola intensivo empregando práticas tradicionais de manejo e uso contínuo de motomecanização veio imprimir a necessidade de uma nova abordagem sobre fertilidade do solo, uma vez que os efeitos físicos acabam assumindo uma grande importância, decorrentes dessas práticas de manejo (TAVARES FILHO et al., 1999). Portanto, não apenas a quantidade de elementos nutritivos passou a interessar, mas também as condições que as raízes encontram no corpo do solo com relação ao melhor aproveitamento desses elementos (HÉNIN et al., 1960).

Estudos realizados por RALISCH et al. (1991), em um Latossolo Roxo, mostraram que um mesmo preparo do solo em uma mesma área pôde acarretar a formação de diferentes estruturas internas das camadas, propiciando distintas condições de desenvolvimento do sistema radicular e, conseqüentemente, da cultura. Afirmaram também que o desenvolvimento das plantas está correlacionado com o desenvolvimento das raízes, em termos de quantidade e distribuição, que, por sua vez, pode ser afetado pelo estado estrutural do solo, sendo especialmente variável de acordo com as condições de manejo executadas.

HAMBLIN (1991) discorreu a respeito de quais seriam os parâmetros mais apropriados, em Ciência do Solo, para avaliação dos sistemas agrícolas sustentáveis, tendo destacado a importância da estrutura, mencionando, porém, a falta de um método generalizado para se julgar a sua degradação. Na grande maioria dos casos, mudanças de usos e manejos nos solos têm provocado degradações, sobretudo das suas estruturas (ESPINDOLA et al., 1998), que acabam por comprometer seriamente o ambiente, como um todo.

A questão da sustentabilidade, objeto de extensas e profundas discussões no mundo atual, coloca a Ciência do Solo em privilegiada evidência, uma vez que o manejo sustentável veio constituir um dos problemas cruciais nos anos 90 e será, sem dúvidas, ao longo do século XXI (GREENLAND et al., 1994). Assim, BOUMA (1994) colocou o foco da Pedologia dirigido obrigatoriamente para a sustentabilidade.

SPOSITO & REGINATO (1992), defendendo a importância da Pedologia dentro da Ciência do Solo, lembraram do conveniente tratamento propiciado pelo exame do solo a diferentes escalas, mediante técnicas apropriadas, possibilitando uma visão holística, pela questão da integração (constituintes minerais, minerais-orgânicos, agregados, horizontes, perfis) e da

visão hierárquica (perfis, pedons, toposseqüências, unidades de mapeamento e paisagens). BASHER (1997) reforçou essa importância da Pedologia, ao lembrar do seu compromisso com o enfoque das mudanças temporais das propriedades do solo, com especial atenção para aquelas que determinam o funcionamento do mesmo.

De fato, uma série de parâmetros tem sido empregados na caracterização da estrutura dos solos cultivados, muitos dos quais por avaliações indiretas, tais como: permeabilidade, capacidade de infiltração, porosidade, densidade do solo e outros, que, em geral, podem atestar certos adensamentos ou compactações mecânicas promovidas pelo manejo, ou seja, a degradação da estrutura (FERNANDES & ESPINDOLA, 1994). Avaliações mais diretas costumam empregar análise de agregados: distribuição por tamanho, estabilidade em água, resistência a pressões, efeitos dos componentes entre outros (TISDALL & OADES, 1982).

Vários aspectos vão estar aí envolvidos na avaliação da estrutura/agregação do solo: textura, tipos de argila, sesquióxidos, matéria orgânica, regime climático, sazonalidade, tipos de uso e técnica de manejo, dentre outros (BRADY, 1989).

A mudança no tipo de vegetação leva a um desequilíbrio da microbiota, alterando sua atividade e a decomposição da matéria orgânica, em função das peculiaridades na composição da nova serrapilheira aportada ao solo e das modificações exercidas nas suas características. As alterações nas propriedades químicas do solo, após a retirada da mata natural e a introdução de novas culturas, dependem de vários fatores, como a classe de solo, a sua fertilidade inicial seu comportamento físico-químico, sua interação com o meio, a cultura introduzida, como também o manejo e os tratamentos culturais adotados (BORGES, 1993).

AINA (1979) chegou a constatar, em solo cultivado, um maior teor de areia e menor de silte na superfície, até 15 cm, em relação ao solo em pousio. O autor admitiu que o aumento do teor de areia devesse estar relacionado à eluviação de silte e argila, que seria aumentada com a quebra dos agregados pelo impacto das gotas da chuva no solo menos protegido, do que aquele em pousio.

Em Latossolo Amarelo do Estado do Pará, NEVES et al. (1991), estudando o efeito de diferentes coberturas vegetais, observaram que a densidade do solo em áreas sob mata primária era menor do que nas áreas cultivadas com cacau, por 2 e 4 anos e macega; além disso, constataram um aumento significativo da densidade nos solos cultivados com cacau durante 4 anos, bem como na área com macega, na camada 0-20 cm.

CINTRA et al. (1983), caracterizando fisicamente um solo de pomar de citros submetido a diferentes práticas de manejo, verificaram que o uso contínuo, e a longo prazo, de grade e herbicida permitiu a formação de camadas compactadas e de um adensamento na superfície. Afirmaram ainda ser a taxa de infiltração da água a característica mais sensível para detectar alterações introduzidas pelo cultivo, sendo determinada, principalmente, pelo tamanho e distribuição dos poros, que, geralmente, são uma função do estado de agregação e da textura.

Segundo BAVER et al. (1972), a variação na porosidade total é função do tamanho das partículas e do grau de agregação. A matéria orgânica favorece a formação de agregados grandes e estáveis, conferindo ao solo maior porosidade total. Por outro lado, BRADY (1989) apresenta dados mostrando que solos com elevado teor de matéria orgânica podem ter sua porosidade total diminuída de 60 para 50%, quando cultivados.

Uma crosta superficial se forma em solos desprovidos de cobertura vegetal, pela ação de impactos da gota da chuva, que provoca a ruptura dos agregados e a obstrução dos poros do solo pelas partículas dispersas, o que, naturalmente, impede a infiltração (BAVER et al., 1972).

No sistema convencional de cultivo agrícola tem-se uma camada de solo preparada com predominância de macroporos, que permite uma velocidade de infiltração sempre maior do que na camada abaixo, que geralmente está compactada pelo uso contínuo em um mesmo sistema de preparo. Assim é que DALLA ROSA (1981), trabalhando em um Latossolo Roxo, determinou uma infiltração final de 8 mm h^{-1} , medida com infiltrômetro na camada compactada, situada a 25-30 cm, enquanto que, na superfície, obteve valores 6 vezes maiores e abaixo dela 24 vezes maior, onde o solo praticamente não sofreu efeitos do manejo.

A capacidade de infiltração da água é uma propriedade do solo que representa a intensidade máxima que ele tem, em dada condição de tempo, de poder absorver a água da chuva ou de irrigação. Sob chuva ou irrigação contínua, a velocidade de infiltração aproxima-se gradualmente de um valor mínimo constante. Esse valor constante que a velocidade de infiltração atinge com o passar do tempo é conhecido por velocidade de infiltração básica (BERNARDO, 1989). A recomendação corrente é que a determinação da velocidade de infiltração da água seja calculada *in situ*, de forma mais representativa e precisa possível. Contudo, dada a grande variabilidade espacial a que os solos estão submetidos, a observância dessa recomendação tem tornado aquela determinação uma tarefa das mais laboriosas e cujos resultados se acham envoltos por muitos questionamentos (SALES, et al., 1999).

No município de Ibirubá (RS), ao comparar as características físicas de um Latossolo Roxo sob mata e cultivado convencionalmente, SILVA (1980) encontrou uma taxa de infiltração da água, após 120 minutos, de 1.125 mm h^{-1} na área de mata e 2 mm h^{-1} no solo cultivado. Constatou também que no solo mantido com a vegetação original apenas 20% dos agregados tiveram diâmetro menor que 1 mm, enquanto no solo cultivado esse valor elevou-se a 60%.

A taxa de infiltração da água é a característica mais sensível para detectar alterações induzidas pelo cultivo. Ela é determinada principalmente pelo tamanho e distribuição dos poros, que são geralmente função do estado de agregação dos solos e de textura. CINTRA, (1983), estudando o comportamento da taxa de infiltração da água no solo em Latossolo Roxo no município de Espumoso (RS), registrou valores iniciais de 9.900 mm h^{-1} , caindo para 1.440 mm h^{-1} na primeira hora de observação, em área sob mata, reduzindo para 90 mm h^{-1} quando há cultivo. A dispersão de argilas pode provocar drástica redução da infiltração, desestabilizando os agregados do solo (RIZZO, 2000).

Num Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa sob cerrado, cultivado com soja, verificou-se que a velocidade de infiltração da água variou conforme a alteração da estrutura, posto que o comportamento hidrodinâmico do solo reflete suas condições físicas. Dessa forma, a velocidade de infiltração mostrou-se tanto menor quanto maior foi a mobilização agrícola praticada (CENTURION & DEMATÊ, 1985).

Durante uma chuva pesada a continuidade dos poros, principalmente aqueles grandes deixados pela macrofauna, pode permitir uma drenagem mais rápida da água para camadas mais profundas, abaixo até da zona radicular. Em princípio, as áreas com mata nativa, por apresentarem um sistema permanente de bioporos e canais deixados por raízes que apodrecem, revelam esta situação satisfatória de drenagem (BOONE, 1988).

ROTH et al. (1988) não encontraram diferenças de infiltração da água entre os sistemas de preparo do solo a diferentes profundidades, observando uma redução nas camadas mobilizadas em relação à camada maior profunda, que não foi afetada pelos preparos.

Para recomendação do limite superior da água disponível, correspondente à capacidade de campo, REICHARDT (1988) recomendou valores variando entre os potenciais matriciais de -10 e -6 kPa, que ocorrem com maior freqüência em solos na condição de campo. Desta forma, a capacidade de água disponível pode ser determinada pela fórmula $CAD = [\theta_v(-6\text{kPa}) - \theta_v(-1500\text{kPa})]$, onde $\theta_v(-6\text{kPa})$ representa o volume de água retida a -6 kPa. Por conseguinte, a capacidade de aeração, termo sugerido por JAMISON (1953), corresponde à diferença entre o volume de porosidade total e o conteúdo de umidade a -6 kPa.

A qualidade do ambiente radicular é caracterizada pelo tamanho dos poros e pela sua distribuição no solo. A porosidade de aeração destaca-se como importante condição para o desenvolvimento das culturas. Observa-se que valores de porosidade de aeração inferiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ têm limitado o crescimento radicular (VOMOCIL & FLOCKER, 1966). Essas considerações evidenciam que vários fatores entram em jogo quando se pretende estudar as alterações pedológicas decorrentes do uso e manejo agrícola, quais sejam, o comprometimento microbiológico e da matéria orgânica, as alterações morfológicas e a estabilidade dos agregados. Alguns destes fatores serão a seguir considerados de maneira sumária.

2.2 TRANSFORMAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO NO SOLO

Considerando-se a maioria dos solos agrícolas, pode se observar que estes são constituídos de micro-habitats muito complexos, ainda mais se se considerar a presença de plantas e de elementos da meso e macrofauna (CARDOSO et al., 1992). Qualquer prática

agrícola (aração, adubação, calagem, incorporação de material orgânico, irrigação, aplicação de agrotóxicos entre outros) costuma afetar os nichos disponíveis, mediante intervenção nas características físico-químicas ou biológicas do ecossistema.

Os microorganismos, apesar de representarem somente 1 a 4% do total do carbono orgânico do solo (JENKINSON & LADD, 1981), desempenham papel fundamental nos ciclos bioquímicos, sendo responsáveis pelos processos da humificação e mineralização, immobilizando, eles próprios, uma quantidade considerável de nutrientes. O curto período de ciclagem de 0,15 anos da biomassa microbiana, e a rapidez de sua resposta às alterações ambientais, representam também um bom índice para a avaliação dos distúrbios causados aos ecossistemas naturais quando é instalada uma cultura ou uma pastagem (BONDE et al., 1991).

A diminuição do teor de matéria orgânica no solo sob cultivo, segundo STEVENSON (1982), não pode ser atribuída unicamente à redução da quantidade de resíduos vegetais disponíveis para a síntese do húmus, mas também à melhoria da aeração e a alternância de umedecimento e secagem, fenômenos que podem afetar a atividade microbiana e a degradação da matéria orgânica. VOLKOFF (1978), estudando três Latossolos Vermelho-Amarelos do Estado da Bahia, constatou que o teor de húmus desses solos dependia de fatores climáticos, principalmente da temperatura e umidade.

A mudança da cobertura vegetal, representada pela substituição da vegetação natural por culturas, bem como as práticas culturais realizadas, levam a um desequilíbrio na biologia do solo, alterando a atividade dos microorganismos e, bem assim, a decomposição da matéria orgânica. O desenvolvimento e a produtividade de muitas culturas estão, em parte, relacionados com o processo de decomposição dos resíduos culturais no solo e com a conseqüente mineralização dos nutrientes. A biomassa e a atividade microbiana fornecem informações sobre as possíveis transformações do material orgânico do solo em diferentes sistemas de culturas e práticas de manejo (KONONOVA, 1975).

Os microorganismos atuam no processo de decomposição da matéria orgânica, participando diretamente do ciclo bioquímico dos nutrientes e, conseqüentemente, mediando a sua disponibilidade no solo. Assim, a biomassa microbiana total do solo funciona como importante reservatório de vários nutrientes das plantas (GRISI & GRAY, 1986), pois pertence

ao componente lábil da matéria orgânica do solo e possui atividades influenciadas pelas condições bióticas e abióticas, o que permite que seu acompanhamento reflita possíveis modificações no sistema, podendo ser considerada como uma boa indicativa das alterações resultantes do manejo praticado.

O manejo do solo realizado nas diferentes culturas atua indiretamente sobre a atividade dos microorganismos e, conseqüentemente, sobre o processo de decomposição da matéria orgânica, devido à sua influência sobre as características do solo, tais como a temperatura, umidade, densidade do solo, aeração, pH e teor de nutrientes minerais (SANTOS & GRISI 1981; TEWARY et al., 1982). A acidez do solo tem sido apontada como um dos componentes químicos que mais influenciam a atividade biológica e, por conseguinte, a decomposição da matéria orgânica (TEWARY et al., 1982; SELBACH, 1989). Vários trabalhos têm demonstrado um aumento da atividade microbiológica e da decomposição da matéria orgânica após a correção da acidez do solo (LOPES, 1977).

O solo é um dos ambientes naturais mais ricos em diversidade ecológica. Alguns dos seus componentes vivos, aqui denominados de microbiota, representada pelas bactérias, fungos, algas e protozoários, são responsáveis por cerca de 90% da sua atividade biológica. Entretanto, é sabido que o manejo influencia a microbiota do solo, uma vez que controla a disponibilidade dos substratos orgânicos e atua nas propriedades físicas e químicas. GRANATSTEIN et al. (1987) estudaram três rotações de culturas sob dois tipos de preparo do solo, no leste dos EUA, e observaram que a biomassa microbiana do solo foi influenciada pela rotação de culturas e, mais ainda, pelo tipo de preparo do terreno cultivado.

No sistema plantio direto o mínimo revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície proporcionam um acúmulo de material orgânico (LAL, 1976), que é fonte primária de carbono e energia para a grande maioria dos microorganismos. Com o aumento da biomassa microbiana pode haver mudanças na estrutura populacional e/ou mudança nos padrões metabólicos. Para SANTOS et al. (2001), de acordo com a gênese e a posição na paisagem, os solos possuem diferentes habilidades para armazenar carbono, e nos estudos de seqüestro desse elemento devem ser considerados: a natureza e a magnitude da reserva de C, as características do bioma e as respostas aos diferentes usos e manejo da terra.

A cobertura vegetal condiciona, em parte, as atividades biológicas do solo por sua produtividade primária. Assim, pela massa de alimentos que se põem à disposição das populações edáficas, ela age de maneira seletiva sobre a natureza, sobre o equilíbrio e sobre as sucessões da microbiota do solo (ALEXANDER, 1977).

Quando o solo recebe grande aporte de matéria orgânica biologicamente degradável ocorre rapidamente um aumento no número de microorganismos (SMITH 1991), levando a uma imobilização de nutrientes para a síntese de biomassa, como um verdadeiro mecanismo de proteção contra a perda de nutrientes por lixiviação. Por outro lado, a imobilização de nutrientes pode, ao mesmo tempo, causar certas deficiências de nutrientes às plantas cultivadas.

Os microorganismos possuem grande capacidade de regeneração, e os diferentes componentes da microbiota do solo são participantes fundamentais da fertilidade do solo. Desta maneira, deve-se garantir que as práticas agrícolas não causem danos duradouros à comunidade de microorganismos, que são de fundamental importância para a produtividade dos solos cultivados (JAHNEL, 1997). Quando o equilíbrio entre o número de microorganismos e a sua atividade é alterado, em geral por ação antrópica no meio, observa-se uma alteração na taxa de respiração microbiana, devida à variação populacional de microorganismos e, conseqüentemente, uma modificação na taxa de mineralização. Desta forma, a liberação de CO₂ constitui uma maneira de se avaliar a atividade dos microorganismos do solo.

Os organismos do solo participam da mineralização de substâncias orgânicas, transformando-as em compostos inorgânicos, tornando disponíveis os nutrientes para as plantas e liberando CO₂, que será utilizado pela vegetação, na produção de novas substâncias orgânicas. Do CO₂ produzido no solo, em torno de 70% são resultantes do processo respiratório de microorganismos e os 30% restante provêm da respiração de raízes e da mesofauna (GRAÇA, 1997).

Em um Latossolo Amarelo da Amazônia, SANTOS & GRISI (1981) verificaram menor atividade dos microorganismos sob floresta primária; além disso, constataram maior taxa de respiração dos microorganismos na área de capoeira desenvolvida após derrubada e queima da floresta primária do que na área de capoeira desenvolvida após derrubada sem a queima da

floresta primária. Acreditam que a queima tende a exercer, nos primeiros anos, uma ação benéfica sobre a atividade dos microorganismos do solo, provavelmente devido ao aumento da quantidade de alguns nutrientes, bem como à insolubilização de alumínio.

A atividade da microbiota do solo também é afetada pela porosidade. TEWARY et al. (1982) verificaram maior evolução do CO₂ em solos com menor densidade, que, por sua vez, está relacionada à porosidade.

BORGES (1993), estudando as alterações das propriedades de um Latossolo Amarelo de Cruz das Almas-Bahia, verificou que a implantação de culturas agrícolas diminuiu a atividade microbiana no horizonte superficial, não tendo observado diferenças entre as culturas implantadas, mas sim redução do estoque total de carbono.

A respiração do solo é geralmente definida como a quantidade de CO₂ liberada na sua superfície, sendo derivada principalmente da mineralização da matéria orgânica, por processos microbiológicos e respiração das raízes das plantas (BEHERA et al., 1990). Ela reflete, portanto, a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo e a produtividade da comunidade vegetal. A maior proporção da variabilidade dos processos respiratórios do solo decorre da temperatura e umidade, sendo esta última geralmente dominante (RAJVANSHI & GUPTA, 1986).

A acidez efetiva tem sido reconhecida como uma das propriedades químicas que mais influenciam a atividade biológica e, conseqüentemente, a decomposição da matéria orgânica (LOPES, 1977). Com relação aos organismos do solo, esta influência pode ser atribuída diretamente ao efeito tóxico do alumínio e às concentrações de hidrogênio e, indiretamente, ao estado geral da fertilidade.

A respiração microbiana no solo pode ser definida como o consumo de oxigênio ou liberação de gás carbônico pela atividade da microbiota e da mesofauna, compreendendo todas as trocas gasosas dos metabolismos aeróbios e anaeróbios resultantes da degradação de substâncias orgânicas, a partir de diversos processos metabólicos, em que a produção de gás carbônico é o estágio final da mineralização dos compostos de carbono (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

Em um argissolo sob mata natural, adjacente à área do presente estudo, SOARES & ESPINDOLA (2001) avaliaram a respiração microbiana em 8 dias de observação, tendo encontrado os valores médios de produção diária de CO₂ em mg g⁻¹ de solo, apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Produção diária de CO₂ em solo sob mata natural na Fazenda Bananal observada ao longo de 8 dias.

Profundidade (cm)	Produção diária de CO ₂ (mgCO ₂ / g de solo)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0 - 5	6,99	7,52	7,67	7,65	7,82	7,85	8,45	8,17
10 - 15	0,24	0,31	0,01	0,30	0,27	0,17	0,29	0,36

Os produtos finais da transformação de materiais orgânicos são o CO₂ (produto final dos processos de respiração e fermentação) e o húmus. A taxa de evolução de CO₂ da serrapilheira do solo reflete a atividade da biota, incluindo raízes vivas e organismos responsáveis pela decomposição. A avaliação da liberação de CO₂, além de permitir quantificação da atividade respiratória de microorganismos no substrato original, possibilita também averiguar a influência de fatores ambientais sobre a atividade respiratória, ou mesmo a velocidade de degradação de um determinado substrato (BONDE, 1991)

Diversas reações químicas no solo decorrem da decomposição do material orgânico disponível. Segundo SAMPAIO & SALCEDO (1982), a decomposição de restos de cultura, com a conseqüente mineralização de N, S, P e outros elementos, faz parte da ciclagem de nutrientes e, em solos tropicais de baixa fertilidade, essa ciclagem é indispensável à manutenção da produtividade.

Estudos feitos por BROERSMA & LAVKULICH (1980) sobre a distribuição da matéria orgânica nas frações granulométricas realizados em diversos solos com mais de 40% de areia e menos de 20% de argila, mostraram que entre 40 e 60% de matéria orgânica total estava associada à fração silte fino. Em solos com 18% de silte fino e 14% de argila grossa a maior quantidade de matéria orgânica (32%) estava associada à fração argila grossa. Na fração areia a matéria orgânica aparecia como partículas discretas, além de películas revestindo os grânulos.

Observações de PETERSEN et al. (1968) indicaram que a baixas tensões a matéria orgânica tem um efeito indireto na retenção de água, em decorrência de sua participação na agregação, e a altas tensões tem uma participação direta, pela sua elevada superfície específica e capacidade de adsorção.

CERRI (1986), estudando Latossolo Vermelho Escuro do município de Piracicaba, afirmou que o cultivo intensivo em cana-de-açúcar conduz, nos 20 cm superficiais do solo, a uma diminuição do estoque de matéria orgânica, sendo esta diminuição mais intensa nos primeiros anos de cultivo. Em profundidade, constatou um ligeiro aumento do teor de carbono, motivado pela acumulação devida à incorporação pelo sistema radicular da cultura, e que, não apenas a quantidade, como a qualidade da matéria orgânica, são modificadas pelo cultivo, que interfere também na proporção dos constituintes húmicos e restos vegetais não decompostos.

CUNNINGHAM (1963), pesquisando o efeito da retirada da mata sobre a dinâmica dos nutrientes em solos tropicais, constatou diminuição nos teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo e capacidade de troca catiônica, em razão do aumento da temperatura do solo, proporcionando rápida decomposição da matéria orgânica e sua não reposição.

Freqüentemente há uma concentração de carbono nas frações mais finas de silte e nas frações mais grossas de argila, após anos de cultivo (TIESSEN & STEWART, 1983). BONDE et al. (1992) observaram que o cultivo de cana-de-açúcar num Oxissolo, durante 50 anos, causou a depleção de carbono orgânico nas frações areia e silte, e um relativo enriquecimento na fração argila.

BONDE et al. (1991), estudando um Oxissolo em Manaus, verificaram que a biomassa microbiana da camada superficial do solo consiste de uma fração pequena e ativa e outra grande e dormente. O alto teor de argila deste solo poderia ser responsável pela proteção de microorganismos em micro-sítios, onde eles ficariam dormentes após completar a degradação do substrato. De acordo com HASSINK et al. (1993) uma maior proporção de microorganismos encontra mais proteção física, contra seus predadores, nos microporos de solos argilosos do que em solos arenosos, em virtude do estado menos ativo destes últimos.

As coberturas florestais diferem da pastagem ou de culturas anuais, por induzirem diferentes modificações nos solos, em decorrência das diferenças de esforços físicos sobre os mesmos, ou por alterarem a distribuição de água, minerais e retornos orgânicos (RYAN & McGARITY, 1983). A natureza e a composição dos resíduos orgânicos, por influírem na dinâmica da ciclagem, podem ser avaliadas pela atividade da microbiota no sistema. Assim, a mineralização da matéria orgânica do solo está relacionada com a cobertura vegetal, características do solo e fatores do ambiente.

De acordo com FÁVERO et al. (2001), o monitoramento das características químicas, físicas e biológicas do solo pode fornecer indicadores de sustentabilidade de diferentes agrossistemas. Dados preliminares indicaram que características ligadas à matéria orgânica fornecem indicadores que discriminam melhor os diferentes sistemas quanto ao grau de sustentabilidade.

2.3 AGREGADOS DO SOLO

Agregados do solo, são aglomerados de partículas primárias ou texturais (areia, silte e argila), ligadas por determinadas forças, mediante interação de agentes cimentantes. HARRIS et al. (1966) postularam que a importância relativa dos agentes cimentantes do solo (argilominerais, e componentes orgânicos, entre as quais, micélios, hifas, microorganismos, matéria orgânica humificada e seus constituintes) varia muito em função das condições locais em que os agregados são formados.

Há agentes cimentantes persistentes, que são menos sensíveis às operações de manejo, em geral responsáveis pelos agregados menores (agregados inferiores a 2 μm), como é o caso de materiais húmicos degradados associados a sesquióxidos de ferro e alumínio, ou aos filossilicatos. Outros são de natureza transitória, cimentos temporários, constituídos principalmente de raízes e hifas, cuja persistência vai de meses a poucos anos, responsáveis pela estabilidade dos agregados de tamanhos ao redor de 250 μm (macroagregados). Há ainda os cimentos transitórios, como os polissacarídeos, responsáveis pela estabilização dos agregados entre 2 e 200 μm (TISDALL & OADES, 1982).

Os trabalhos mais diretamente voltados ao estudo de agregação, com metodologia própria, criaram maior vulto após YODER (1936), que desenvolveu pesquisas com imersão de amostras de solo em água, em um jogo de peneiras. Ele percebeu que a penetração da água nos poros provocava uma compressão da atmosfera interna, nos poros do solo, cuja força, superando a coesão das partículas, era responsável pelo rompimento dos agregados. Nessa mesma linha, HÉNIN (1948) reforçou a importância da coesão na estabilidade dos agregados, tendo desenvolvido métodos com diferentes líquidos para hidratação dos solos (“efeito de molhabilidade”), também acompanhando o método clássico de YODER (op. cit.).

Desde os primórdios desses estudos, reconheceu-se que a formação de "unidades de estrutura", conforme designação de DUCHAUFOR (1965), é fornecida pela floculação dos colóides, para tornar efetiva a ação dos cimentantes. Para DEXTER (1988), o fator mais importante para a estabilidade da estrutura é ter a fração argila floculada, tendo observado que ocorre uma grande variabilidade espacial, ou heterogeneidade espacial, dos componentes ou atributos do solo que definem a estrutura. Em geral, as análises de rotina do solo, como aquelas que a EMBRAPA apresenta em seus levantamentos pedológicos, incluem a argila dispersa em água, a partir da qual (juntamente com a argila total determinada com dispersante) pode se determinar o grau de floculação da amostra. Entretanto, QUEIROZ NETO (1975) pondera que o teor de argila dispersa em água pode simplesmente refletir o conteúdo de argila total.

KAY (1990) comentou que a estrutura do solo é muito susceptível às práticas humanas, cuja extensão de suas alterações devem ser consideradas em escala de tempo que podem ir de horas até séculos. Assim, a noção de estabilidade da estrutura está ligada à sua habilidade em manter seu arranjo (sólidos e espaços vazios) quando o solo é exposto a diferentes situações ou estresses.

A forma imediata que o solo tem de manifestar qualquer alteração ambiental, seja de ordem física, química ou biológica, é refletida por modificações na organização de suas partículas primárias, ou arranjo estrutural. Esta relação é devida à importância daqueles fatores ligados à agregação, alguns dos quais são tratados em seguida.

a) Efeito da matéria orgânica e seus constituintes.

A literatura é farta em relatar a importância do carbono orgânico, ou da matéria orgânica, sobre a estrutura do solo WISCHMEIER et al. (1971), por exemplo, verificaram que abaixo de 3,5% de C (ou 60 g kg⁻¹ de matéria orgânica) os solos por eles estudados perdiam sua estabilidade. Para BENITO RUEDA & DIAS-FERROS VIQUEIRA (1989), este sintoma, para solos da Espanha, já pode ser verificado abaixo de 80 g kg⁻¹ de matéria orgânica. Para todas as categorias dos solos do Canadá, a matéria orgânica sempre revelou alta correlação com a estabilidade dos agregados (KEMPER & KOCH, 1969).

Para solos latinoamericanos tropicais, SÁNCHEZ (1981) verificou que a matéria orgânica afeta positivamente a estabilidade da estrutura macroagregada dos Oxisolos argilosos. EKWUE (1990) advogou o aumento da estabilidade dos agregados pelo efeito da molhabilidade que a matéria orgânica confere a eles. Essa ação é maximizada em solos de mata, diminuindo, sobremaneira, em solos cultivados (CARON et al., 1996). Há, assim, um comportamento hidrófobo do solo implementado pela matéria orgânica (HAYNES & SWIFT, 1960), que é muito freqüente em pastagens com gramíneas, cujos agregados reumedecem-se muito mais lentamente do que em solos sob culturas. É como se a matéria orgânica provocasse um aumento da viscosidade do líquido, retardando a presença de água nos poros dos agregados (CONCARET, 1967).

Comparando solos cultivados com os solos sob vegetação de cerrado do Brasil, NASCIMENTO et al. (1992) observaram que naqueles houve notável decréscimo de substâncias húmicas, pela biodegradação seletiva de frações de húmus lábeis, provocando diminuição na estabilidade dos agregados. Em mata substituída por cultivos, CAMARGO et al. (1997) verificaram notáveis reduções no aporte de carbono, modificando severamente a dinâmica da matéria orgânica do solo. Essa substituição acarretou perda da matéria lábil que liga os agregados, como certas estruturas radiculares, microbianas (fúngicas) e polissacarídeos (ELLIOT, 1986).

É clássico o trabalho sobre extração de matéria orgânica do solo, com fracionamento de seus constituintes realizado por DABIN (1982), caracterizando quimicamente os ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e a humina. Esse pesquisador mostrou posteriormente que os compartimentos de húmus evoluem distintamente nos diferentes climas.

CAGAUAN & UEHARA (1965) alertaram para a influência de estações marcadamente alternantes sobre a estabilidade dos agregados, com possibilidade de re-orientação da argila nos agregados. Para ANGERS & MEHUYS (1988), a variação sazonal afeta a estabilidade dos agregados.

Certamente, a estabilidade está intimamente ligada à intensidade da atividade biológica, de maneira que DINEL et al. (1991) comentaram que o teor total de matéria orgânica (C orgânico) não é suficiente para explicar variações na referida estabilidade. Para DORMAAR (1983), o teor de matéria orgânica em si não pode ser responsável pelo tamanho e estabilidade dos agregados grandes, ou macroagregados dos solos. CHANEY & SWIFT (1984) acrescentaram que certas frações da matéria orgânica é que são particularmente ativas na estabilidade dos agregados e, por isso, a matéria orgânica total não é suficiente para explicar certos comportamentos.

CARTER (1986) sugeriu que o carbono da biomassa microbiana pode ser usado como indicativo das primeiras alterações da matéria orgânica provocadas pelo cultivo do solo. O mesmo apontam FERTIG et al. (1996), ressaltando que aquele parâmetro representa um indicador mais sensível da dinâmica da matéria orgânica do solo do que o carbono orgânico total. ANGERS et al. (1992) utilizaram-se da biomassa microbiana para seus estudos da estabilidade de agregados e da porosidade do solo.

b) Influência da composição granulométrica (textura)

A resistência dos agregados do solo aos esforços externos aplicados é muito dependente da organização dos seus constituintes elementares, por sua vez altamente influenciada pelo conteúdo em argila (GUERIF, 1986). O rompimento de agregados, pela sua instabilidade à entrada de água nos poros, provoca a formação de novos agregados, com diâmetros médios menores, cujos tamanhos vão depender do teor de argila do material (BISSONNAIS, 1988).

Em geral, tem se verificado uma relação positiva entre a agregação e o teor de argila (CHESTERS et. al., 1957). Entretanto, para THOMASSON (1978), o efeito da textura sobre a estruturação so supera, em importância, a ação do regime de chuvas para condições de valores extremos de classes texturais: solos arenosos e argilosos. Também para SPOLON et al. (1997), certos usos agrícolas do solo, como gramíneas permanentes, mascaram o efeito de diferentes texturas. Porém, ELUSTONDO et al. (1990) verificaram que sob o mesmo uso agrícola (pastagem), ocorre maior agregação quando o teor de argila é mais elevado.

SÁNCHEZ (1981) atribuiu a grande estabilidade dos oxissolos argilosos à sua organização estrutural, em que as partículas primárias estão muito unidas, formando grânulos do tamanho das areias, graças ao alto teor de argila coadjuvado pela ação dos óxidos de ferro e alumínio.

Outro fator que pode afetar a estabilidade dos agregados, via textura, é a questão da dispersibilidade das argilas, já que se tratam de colóides. SHANMUGANATHAN & OADES (1983) admitiram que a argila "dispersável" influencia uma série de propriedades físicas e mecânicas do solo.

SCHULZE & STOTT (1997) observaram que a aplicação de calcário provocou certo aumento no teor de argila dispersa em água. Para SILVA et al. (1999), a adsorção de fosfato também pode provocar dispersão, concorrendo para o preenchimento dos poros com essas partículas.

KAY (1990) lembrou que fatores que influenciam a dispersibilidade das argilas, como certos componentes orgânicos gerados nas alterações da matéria orgânica, podem afetar a estabilidade da estrutura. Dentre tais fatores, a dissecação sazonal do solo pode induzir certa orientação na fração argilosa. Assim é, que CAGAUAN & UEHARA (1965) chegaram a admitir uma anisotropia ligada à orientação de partículas finas do solo, sendo que climas com estações alternantes refletiriam melhor este fenômeno, afetando a estabilidade dos agregados do solo.

c) Importância dos cátions de ligação da fração mineral-fração orgânica.

Determinados cátions exercem um papel de ponte de ligação entre os componentes minerais e orgânicos, na constituição dos agregados dos solos. Pelas cargas positivas, os óxidos de ferro funcionam como ponte de ligação das partículas do tamanho da argila (SCHWERTZMANN & TAYLOR, 1977). Os óxidos de ferro, de alumínio e de manganês participam ativamente das propriedades físico-químicas dos solos tropicais, pela grande dispersão em que aparecem, recobrando os minerais de argila, como finas películas. Particularmente o ferro e o manganês são muito sensíveis aos mecanismos de oxi-redução, podendo afetar a estabilidade dos agregados dos quais fazem parte.

TOWNSEND & REED (1971) constataram que os óxidos de ferro hidratados e/ou géis de alumínio podem precipitar, seguindo numa desidratação irreversível e promovendo grande floculação dos colóides do solo. Em decorrência, WAMBEKE (1962) comentou que essa estrutura em microagregados dos latossolos pode levar, impropriamente, a considerá-los como "sem estrutura", quando não adequadamente observados. Entretanto, EL-SWAIFY (1980) lembrou que os sesquióxidos tanto podem cimentar partículas unitárias (areia, silte e argila), formando microagregados, como estes últimos, gerando macroagregados. LEVÊQUE (1967) chegou a admitir que, nos solos ferralíticos da Guiana Francesa, o teor de argila estimado pode representar, de fato, metade do seu valor real, pela ação de agregação do ferro.

Nas "terras roxas" do Estado de São Paulo, PÉDRO et al. (1973) constataram dois níveis diferentes de dispersão das argilas, correspondentes a plasma distintos: um mais denso, vermelho, responsável pelas "pseudo-areias", e outro amarelo-avermelhado, menos denso, e facilmente dispersável, funcionando como cimento entre as pseudo-areias, freando o movimento da argila nos solos. Na Terra Roxa Estruturada de São Manoel (SP), PÉDRO et al. (1976) constataram que ocorria uma microagregação das partículas unitárias promovida pelo ferro, com a formação de nódulos resistentes. Num Latossolo Roxo próximo a Bariri (Jaú), expressiva ocorrência de pseudo-areias e pseudo-siltes foi também averiguada nesses solos basálticos (ESPINDOLA & GALHEGO, 1981).

Em latossolos argilosos de Campinas, FERNANDES (1993) atribuiu agregação mais acentuada aos mais ricos em ferro, derivados de produtos de alteração de rochas básicas (Latossolo Roxo), por comparação aos derivados de alterações de siltitos/argilitos (Latossolo Vermelho Escuro). Nos solos do Haváí, para semelhantes teores de argila, de matéria orgânica e de composição mineralógica, UEHARA et al. (1962) observaram que as diferenças na estabilidade de seus agregados foram devidas aos diferentes teores de Fe_2O_3 .

Em solos cultivados, o manejo agrícola pode promover certa influência, pela introdução de certos componentes no sistema solo. É o caso, por exemplo, da aplicação de fertilizantes e corretivos químicos, como os calcários. Assim, no Latossolo Roxo do Estado do Paraná, ROTH et al. (1991) verificaram alta correlação do alumínio e do cálcio com o índice de estabilidade de agregados: o Al^{+++} mostrou-se mais importante na faixa de pH ácido, e o Ca^{++} , após a aplicação de calcário, para correção da acidez.

DUCHAUFOR (1968) ressaltou a ação dos cátions bivalentes Ca^{++} e Mg^{++} e dos trivalentes Al^{+++} e Fe^{+++} , como ponte de ligação entre partículas de solo. A importância dos primeiros está mais restrita a solos com argilas 2:1 (como nos vertissolos). O ferro é especialmente importante pela sua afinidade particular com certos componentes húmicos, formando complexos argilo-húmicos. O alumínio assume muita importância para os solos ácidos, com pH inferior a cinco, complementando a ação do ferro e provocando forte floculação nos agregados pouco húmicos.

FERREIRA (1997) atribuiu ao ferro dos solos da região de Bauru (SP), um papel muito mais importante do que o do cálcio, com relação à complexação e imobilização de certas substâncias húmicas, formando complexos organo-minerais e gerando agregados, numa condição de arejamento muito favorável à mineralização da matéria orgânica.

Em latossolos de cerrado, NASCIMENTO et al. (1992) verificaram que os óxidos de ferro e alumínio podem provocar insolubilização dos colóides húmicos, concorrendo para a constituição de um húmus altamente resistente aos fatores externos.

Um dos efeitos mais importantes que ocorre com a incorporação de matéria orgânica no solo é o favorecimento da sua agregação e da sua formação de agregados. A formação e estabilização dos agregados, melhorando as condições de aeração e infiltração, é uma das importantes funções da matéria orgânica. A propriedade que tem o húmus, de formar complexos com argilas, favorece a formação dos agregados. Muitos estudos têm sido feitos nesse sentido, demonstrando que os microorganismos exercem papel importante no processo, pela produção de substância com gomas (polissacarídeos) que ligam as partículas dos solos (MARTIN et al., 1987).

Normalmente, cultivos contínuos degradam o solo, afetando a estrutura, aumentando a sua densidade e diminuindo a porosidade e a infiltração. A rotação de culturas e as culturas sucessivas têm sido indicadas como meio de restaurar as propriedades físicas. Estudos efetuados por FAHAD et al. (1982) mostraram que soja contínua por 6 anos é prejudicial para a estrutura do solo, diminuindo os macroporos e a estabilidade dos agregados, além de revelar uma menor taxa de infiltração da água no solo.

d) Influência das práticas de uso e manejo do solo

São reconhecidos os efeitos que a vegetação natural promovem sobre a camada superficial do solo, principalmente na elaboração de agregados grandes (macroagregados). Essa estrutura, por vezes de aspecto grumoso, está diretamente ligada aos contínuos aportes de materiais orgânicos, garantindo maiores estocagens de carbono, ainda que a mineralização seja intensa nas regiões tropicais úmidas. Para PRIMAVESI (1980), esses grumos constituem a bio-estrutura resultante de uma agregação química conjugada com uma atividade biológica promovida pela condição florestal.

Mesmo o cerrado, com uma densidade vegetativa de espécies francamente inferior à das matas, costuma revelar seus efeitos favoráveis à estruturação do solo (NASCIMENTO et al., 1992; LONGO et al., 1996), quando se o compara com o solo cultivado. Observações semelhantes ocorrem para vegetação natural de campo e mato nativo (CARPENEDO & MIELNICZUCK, 1990).

As práticas de manejo influenciam diretamente o tamanho, a distribuição e a estabilidade dos agregados do solo (YODER, 1936; ELLIOT, 1986). O diâmetro médio dos agregados será tanto menor quanto mais intensa for a mobilização adotada no sistema de cultivo do solo (AINA, 1979). Uma das razões possíveis é a redução dos níveis de matéria orgânica, de fundamental importância à estabilização dos agregados do solo (TISDAL & OADES, 1982).

O cultivo, de modo geral, modifica as propriedades físicas dos solos, pois mesmo as práticas culturais mais simples, como as capinas manuais, podem proporcionar certa pulverização de sua superfície (RUSSEL & RUSSEL, 1961). Essas propriedades físicas deterioram-se especialmente quando os solos são intensamente cultivados (SKIDMORE et al., 1975).

Os macroagregados dos solos não cultivados dependem, em geral, de agentes cimentantes temporários, garantidos pelos aportes de materiais orgânicos (TISDALL & OADES, 1982). O manejo faz com que fatores de natureza química, física e biológica interajam, de forma contínua, promovendo a degradação ou a recuperação da estrutura do solo cultivado.

PARDO et al. (1997) chegaram a considerar como uma verdadeira migração da fertilidade do solo o efeito provocado pelo cultivo em direção aos microagregados, em razão do decréscimo de nutrientes dos agregados maiores (macroagregados, como da mata), a partir dos padrões de distribuição dos componentes ou fração da matéria orgânica. De fato, vários fatores interferem na fertilidade do solo, e KAY (1990) lembrando que, além do efeito direto da matéria orgânica sobre os agregados, há também o efeito indireto sobre a porosidade e sobre o conteúdo de água. YAO et al. (1986) constataram um decréscimo dos agentes cimentantes, que de certa forma estavam ligados à liberação e retenção de nutrientes, em agregados de 1 a 10 mm de diâmetro, em solos cultivados.

Para os solos já despidos de suas vegetações originais, há que se considerar a importância da intensidade de manejo, relacionada às maiores ou menores mobilizações impostas pelas diversas modalidades de uso. Nesse sentido, as gramíneas usualmente revelam características favoráveis à agregação, sobretudo com anos prolongados de uso, como nas

pastagens. LAVELLE & PASHANASI (1989) comentaram que, enquanto a floresta afeta muito a natureza da camada superficial do solo, rica em serrapilheira (efeito epigênico), as gramíneas revelam proporcionar um efeito endogênico, afetando mais a sua matéria orgânica.

O sistema radicular extenso e denso das gramíneas em pastagens perenes é muito efetivo na estruturação do solo, estando em constante renovação (HARRIS et. al., 1966). Em oposição, cultivos prolongados com culturas anuais provocam diminuição da matéria orgânica e da estabilidade dos agregados (SILVA & MIELNICZUK, 1997). CARON et al. (1996) encontraram evidências da degradação de solos com cana-de-açúcar, em áreas com mais de vinte anos de cultivo, até a profundidades que chegam a atingir um metro da superfície. Considerações explícitas para essas ocorrências são apresentadas por HAYNES & SWIFT (1960), baseadas na natureza dinâmica dos compostos orgânicos, afetando a estabilidade dos agregados. Assim, o uso prolongado do solo com pastagem concorre para uma produção de mucigels (polissacarídeos exocelulares de microorganismos), favoráveis à agregação, aliada ao efeito da ampla população microbiana associada à rizosfera. Os autores lembraram que essas condições das pastagens refletem um comportamento hidrófobo da matéria orgânica, ligada a menor molhabilidade, já anteriormente referida.

Em se tratando de culturas que requerem grande mobilização do solo, como as culturas anuais, ANGERS (1992) lembrou que a espécie vegetal também afeta muito a estabilidade dos agregados e os teores de carbono. KAY (1990) explicitou a importância dos tipos de raízes que exploram o solo.

BONI et al. (1994) desenvolveram um projeto de recuperação de um Latossolo Roxo decapitado e compactado, utilizando leguminosas, cujo sistemas radiculares usualmente revelam condições favoráveis à estruturação do solo, como ainda a possibilidade de utilização do referido vegetal como adubo verde. Atualmente este solo esta plenamente integrado aos demais do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas.

Nesta mesma área experimental, em faixas contíguas, ESPINDOLA & FRACASSI (1996) puderam constatar o efeito benéfico de práticas de manejo tidas como "conservacionistas", como o plantio direto, sobre a agregação e a permeabilidade do solo. Em talhões experimentais aí instalados, LUCARELLI et al. (1996) puderam avaliar efeitos da

agregação, das perdas de nutrientes e da terra arrastada, em oito tipos de manejo ligados ao preparo do solo. Os sistemas conservacionistas revelaram resultados muito positivos com relação à preservação do solo, por comparação àqueles referentes as práticas tradicionais (arações, gradagens).

Nos últimos anos o plantio direto vem se constituindo numa prática de plantio em franca expansão, graças aos seus efeitos positivos para os solos e, em consequência, para as características ambientais. Ele tem se revelado muito apropriado para as nossas condições brasileiras, como mostra o trabalho de BAYER et al. (1997), que encontraram aumento de material orgânico, com sua estabilização após cinco anos consecutivos da técnica, enquanto que a fração mais estável continuava a se acumular no solo. Mesmo sob condições climáticas em que a agressividade contra a matéria é menor, o plantio direto tem sido implementado, contrapondo-se às práticas convencionais, tendo BEARE et al. (1994) verificado efeitos muito positivos no acúmulo do carbono orgânico do solo.

2.4 ESTUDOS MICROMORFOLÓGICOS EM SOLOS

A visualização da estrutura do solo no campo possibilita certa verificação de alterações impostas pelo sistema de preparo e pelo tipo de cultura praticada. Porém, para o estudo detalhado de determinadas modificações, em escala milimétrica ou micrométrica, faz-se a utilização de aparelhos microscópicos e lâminas delgadas, para melhor visualização dos constituintes da sua estrutura (CASTRO, 1985; CURI et al., 1985).

Os solos cultivados sofrem modificações em seus constituintes físicos químicos e biológicos, com alterações da pedalidade* e na organização espacial das suas partículas que podem levar a um decréscimo da porosidade total, redução da macroporosidade e aumento da microporosidade (JONGERIUS, 1982). Estas modificações são resultados de distúrbios induzidos por ação de implementos agrícolas, que alteram as formas e o tamanho dos agregados.

* Constitui a relação entre os materiais sólidos do corpo do solo e os espaços vazios, podendo ocorrer em três graus distintos: fortemente desenvolvida, quando as unidades subarredondadas estão inteiramente separadas; moderadamente desenvolvida, em que as unidades ainda não estão inteiramente separadas e fracamente desenvolvida quando as unidades, ainda incipientes, apresentam reduzida porosidade interagregada.

LUCARELLI (1997), estudando a micromorfologia do horizonte Bw de um Latossolo Roxo em Campinas, identificou uma estrutura microagregada bem desenvolvida, com unidades ovais e subarredondadas, definidas com uma área de vazios em torno de 45%, com predomínio da porosidade interagregada. Verificou a presença de agregados bem arredondados, com a presença de dois tipos de poros: os de canais, ou poros tubulares, que são de origem biológica, e os poros interagregados, resultantes do espaço entre os microagregados. Os poros tubulares são comuns no horizonte Ap das áreas com plantio direto, diminuindo em direção ao Bw1, caracterizando uma grande atividade biológica.

Curiosamente, em Latossolo Roxo cultivado com cana-de-açúcar, LIMA (1995) observou que o fundo matricial não se modificou com o cultivo, permanecendo a mesma do solo com vegetação natural de mata. Certas alterações observadas foram relativas à dimensão e coalescência das unidades estruturais, tendo atribuído o fato, provavelmente, à composição mineralógica (altos teores de óxidos de ferro), favorecendo maior resistência às modificações causadas pelo manejo, principalmente nos agregados com diâmetro menor que 250 μ (TISDAL e OADES, 1980), ou seja, ressaltando a importância dos óxidos de ferro sobre a agregação. No mesmo trabalho, o autor constatou que a reorganização do espaço poroso, como consequência do cultivo, refletiu um decréscimo dos poros interagregados, identificados como macroporos. As galerias de formigas e cupins pareceram sofrer menos os efeitos das práticas de manejo, uma vez que continuaram presentes com o cultivo.

Em latossolo argiloso no município de Campinas, FERNANDES (1993) observou, além da estrutura de base, a presença de estrutura do tipo estriada circular concêntrica, onde as zonas anisotrópicas apareciam arranjadas em anéis concêntricos, em geral acompanhando o formato da superfície dos micropedes. Segundo BULLOCK et al. (1985), este tipo de estrutura de base é típico de horizonte óxico.

Nos solos sob cultivo, principalmente nas camadas superficiais, o aumento de microagregados está relacionado à destruição da macroestrutura, pelos efeitos do preparo do solo e do impacto da gota da chuva. Segundo TISDALL & OADES (1982), a boa estrutura para o crescimento das plantas depende da presença de agregados de 1 a 10 mm de diâmetro, que permanecem estáveis quando molhados.

Comparações feitas por CERRI, (1986), em latossolos, após o desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar, mostraram que as modificações microestruturais afetaram principalmente a parte superior do perfil do solo. Houve formação de estrutura e porosidade próprias aos horizontes cultivados, decorrente da fragmentação e compactação dos horizontes superficiais, onde os microporos de diâmetro entre 5 e 30 micrômetros, inicialmente mamelonados e comunicantes no solo virgem, tornaram-se planares e descontínuos após o cultivo.

Em solos cultivados por 49 anos, MARTIN et al. (1987) observaram que as práticas de manejo foram responsáveis pela grande variação no tamanho dos agregados. O ambiente superficial, com pedalidade bem desenvolvida e porosidade comunicante, deu lugar a um fundo matricial porfirico denso, com redução da macroporosidade, devida à coalescência dos agregados.

CURI et al. (1985) alertaram para a necessidade de um acompanhamento das interpretações micromorfológicas por observações detalhadas de campo, em perfis do solo, em virtude da grande variabilidade da sua estrutura, provocada pelas práticas de cultivo.

A erosão do solo pode ser reflexo, em superfície, de modificações que ocorrem em profundidade, em geral de ordem estrutural, e cujos fatores são múltiplos (RUELLAN, 1988). O autor insiste, sobre a necessidade de se atentar, ao fato de que o essencial dos problemas de conservação dos solos depende muito mais dos seus estados morfológico e biológico, do que do seu estado químico. Apesar da importância das análises químicas, para avaliar certas propriedades e qualidades dos solos, elas são insuficientes e, muitas vezes, inadequadas para abordar os principais problemas levantados pela utilização e pela conservação dos solos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A escolha da área decorreu, em parte, das facilidades oferecidas pelos proprietários da Fazenda Bananal, em Bariri (SP), que têm essencialmente a agricultura como base de sua economia, conseqüência da origem agrícola de sua população e das características favoráveis de seus solos. Outro aspecto é que a propriedade apresenta condições favoráveis aos propósitos estabelecidos, quais sejam: atividade agrícola tradicional e intensiva durante vários anos, solos produtivos, a presença de um cultivo de citros e cana-de-açúcar, lado a lado, em situação de seqüência topográfica.

3.1.1 Localização e meio físico

O trabalho foi desenvolvido em áreas cultivadas da Fazenda Bananal, no município de Bariri (SP), região central do Estado, pertencendo à Província Geomorfológica do Planalto Ocidental, nas proximidades do ponto geográfico de coordenadas 22°04'00"S e 48°42'00"WGr, conforme esquematizado na Figura 1.

O tipo climático da região é o Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, que se caracteriza por apresentar-se como tropical úmido com um inverno seco e temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente não ultrapassando 22°C; o total das chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm. O índice pluviométrico deste tipo climático varia

entre 1.100 e 1.700 mm, e a estação seca nesta região ocorre entre os meses de abril e setembro, sendo o período mais chuvoso entre janeiro e fevereiro. A temperatura do mês mais quente oscila entre 22 e 24°C.

A vegetação natural da região aparece isoladamente como maciços residuais de uma floresta latifoliada tropical, e as litologias são representadas por materiais de alterações de rochas do Grupo Bauru, sobrepondo rochas básicas (basalto) e suas alterações. No Mapa de Solos do Estado de São Paulo (BRASIL, 1960), a unidade de mapeamento cartografada é o LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO fase arenosa, que na nomenclatura taxonômica atual passou a ser referida por LATOSSOLO VERMELHO (EMBRAPA, 1999).



Figura 1 - Situação geográfica do município de Bariri (SP) e localização da Fazenda Bananal.

Em um trabalho anteriormente desenvolvido, num desses remanescentes de mata natural, em área adjacente à estudada pelo presente trabalho, porém em outra seqüência topográfica, SOARES & ESPINDOLA (2001) assinalaram a presença de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (Argissolo). O intuito era encontrar um solo de mata (inalterado por práticas agrícolas), que servisse de comparação para a análise dos parâmetros a serem estudados na vertente escolhida. Entretanto, não ocorria essa possibilidade, mas os dados desse perfil foram aqui inseridos, à guisa de certas comparações possíveis, como, por exemplo, a questão da condição dos agregados da camada superficial, resguardando as diferenças, principalmente das composições granulométricas. Esses dados constam no Quadro 2.

Quadro 2. Alguns atributos do solo sob mata natural na Fazenda Bananal.

Horizonte cm	Densidade		Granulometria				M.O	Porosidade (Pd)			A.N	DMP	
	Partícula	Solo	AG	AF	S	A		mP	MP	Total			
		— kg dm ⁻³ —	Perfil sob vegetação nativa				g kg ⁻¹	— m m ⁻³ —			%	mm	
A1	0-7	2,50	1,34	340	440	110	110	44	0,21	0,35	0,56	10	3,48
A2	7-14	5,54	-	290	510	80	120	24	-	-	-	10	2,63
AB	14-37	2,54	1,49	290	560	60	90	12	0,21	0,28	0,49	8	2,22
BA	37-70	2,56	1,43	280	530	60	130	9	0,25	0,27	0,52	13	0,75
Bt	70-120	2,63	-	220	410	80	290	8	-	-	-	29	0,44

Obs: AG=Areia Grossa, AF=Areia Fina, S=Silte, A=Argila, Pd=Porosidade determinada (mP=Microporosidade e MP=Macroporosidade); DMP - Diâmetro mediano ponderado; A.N=Argila Natural e M.O=Matéria orgânica do solo

Foram estabelecidos seis perfis verticais, de solos distribuídos em conjunto de três dispostos paralelamente ao longo de uma seqüência topográfica, respectivamente retirados em áreas cultivadas com citros e cana-de-açúcar. Em área contígua, perto da situação de topo, ocorre uma pequena mata natural, cujo solo foi objeto de estudos anteriores, com algumas de suas características aqui apresentadas, para comparações com o solo manejado, uma vez que as comparações que mais interessariam, infiltração da água no solo e porosidade, não seriam apropriadas, por se tratar de um solo de classe taxonômica diferente (Podzólico ou Argissolo). Na Figura 2 é apresentado um esquema da área de trabalho, mostrando a topografia do terreno e a localização dos perfis onde foram coletadas amostras para caracterização dos solos.

As observações foram feitas em diferentes posições da encosta, com as trincheiras para descrição geral dos solos posicionadas entre plantas, em vertente convexa de aproximadamente 2.000 m de extensão. A topografia apresenta-se com relevo suave ondulado, com declividade variando de 4 a 8% e a altimetria em cotas variando de 550 m nas posições mais elevadas para 460 m nas posições mais baixas (Figura 3).

3.1.2 Histórico das atividades agrícolas

As áreas foram desmatadas em 1927, para a introdução da cultura do café, que se manteve durante cinco décadas, sendo substituída por citros, milho, cana-de-açúcar e algumas áreas com pastagem, sempre sob sistema convencional de manejo (Tabela 1). As práticas culturais adotadas são aração e gradagem no preparo do solo para o plantio e aplicação mecanizada de calcário e fertilizantes, além de produtos fitossanitários para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Para a introdução da cultura da cana-de-açúcar o solo foi subsolado a uma profundidade de 30 cm, para corrigir possíveis áreas compactadas.

Tabela 1. Histórico das atividades agrícolas na Fazenda Bananal.

Posição na encosta	Terço superior		Terço médio		Terço inferior	
	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6
Em 1927	Desmata- mento	Desmata- mento	Desmata- mento	Desmata- mento	Desmata- mento	Desmata- mento
1927-1945	Café	Café	Café	Café	Café	Café
1946-1972	Café	Café	Café	Café	Café	Café
1973-1982	Café	Café	Café	Café	Café	Café
1983-1993	Citros	Café	Milho	Milho	Milho	Milho
1994 (atual)	Citros	Cana-de- açúcar	Citros	Cana-de- açúcar	Citros	Cana-de- açúcar

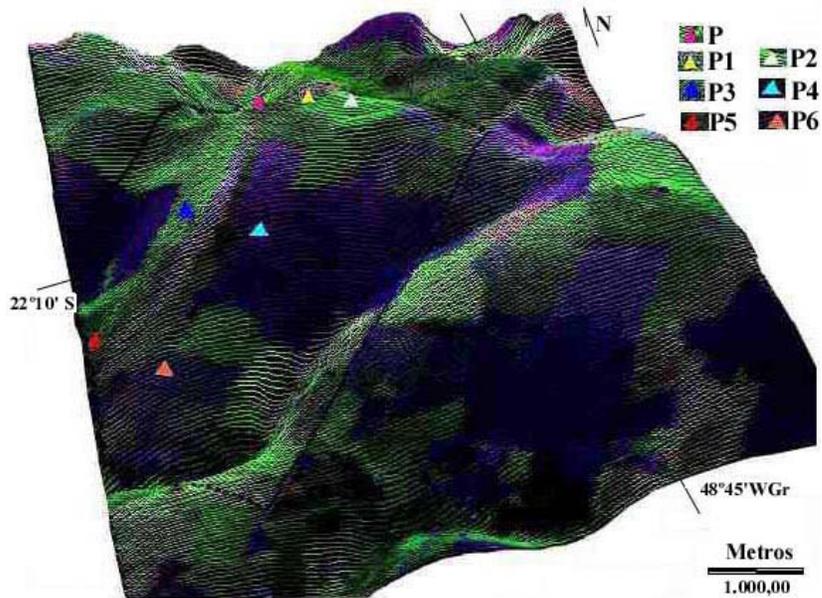


Figura 2. Imagem de satélite com a paisagem e os pontos de coleta de solo: P, Mata Nativa; P1, P3 e P5 - Citros; P2, P4 e P6 - Cana-de-açúcar (Escala vertical aumentada para melhor visualização do relevo).

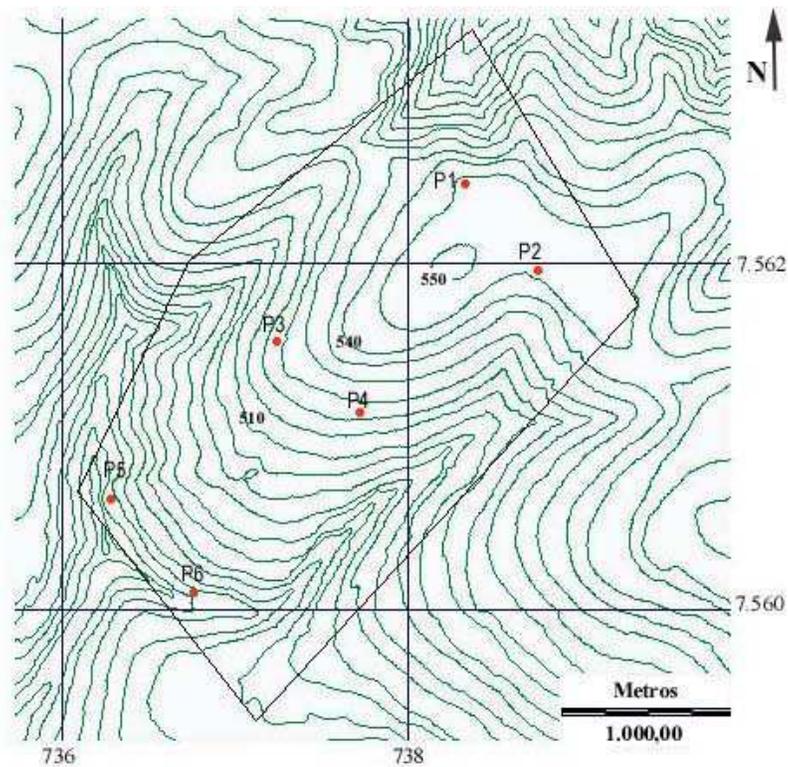


Figura 3 - Mapa planialtimétrico da área, Fazenda Bananal, com a localização dos pontos de coletas de solo: P1 e P2, terço superior; P3 e P4 terço médio e P5 e P6 terço inferior.

3.1.3 Coleta de solos para análises

A escolha das áreas para a descrição de perfis de solos e coleta de amostras obedeceu à posição na encosta, onde foram retirados materiais para análises laboratoriais e procedidas avaliações *in situ* da capacidade de infiltração da água no solo. Assim, nas posições de terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI) da seqüência topográfica foram escolhidas áreas cultivadas com cana-de-açúcar e citros, para caracterização dos solos e definição das variáveis a serem analisadas estatisticamente.

Foram procedidas caracterizações morfológicas dos perfis em trincheiras, seguindo as recomendações gerais de LEMOS & SANTOS (1996), procurando-se observar toda a “parede” da seção vertical. Foram abertas também pequenas trincheiras com profundidade inferior a um metro para atender às análises estatísticas. Neste caso, as coletas com repetições foram realizadas em posições do perfil definidas após análise morfológica, ou seja: nas camadas superficiais (10-20 cm) com grande mobilização do solo; em subsuperfície (20-30 cm) onde se refletem com maior intensidade os efeitos do uso e manejo, e nas camadas mais profundas (60-70 cm) praticamente não atingidas pela ação antrópica.

De cada horizonte foi coletando cerca de 1 a 2 kg de solo, indo parte para secagem ao ar com o posterior destorroamento (TFSA), destinados as análises de rotina (análises granulométricas, químicas e de densidade das partículas) e parte reservada para análises de agregados. Também foram tomadas amostras indeformadas para a análises de respirometria e em anéis volumétricos, para obtenção das curvas características de umidade do solo e determinação da porosidade e densidade do solo.

O plano amostral utilizado, para fins de comparações estatísticas consistiu de dez coletas simples casualizadas, nas profundidades de 0-10, 20-30 e 60-70 cm, nas referidas posições da vertente, com distância mínima de 25 m, as quais foram conduzidas aos laboratórios de solos para análises. Alguns horizontes foram amostrados individualmente, para análises micromorfológicas, particularmente onde se observaram certos comprometimentos da estrutura (deformação pelo manejo agrícola), comparando-se com camadas mais profundas e menos alteradas.

3.1.4 Infiltração da água no solo.

Os testes de infiltração da água foram realizados com o auxílio de permeâmetro de carga constante no campo, modelo IAC (BERTOLANI, 1998), que foi modificado a partir do Permeâmetro de Guelph desenvolvido por REYNOLDS & ELRICK, (1985), cujo fundamento é baseado no princípio de Mariotte. Foram amostrados quatro pontos por área de observação, às profundidades de 0 a 10, 20 a 30 e 60 a 70 cm, com perfurações feitas com trado holandês. Para cada um desses pontos foram realizadas leituras com cargas hidráulicas correspondentes a três cm e a seis cm de coluna de água. As leituras foram feitas inicialmente com carga de três cm de altura a cada minuto e após leituras constantes, determinadas por quatro diferenças iguais entre leituras, elevou-se à carga para seis cm de altura, e repetiu-se a operação, atentando-se para o fato de que a leitura submetida a carga hidráulica de seis cm deve ser superior em 30% da observada na carga menor.

3.1.5 Análises de laboratório

As análises granulométricas e de distribuição por tamanho e estabilidade de agregados em água foram realizadas no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas FEAGRI/UNICAMP. A porosidade, a densidade do solo e da partícula e curva característica de retenção da água foram determinadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agrônomo de Campinas IAC. As análises químicas, micromorfológicas e microbilógicas (respirometria) foram conduzidas nos Laboratórios da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP, em Piracicaba.

3.1.5.1 Análise Granulométrica

Foi realizada pelo método da pipeta, com generalidades descritas pela EMBRAPA (1979). Procedeu-se a dispersão de 10 g de TFSA em 50 ml de solução dispersante (20 g de NaOH em 5L de água destilada, mais 50 g de hexametáfosfato de sódio), com agitação rotacional a 30 rpm, em agitador Wiegner, com garrafas de Sthoman, por 16 horas. Em seguida, a suspensão foi transferida para uma proveta graduada de 500 ml, passando por uma peneira com malha de 0,053 mm e o volume completado com água destilada. O material retido na peneira foi

lavado, seco e pesado, correspondendo à areia total (AT), que foi fracionada, após seca, em Areia Grossa (diâmetro variando de 2,0 a 0,2 mm) e Areia Fina (0,2 a 0,05 mm), sendo na suspensão do solo, determinados os teores de argila e silte fino por pipetagem, e a porcentagem de silte grosso determinado por diferença.

3.1.5.2 Argila Natural (dispersa em água) e Grau de Flocculação (GF)

Para determinação da argila natural foi utilizada a metodologia anteriormente descrita, sem, entretanto, o uso de solução dispersante, possibilitando o cálculo do Grau de Flocculação pela fórmula:

$$GF = \frac{\text{Argila Total} - \text{Argila Natural}}{\text{Argila Total}} \times 100$$

3.1.5.3 Distribuição dos agregados estáveis em água

A análise da distribuição e estabilidade dos agregados em diferentes classes de tamanho foi realizada segundo o Método de Avaliação de Porcentagem de Agregados – via úmida, proposto pela EMBRAPA (1979), pelo qual a amostra foi disposta em um jogo de peneiras adaptadas a um dispositivo mecânico idealizado por YODER (1936), que efetua um movimento de oscilação vertical a 40 rpm dentro de um recipiente contendo água, por um período de 30 minutos.

Os diâmetros mediano ponderado (DMP) foram calculados segundo recomendações de KIEHL (1979), obtendo-se agregados com diâmetros entre 6,35 - 2,00 mm; 2,00 - 1,00 mm; 1,00 - 0,50 mm; 0,50 - 0,250 mm; 0,250 - 0,125 mm. Após o tamisamento as amostras foram postas a secar em estufa a 105°C, durante 24 horas e, posteriormente pesadas, para cálculo das porcentagens. Por diferença, foram obtidos os pesos dos agregados que passaram pela peneira de 0,125 mm.

3.1.5.4 Curva característica de umidade do solo

Utilizou-se o método da “mesa de tensão”, descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 1979). Trata-se de um método tensiométrico, posto que se baseia na aplicação de tensão para remover a água de amostras saturadas. Essa tensão, ou deficiência de pressão, é obtida por diferença de nível entre dois terminais de coluna de água, que permite elaborar a curva de retenção de água, cujos resultados permitiram determinar, além dos parâmetros de retenção de água, a densidade do solo, a porosidade total, macro e microporosidade.

As amostras indeformadas, obtidas em anéis volumétricos de 100 cm³, foram colocadas em bandejas plásticas para saturação por um período de 24 horas. Em seguida as amostras foram colocadas na mesa de tensão circular de 0,60 m de diâmetro e 15 cm de altura, fechada com tampa e cujo meio de tensão é constituído de esferas de vidro com diâmetro médio de 35 µm, utilizada para tensões até -8 kPa, sendo medidas as massas dos solos após terem atingido o equilíbrio e não mais perderem água, nas tensões de -0,5, -2 e -6 kPa. Posteriormente as mesmas amostras foram levadas às painéis de pressão com placas porosas de Richards (RICHARDS, 1965) para determinação de retenção de água nas tensões de -10, -30 e -100 kPa, pesando-se as amostras após equilíbrio em cada tensão. Em seguida o solo foi retirado dos anéis, esborroado e peneirado em malhas de 2 mm para se fazer a determinação dos pontos correspondentes a -300 e -1.500 kPa.

3.1.5.5 Densidade

Densidade de partículas

Para a determinação da densidade de partículas utilizou-se o método do álcool etílico, descrito em CAMARGO et al. (1986), no qual 20 g de TFSA (após secagem a 105°C) são transferidos para um balão volumétrico aferido a 50 ml. Em seguida adicionam-se 25 ml de álcool etílico, agitando delicadamente, deixando em repouso até o dia seguinte. Com auxílio da bureta, o volume do balão é completado com álcool etílico, vagarosamente, para eliminar as bolhas. A densidade real é obtida pela fórmula: $D_r \text{ (kg dm}^{-3}\text{)} = \text{Peso da amostra seca} / (50 - \text{volume de álcool gasto})$.

Densidade do solo

Para determinação da densidade do solo as amostras foram postas a secar em estufa a 105°C, para posterior pesagem; a relação entre o peso e o volume confere a densidade global ou densidade do solo.

3.1.5.6 Porosidade

Porosidade total determinada, macro e microporosidade.

O volume de poros totais, macro e microporosidade foram determinados pelo método direto, que consiste em utilizar os valores obtidos na curva de retenção de água para os cálculos. Obteve-se o volume total de poros determinado (Ptd) considerando-se o valor de saturação, pois, quando a amostra está saturada, todos os seus poros são preenchidos por água. A macroporosidade foi obtida pela diferença da umidade de saturação e a umidade obtida sob a tensão de -6 kPa; a microporosidade foi considerada como a umidade obtida na tensão de -6 kPa.

Porosidade total calculada.

A porosidade total do solo foi calculada pelo volume total de poros (VTP%), a partir da densidade do solo (Ds) e da densidade de partículas (Dp) mediante a fórmula: $VPT\% = 1 - Ds/Dp \times 100$.

3.1.5.7 Análises químicas de rotina.

As amostras de terra fina seca ao ar (TFSA) foram submetidas às análises químicas, tendo se determinado o teor de matéria orgânica (M.O), por oxidação pelo H₂SO₄ e por quantificação calorimétrica (Método Walkley-Black); o fósforo disponível (P) e teores de potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos pela resina trocadora de íons, sendo o P quantificado por calorimetria, o K por fotometria de chama e o Ca e o Mg por espectrofotometria de absorção atômica; os teores de Al foram extraídos pelo KCl 1N e

determinado por titulação ácido-base, e o H^+Al pela solução de acetato de cálcio 1N a pH 7; os valores referentes à capacidade de troca de cátions (T), a soma e as saturações por base e alumínio (SB, V e m, respectivamente) foram obtidos a partir de cálculos, com base nos cátions determinados.

O pH em KCl 1 mol L⁻¹ (acidez ativa) foi obtida pela medida do hidrogênio (H⁺) com eletrodo combinado de vidro na suspensão de solo numa relação solo / solução de 1 : 2,5. Para determinação do pH em água manteve-se a forma de leitura, substituindo-se apenas a solução utilizada.

3.1.5.8 Análise biológica (Respirometria)

A respirometria é um método que determina a quantidade de carbono liberada do solo na forma de CO₂, resultante da decomposição da matéria orgânica pela sua comunidade microbiana quimiorganotrófica. Por esse método pode se quantificar o carbono que está sendo degradado no solo, e também verificar se o uso continuado de agricultura tradicional está ou não comprometendo a atividade microbiana na decomposição e mineralização da matéria orgânica.

Amostras de 50 g de solo em cadinho de vidro, contendo 10 ml de NaOH 0,5 N, foram introduzidos em um jarro de vidro, que foi hermeticamente fechado e mantido em sala climatizada à temperatura constante de 28°C, diariamente foram realizadas as determinações de CO₂ absorvidos pela soda em equipamento FIA (Flow Injection Analyses). Após cada leitura a soda foi substituída e o frasco novamente fechado.

3.1.5.9 Análise micromorfológica

Para a descrição micromorfológica foram coletadas amostras indeformadas com o auxílio de caixas de Kubiena, com dimensões de 12 cm x 8 cm x 4 cm, em posições das paredes dos perfis previamente estabelecidas pela análise macromorfológica, para posterior impregnação e confecção das lâminas delgadas (Figura 4).

O preparo do material para essa análise foi efetuado no Laboratório de Micromorfologia da ESALQ/USP, seguindo critérios descritos por BREWER (1976), DELAYE, (1984) e CASTRO (1985). As amostras foram modeladas em formas retangulares acondicionadas em recipiente de alumínio e levadas à estufa para secagem a uma temperatura de 45°C, por um período de 12 h. Em seguida procedeu-se a impregnação com uma mistura de Resina Ortoftálica T208, Monômero de Estireno (diluyente) e Butanox (catalisador), sendo colocadas em um dessecador interligado a uma bomba de vácuo, para eliminação do ar do sistema. Em seguida o material foi levado à estufa a 45°C por um período não inferior a 12 h, para retirar a umidade, sendo posteriormente impregnada com a mistura monômero/catalisador. Após a impregnação, as amostras foram deixadas em temperatura ambiente, por um período de 6 a 7 dias, e em seguida resfriadas, dando início à laminação. As secções das amostras impregnadas foram obtidas em serra diamantada, com polimento a partir de pó de silício.

O material foi colado com araldite ultra forte em placas de vidro, sendo submetido a um desgaste em rebolo diamantado e polimento com pó de silício. Em seguida as lâminas delgadas foram observadas em microscópio petrográfico, monitorando-se para uma espessura de 30 µm, quando o quartzo revela cor cinza. Além dos aspectos ligados à fase porosa do solo, relacionados aos aspectos de compactação, foram observadas feições ligadas à ação biológica, notadamente às presenças de excreções dos mesorganismos, com a finalidade de observar as alterações de que os sistemas de uso e manejo praticados oferecem à micro e mesofauna.

Foram amostradas situações identificadas, em campo, como decorrentes da ação antrópica (uso e manejo), a partir das descrições morfológicas, principalmente feições ligadas à deformação da estrutura, por compactação mecânica. Essas amostras para interpretações micromorfológicas (lâminas delgadas) foram retiradas como mostra a Figura 4a, sendo: 0 a 10 cm, camada de grande mobilização do solo onde são realizadas as principais atividades de manejo; 20 a 30 cm em posições em que são refletidos os principais efeitos da ação de implementos agrícolas, e 60 a 70 cm, em camadas mais protegidas da ação antrópica, mantendo as características naturais do solo, em conformidade com as observações efetuadas nas seis trincheiras abertas.

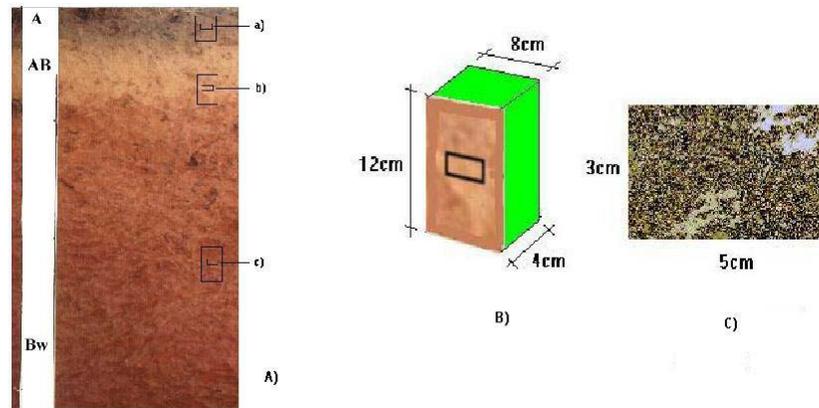


Figura 4 - A) Pontos de amostragem para as observações micromorfológicas: a-camada de 0 a 10 cm; b-camada de 20 a 30 cm e c-camada de 60 a 70 cm); B) Monolito de solo e C) Lâmina delgada.

A descrição das lâminas delgadas seguiu critérios propostos por BULLOCK et al. (1985) e CASTRO (1989) para identificação dos constituintes do fundo matricial (plasma, esqueleto e poros representados na Figura 5) e identificação das estruturas de base e identificação das feições pedológicas (pedotúbulos, cutãs, nódulos e outros). A micromorfografia teve suporte da microscopia petrográfica com aparelho equipado com um microscópio ótico polarizante Zeiss e uma lupa binocular Wild, ambos sob luz normal e polarizada. As observações foram registradas em fichas com posterior descrição micromorfológica.

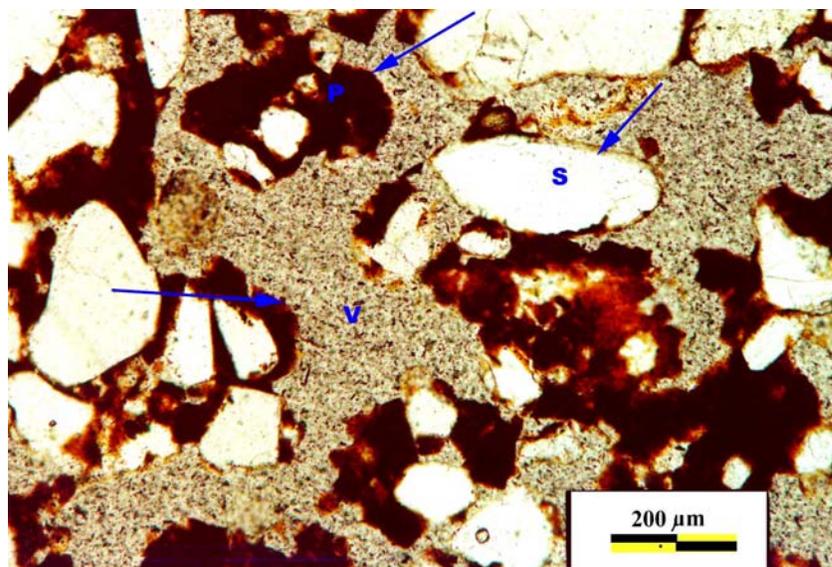


Figura 5 - Fotomicrografia de lâmina delgada representando os constituintes de fundo matricial, plasma (p-plasma), esqueleto (s-skeleton) e poros (v-voids).

3.1.6 Análise Estatística

As variações encontradas na macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), no teor de matéria orgânica (g kg^{-1}) e na densidade do solo (kg dm^{-3}), quando consideradas a posição no relevo e o uso agrícola, foram avaliadas estatisticamente pelo confronto de médias, duas a duas, pelo teste *t de Student* a 5% de significância ($P < 0,05$). Foi estabelecida a análise de regressão para as leituras de respirometria, utilizando-se o PROC REG (Procedure Regression), do pacote estatístico "Statistical Analysis System" (SAS INSTITUTE, 1998). Para a análise dos dados de respirometria optou-se pelo sub-procedimento de leituras repetidas no tempo, uma vez que a variável em estudo foi obtida em forma seqüencial ao longo de um período de oito dias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MORFOLOGIA DO SOLO

As informações referentes à morfologia dos solos estudados estão resumidas nas tabelas 2, 3 e 4, com informações obtidas mediante observações de campo. As descrições detalhadas de cada condição constam do Apêndice 1 (páginas 120 a 128).

Comparações entre as classes texturais (ao tato) dos perfis nas diferentes posições da seqüência topográfica permitiram evidenciar diferenças, tanto nas camadas superficiais como em subsuperfície. O mesmo não se pode afirmar para os perfis em mesmas posições no relevo, com classes texturais semelhantes; neste caso, as modificações foram decorrentes, principalmente, de alterações da estrutura, em consequência dos usos e dos manejos praticados.

Na seqüência topográfica estudada os solos das partes mais elevadas apresentaram textura mais grosseira, com estrutura granular e grãos simples em superfície, sobre estrutura em blocos (Tabela 2), com níveis compactados, que oferecem resistência à penetração das raízes, forçando-as a um crescimento lateral; no perfil 1 (citros) isso ocorreu até a profundidade aproximada de 45 cm; abaixo da zona compactada as raízes são finas e de crescimento vertical. Uma certa quantidade de areia lavada foi observada no horizonte Ap, que pode ser atribuído a um aumento residual de grãos de quartzo, pela mobilização de argila para as camadas inferiores.

Tabela 2. Características morfológicas dos perfis localizados no terço superior da encosta.

Horizonte (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência			Transição
				Seco	Úmido	Molhado	
Perfil 1 - citros							
Ap1 (0-8)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Grosseira	Granular, pequena, fraca a moderada	Solta	Solta	Lig. plástica e lig. pegajosa	Plana e clara
Ap2 (8-20)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Grosseira	Blocos subangulares médios e angulares cerosidade fraca	Dura	Friável	Lig. plástica e lig. pegajosa	Plana e clara
BA (20-45)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Subangulares média forte	Muito dura a extremamente duro	Firme a friável	Plástico e pegajoso	Plana e gradual
Bw1(45-60)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Granular média, moderada e fraca	Macia a dura	Friável	Plástico e pegajoso	Plana e gradual
Bw2(60-130)	Vermelho escuro, 2,5YR 4/6	Mediana	Granular muito pequena fraca	Macia	Muito friável	Plástico e pegajoso	
Perfil 2 – cana-de-açúcar							
Ap (0-9)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Grosseira	Granular pequena fraca e grãos simples	Solta a macia	Solta e Muito Friável	Lig. Plástica e Lig. Pegajosa	Ondulada e Abrupta
BA (9-45)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Grosseira	Maciça que se rompe em blocos médios	Muito dura	Muito Friável	Lig. Plástica e Lig. Pegajosa	Plana e gradual
B1 (45-75)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Blocos subangulares médios fracos cerosidade fraca	Duro a Lig Dura	Muito Friável	Plástico e Pegajoso	Plana e Gradual
B2 (75-95)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Blocos subangulares fracos que se rompem	Liga dura	Muito Friável	Plástico e Pegajoso	Plana e Gradual
Bw(95-130)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Granular muito pequena fraca	Macia	Muito Friável	Plástico e Pegajoso	

Obs. Abaixo do horizonte de transição BA ocorrem horizontes B transicional para B textural (Bt) e B latossólico (Bw), sobreposto a Bw típico, razão pela qual foram simplesmente designados por B1 e B2.

Na região intermediária da vertente observaram-se classes texturais mais finas, indicando um aumento nos teores de argila. A estrutura em subsuperfície é predominantemente poliédrica, com blocos fortemente compactados grandes e médios, de consistência dura, friável, plástica e pegajosa, sem cerosidade evidente, (com exceção dos horizontes B1 e B2 do perfil 3 -

citros, onde se observou cerosidade fraca e descontínua), sobrepondo-se ao Bw, nitidamente latossólico (Tabela 3). Esse aumento de argila pode decorrer da sua translocação lateral, ao longo da vertente, a partir da posição a montante. Representaria, em proporções muito menores, a condição ocorrente no Argissolo sob mata, na área contígua estudada por SOARES & ESPINDOLA (2001), onde há uma diferença textural entre o A e o Bt muito acentuada. Há que considerar também certa participação de alterações basálticas (embora a rocha se encontre a grande profundidade), na composição do material de origem dos solos (mistura com sedimentos arenosos, de alterações areníticas ou sedimentos modernos, cenozóicos). Essa tendência vai intensificar-se em direção às partes baixas da vertente. Assim, aos efeitos de misturas de materiais de origem devem somar-se os de translocação de componentes finos (colóides), sugerida pela ocorrência de cerosidade.

A porosidade é extremamente reduzida nos blocos compactados, porém bastante intensa nos horizontes subjacentes, como no perfil 4 (cana-de-açúcar), com presença marcante de galerias e macroporos nos horizontes Bw1 e Bw2. Há raízes finas e médias ao longo de todo os perfis, mesmo nas camadas virtualmente compactadas, com raízes grossas tendendo a um desenvolvimento horizontal, bem como ao longo dos planos de fraqueza e rachaduras entre os blocos. Observações semelhantes foram relatadas por LIMA (1995), estudando as alterações das propriedades de Latossolos cultivados com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Foram observadas as classes texturais mais finas no terço inferior da encosta, que deve ser decorrente da proximidade do substrato rochoso (basalto), assim como também verificaram ESPINDOLA & GALHEGO (1981) nas proximidades de Jaú. A cor do solo apresenta-se bruno-avermelhado-escura (2,5YR 3/6 úmido) nas camadas superiores e vermelho-escuro (2,5YR 2,5/4 úmido) em profundidade, devido à influência mais acentuada dos óxidos de ferro de alterações basálticas.

Tabela 3. Características morfológicas dos perfis localizados no terço médio da encosta.

Horizonte (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência			Transição
				Seco	Úmido	Molhado	
Perfil 3 – citros							
Ap (0-7)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Granular pequena moderada fraca e grãos simples	Solta	Solta	Plástica e pegajosa	Plana e abrupto
BA (7-40)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Blocos grandes fortes	Muito dura	Firme	Plástica e pegajosa	Plana e clara
B1 (40-60)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Blocos subangulares que se rompem cerosidade fraca	Lig. dura	Muito friável	Plástica e pegajosa	Suave e gradual
B2 (60-100)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Blocos subangulares médios que se rompem	Lig. dura	Muito friável	Plástica e pegajosa	Plana e gradual
Bw (100-120+)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Mediana	Microagregada ou granular muito pequena fraca	Macia	Muito friável	Plástica e pegajosa	
Perfil 4 – cana-de-açúcar							
Ap1 (0-8)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Blocos médio moderado e granular médio a pequena moderada e grãos simples	Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Suave e gradual
Ap2 (8-38)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Blocos fortemente compactados, grandes e médios cerosidade fraca	Extremamente dura	Firme	Plástica e pegajosa	Suave e gradual
Bw1 (38-70)	Vermelho escuro, 2,5YR 3/6	Fina	Blocos médios moderado que se rompem	Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Suave e gradual
Bw2(70-130+)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Fina	Microgranular pequena moderada	Macia	Muito friável	Plástica e pegajosa	

De acordo com SCHWERTZMANN & TAYLOR (1977) esta coloração se deve à presença de hematita, comum em latossolos bem drenados de regiões tropicais sobre rochas básicas. A textura é fina ao tato, com estrutura em blocos grandes, de consistência dura, friável e firme, muito plástica e muito pegajosa, em consonância com a presença mais acentuada de frações finas (Tabela 4). Foi observado um volume sinuoso nos contatos entre os horizontes superficiais, em decorrência das práticas mecânicas de manejo, mostrando zonas virtualmente

compactadas ao lado de bolsões sem compactação, com estutura composta de blocos pequenos juntamente com grânulos (estrutura granular) e consistência solta (Figura 6). Esta situação, comum nas áreas de citros, ocorre em decorrência da regularidade do tráfego nas culturas perenes, originando setores alternados compactados e não compactados. Notam-se poros grandes e galerias em todo o perfil, que propiciam a facilidade de penetração de raízes, por ação da mesofauna do solo, mesmo em áreas compactadas.

Tabela 4. Características morfológicas dos perfis localizados no terço inferior da encosta.

Horizonte (cm)	Cor	Textura	Estrutura	Consistência			Transição
				Seco	Úmido	Molhado	
Perfil 5 - citros							
Ap (0 - 9)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR2,5/4	Mediana	Granular média a grande moderada a forte	Solta a macia	Solta a muito friável	Muito plástica e muito pegajosa	Ondulado e abrupto
AB (9-45)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR2,5/4	Mediana	Blocos grandes compactados	Extremamente dura	Muito firme	Muito plástico e muito pegajoso	Plano e gradual
Bt (45-80)	Vermelho escuro, 2,5YR3/6	Fina	Blocos médios moderados, cerosidade fraca	Dura	Friável a firme	Muito plástico e muito pegajoso	Plano e gradual
Bw (80-130)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Fina	Argila arenosa	Macia	Muito friável	Muito plástico e muito pegajoso	
Perfil 6 - cana-de-açúcar							
Ap (0-10)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Mediana	Granular média a grande moderada a forte	Solta a macia	Solta a muito friável	Muito plástica e muito pegajosa	Ondulado e abrupto
AB (10-40)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Fina	Blocos grandes compactados	Extremamente duro	Muito firme	Muito plástica e muito pegajosa	Plano e gradual
Bt (40-95)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Fina	Blocos médios a moderados cerosidade fraca	Dura	Friável e firme	Muito plástica e muito pegajosa	Plano e gradual
Bw(95-130+)	Bruno-avermelhado escuro, 2,5YR 3/4	Fina	Microagregada granular pequena fraca	Macia	Muito friável	Muito plástica e muito pegajosa	

* Cerosidade comum forte a moderada

Esta constatação valoriza a afirmativa de SILVA (2001), em que as variações espaciais nas propriedades dos solos (sobretudo em parâmetros físicos) são a regra, muito mais do que a exceção. No mesmo tema REATTO et al. (2001), estudando alterações físicas em solos sob monocultivo, ressaltaram a importância do uso da técnica do “perfil cultural” para uma investigação mais abrangente das modificações estruturais do solo.

Deve se observar que as características morfológicas dos perfis não possibilitam uma correlação adequada desses solos com o Latossolo Vermelho Escuro – fase arenosa (LEa), que BRASIL (1960) assinala para a área. Os perfis, na realidade, correspondem a intergrades ou transicionais de solos com B latossólico e solos com B textural, já que a estrutura em blocos com cerosidade é uma feição dos solos com B textural. Por outro lado, nos horizontes B dos perfis 5 e 6, a textura fina é indicativa de solos mais argilosos daquela classe referida (LEa). As considerações referentes à presença de óxidos de ferro estão fundamentadas em afirmações de CURI et al. (1993), que, para os LEa, o teor de Fe_2O_3 varia de 8 a 18%.

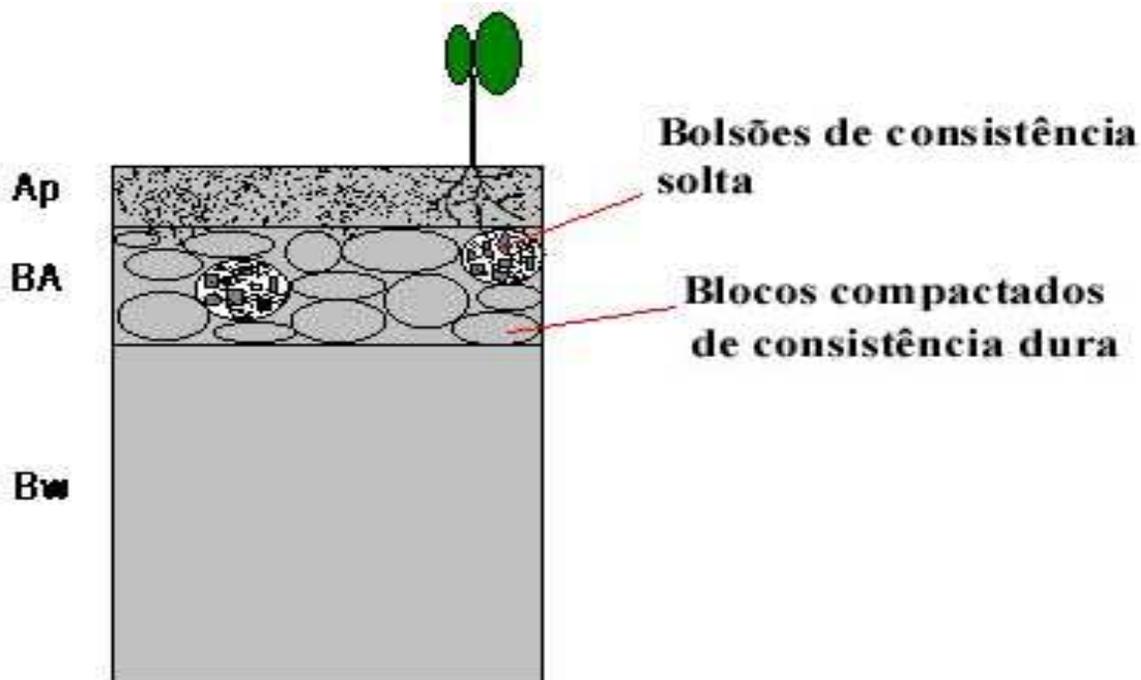


Figura 6- Bolsões de estrutura granular em camadas virtualmente compactadas.

Esta consideração ressaltou a importância do detalhamento das observações para os propósitos estabelecidos, que o estudo em toposequência permite, mesmo que não seja tão minucioso como o da análise estrutural (BOULET, 1988 e RUELLAN, 1988). Além disso, é oportuno ressaltar que observações morfológicas detalhadas possibilitaram verificações adicionais importantes para recomendações de práticas de manejo, que passariam despercebidas em descrições mais expeditas. Tal foi o caso da situação encontrada no perfil 5, em citros, em cuja parede da trincheira foram verificadas variações nas condições de compactação pela mecanização. Isso ressaltou a maneira adequada de se utilizar da descrição preconizada no método do “perfil cultural” (HÉNIN et al., 1972; RALISCH et al., 1991), por refletir processos diferenciais que o manejo pode imprimir em curtas distâncias, além da variabilidade “normal” das características dos solos. Essas zonas não compactadas, ao lado das deformadas, garantem melhor enraizamento e maior infiltração da água, como demonstra a distribuição das raízes, com tendência lateral nas áreas compactadas, e vertical nas áreas não deformadas.

É oportuno ressaltar que certas observações de campo, ainda que, muitas vezes, subjetivas (avaliações da textura ao tato, grau de plasticidade, porosidade etc) são imprescindíveis à compreensão de certos comportamentos do solo, nem sempre atingidas por sofisticadas análises de laboratório. É o caso típico dessas zonas diferenciadas do perfil de solo, com áreas compactadas dominando certos níveis ou horizontes, às vezes interrompidos por setores ou bolsões porosos e desagregados. Isso reforça as observações de DORAN & PARKIN (1994), asseverando a importância da Pedologia para a grande questão da sustentabilidade das terras, por incluir tanto a componente espacial, como a temporal em seus propósitos, enquanto importante parte da Ciência do Solo. ROMIG et al. (1995) foram enfáticos ao defenderem que a Pedologia traz à tona os indicadores da qualidade dos solos, dispensando, por vezes, aqueles parâmetros oriundos de custosas e morosas análises de laboratório. Por outro lado, a própria amostragem do solo fica comprometida, se não se levar em conta essas feições que o campo indicadas no campo.

4.2 RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS - PARTÍCULAS PRIMÁRIAS

Os dados referentes às análises granulométricas dos solos confirmaram a elevação nos teores de argila do topo para as partes mais baixas da vertente, previsível pela maior proximidade das alterações basálticas nas posições de sopé (Tabela 5).

Tabela 5. Dados granulométricos dos perfis de solo.

Horizonte (cm)	Granulometria				Classe Textural	Argila Natural	Grau de Floculação	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila				
Perfil 1 – citros								
		g kg ⁻¹					— % —	
Ap1	0-8	360	460	50	130	Franco arenosa	13	0
Ap2	8-20	370	440	50	140	Franco arenosa	14	0
BA	20-45	330	380	60	230	Franco argilo- arenosa	22	4
Bw1	45-60	300	410	60	230	Franco argilo- arenosa	22	4
Bw2	60-130	330	390	70	210	Franco argilo- arenosa	20	4
Perfil 2 – cana-de-açúcar								
Ap	0-9	360	450	50	140	Franco arenosa	14	0
BA	9-45	350	440	60	150	Franco arenosa	14	6
B1	45-75	300	420	80	200	Franco argilo- arenosa	20	0
B2	75-95	340	400	40	220	Franco argilo- arenosa	22	0
Bw	95-130	310	410	60	220	Franco argilo- arenosa	21	4
Perfil 3 – citros								
Ap	0-7	280	430	80	210	Franco argilo- arenosa	18	14
BA	7-40	260	460	70	210	Franco argilo- arenosa	20	4
B1	40-60	240	380	70	310	Franco argilo- arenosa	27	13
B2	60-100	220	390	70	320	Franco argilo- arenosa	29	9
Bw	100-130	220	400	80	300	Franco argilo- arenosa	30	0
Perfil 4 – cana-de-açúcar								
Ap1	0-8	290	380	70	260	Franco argilo- arenosa	26	0
Ap2	8-38	270	400	70	260	Franco argilo- arenosa	26	0
Bw1	38-70	230	350	90	330	Franco argilo- arenosa	5	84
Bw2	70-130	260	340	70	330	Franco argilo- arenosa	0	100
Perfil 5 – citros								
Ap	0-9	300	330	90	280	Franco argilo- arenosa	26	7
AB	9-45	280	360	80	280	Franco argilo- arenosa	25	11
Bt	45-80	220	280	100	400	Argilo- arenosa	35	12
Bw	80-130	210	310	100	380	Argilo- arenosa	0	100
Perfil 6 – cana-de-açúcar								
Ap	0-10	270	310	100	320	Franco argilo- arenosa	30	5
AB	10-40	280	300	90	330	Franco argilo- arenosa	31	6
Bt	40-95	220	270	90	420	Argilo- arenosa	0	100
Bw	95-130	210	270	100	420	Argilo- arenosa	0	100

É possível também uma translocação de partículas finas a partir das posições mais elevadas, a favorecer certa reorientação dessas argilas, a julgar pela ocorrência de cerosidade (fraca) nos horizontes de transição Bw/Bt da maioria dos perfis (AINA, 1979). Ficou mais evidente, nessa posição, a presença de microagregados, que, de acordo com SÁNCHEZ (1981), foi favorecida pela ação dos óxidos de ferro, formando grânulos do tamanho das areias, o que deve ser motivo para os valores relativamente elevados de partículas na fração areia observados na granulometria, principalmente na areia fina. Observações semelhantes foram feitas por PÉDRO et al. (1973), estudando uma Terra Roxa Estruturada do município de São Manoel (SP). Pelo aumento de óxidos de ferro em direção à baixa vertente, por influência dos materiais basálticos do substrato, nota-se também uma elevação nos teores de silte, que devem tratar-se de pseudo-partículas texturais, pelo efeito de floculação dos colóides, como também observado em Latossolo Roxo de Barra Bonita – Jaú (ESPINDOLA & GALHEGO, 1981).

A análise granulométrica revelou uma mudança relativamente brusca nos valores de argila de A para B nos solos das posições mais baixas. As análises mostraram teores de argila superiores ao limite de 350 g kg^{-1} , que, de acordo com LEPSCH et al. (1991), refletem solos com textura argilosa. Além do material de origem, há que se considerar a expressiva presença de argila natural, que deve estar translocando-se para as posições mais baixas do relevo. Esta mobilidade da argila favoreceu maior acúmulo residual de grãos de quartzo nos perfis das posições elevadas, de classes texturais mais grosseiras classe textural (franco arenosa), como demonstra a Tabela 5. A maior expressão desse processo ocorre em áreas anexas, no Argissolo da mata natural (SOARES & ESPINDOLA, 2001).

A ocorrência de valores elevados de argila dispersa, incluindo baixo grau de floculação, confere aos solos certa instabilidade estrutural, que, em situação de relevo inclinado, favorece a translocação de argilas. Foram encontrados nos horizontes Bw de perfis de topo teores de argila total entre 200 e 230 g kg^{-1} em Bw, aumentando para 380 a 420 g kg^{-1} nas posições de menor cota. Essa disjunção das partículas finas e grossas, principalmente nos perfis de topo, favorece também o transporte de areias nas águas superficiais, ao longo das encostas, até as posições de baixada, onde elas se concentram, tornando-se abundantes às partes baixas do relevo. É de se supor que os valores de argila dispersa em água sejam decorrentes das práticas de manejo

até então utilizados, a julgar pelas observações de SCHULZE & STOTT (1997) e de SILVA et al. (1999), sugerindo efeitos de calagem e de fertilizantes no solo.

Estas observações reforçam a importância de se levar em conta os gradientes texturais, e não apenas os verticais (horizontes do perfil), como afirmam BOULET & LUCAS (1984), complementando com a idéia de que é rara a ocorrência de uma suposta homogeneidade em uma cobertura pedológica.

4.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICAS - COMPLEXO SORTIVO

Solos explorados intensamente por longos períodos com mobilização freqüente de sua camada arável, além da exposição ao impacto direto das chuvas, que favorece a compactação e o arraste de partículas finas, concorrem também para a translocação de elementos químicos das posições mais elevadas para as mais baixas. As perdas de solo, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio e magnésio pela erosão hídrica revelaram diferentes intensidades em função dos sistemas de preparo utilizados, como tem sido constatado em alguns trabalhos desenvolvidos na mesma direção (LUCARELLI, 1997).

Os valores apresentados no complexo sortivo refletiram condições relativamente boas de fertilidade dos solos, por vezes com elevada soma de bases, saturação por bases e capacidade de troca de cátions, o que atribui aos solos a condição de solos eutróficos. Há exceção, no entanto, para os solos cultivados com citros na posição do topo, em que a saturação por bases foi inferior a 50% e o pH inferior ao apresentado na cana-de-açúcar, na mesma posição do relevo (Tabela 6). Esta condição pode ser justificada pelas práticas de correção e adubação do solo, que são mais exigidas pela cultura da cana-de-açúcar; as condições texturais dos solos nas posições mais elevadas favoreceram também o carreamento de bases e a redução do pH, mais evidente na cultura de citros.

Tabela 6. Características químicas dos solos estudados.

Perfil 1 – Citros														
Horizonte (cm)		pH		C	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	S	T	V	m
		H ₂ O	KCl	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol c kg ⁻¹						%		
Ap1	0-8	4,8	4,3	7,0	10	2,0	8	4	3	18	14,0	32,0	44	17
Ap2	8-20	5,0	4,3	5,2	6	1,6	7	3	3	18	11,6	29,6	39	20
BA	20-45	4,2	3,8	4,0	3	1,3	1	3	8	25	5,3	29,3	18	60
Bw1	45-60	5,0	4,2	4,0	2	1,1	1	3	8	22	5,1	27,1	19	61
Bw2	60-130	4,1	3,8	4,0	2	0,9	1	2	5	19	3,9	22,9	17	56
Perfil 2 – Cana-de-açúcar														
Ap	0-9	5,9	5,1	8,1	17	2,5	12	8	0	11	22,5	33,5	67	0
BA	9-45	6,3	5,9	7,0	10	1,3	16	9	0	6	26,3	32,3	81	0
B1	45-75	6,1	5,3	5,0	4	1,5	10	8	0	8	19,5	27,5	71	0
B2	75-95	5,4	4,7	4,6	3	1,1	10	12	1	10	23,1	33,1	70	4
Bw	95-130	5,0	4,3	4,0	3	1,1	1	3	6	18	5,1	23,1	22	54
Perfil 3 - Citros														
Ap	0-7	5,8	5,3	9,8	26	3,3	20	9	0	8	32,3	40,3	80	0
BA	7-40	5,7	5,1	7,0	9	2,6	10	8	1	12	20,6	32,6	63	5
B1	40-60	5,3	4,5	5,2	3	1,5	7	4	3	16	12,5	28,5	44	19
B2	60-100	5,2	4,7	5,2	3	1,9	11	6	0	15	18,9	33,9	56	0
Bw	100-130	5,5	4,7	4,0	3	1,3	11	4	0	10	16,3	26,3	62	0
Perfil 4 - Cana-de-açúcar														
Ap1	0-8	5,8	5,1	7	9	3,8	8	4	0	12	15,8	27,8	57	0
Ap2	8-38	5,7	5,0	7	8	4,2	11	5	0	12	20,2	32,2	63	0
Bw1	38-70	5,3	4,4	4	3	1,6	3	2	1	18	6,6	24,6	27	13
Bw2	70-130	4,6	4,2	5,2	3	0,9	1	1	3	15	2,9	17,9	16	50
Perfil 5 - Citros														
Ap	0-9	5,8	5,1	12,8	41	4,2	29	16	0	15	49,2	64,2	77	0
AB	9-45	5,6	5,1	8,1	25	3,1	27	21	0	15	51,1	66,1	77	0
Bt	45-80	5,5	4,6	7,0	6	2,1	9	6	0	15	17,1	32,1	53	0
Bw	80-130	5,0	4,7	4,0	4	2,5	6	4	0	12	12,5	24,5	51	0
Perfil 6 - Cana-de-açúcar														
Ap	0-8	5,6	4,6	9,8	44	4,0	15	10	0	21	29,0	50,0	58	0
AB	8-40	5,2	4,7	9,8	24	1,6	15	8	0	22	24,6	46,6	53	0
Bt	40-95	5,0	4,2	5,2	4	1,2	3	3	6	25	7,2	32,2	22	45
Bw	95-130	4,7	4,4	4,0	3	0,9	3	4	0	17	7,9	24,9	32	0

É curioso notar que raramente o pH em água atinge o valor 6,0, refletindo as necessidades constantes e periódicas de aplicação de calcário. Houve um nítido aumento nos teores de bases do topo para a base da vertente, expressivos nas camadas superficiais, certamente por influência dos escoamentos superficiais.

Outras observações instigantes foram os valores de saturação por bases (V%) na posição de topo da seqüência, que são muito mais elevados na cultura da cana-de-açúcar, que, certamente, têm merecido maiores incrementos de fertilizantes químicos do que o citros; naquela cultura, o efeito eutrófico foi notado até à profundidade de 95 cm, diminuindo bruscamente abaixo, no horizonte Bw. No citros, o perfil todo é distrófico, chegando o alumínio a conferir o caráter álico às camadas já abaixo de 20 cm.

Na posição intermediária da vertente o solo com citros mostrou uma condição mais adequada de fertilidade, a julgar pelos valores de V%, sobrepondo-se, mesmo, à condição mostrada pela cana-de-açúcar, o que sugere um descompasso no trato com as técnicas culturais, de uma condição de exploração para a outra.

Na condição inferior da seqüência apenas as camadas superficiais do solo com cana-de-açúcar revelaram-se eutróficas (até 40 cm), ao passo que no solo com citros esse caráter se intensificou, mesmo a maiores profundidades.

Comparando-se os resultados obtidos com aqueles encontrados por SOARES & ESPINDOLA (2001), em área adjacente de mata, ficaram evidentes as alterações no complexo sortivo com a atividade agrícola, com diminuição dos valores de S e de V%, exceção feita para o fósforo e o potássio, que, em posições mais baixas do relevo apresentaram valores mais elevados. Este fato pode ser atribuído às adubações efetuadas e às melhores condições naturais de fertilidade nas posições mais inferiores do relevo, por influência das alterações basálticas, tornando a textura mais fina e, por conseguinte, mais apta à retenção de cátions básicos, ou seja, diminuição da intensidade de lixiviação.

A substituição da mata nativa pelo cultivo levou a uma acentuada redução no teor de C orgânico dos solos. Isto foi evidenciado pela diminuição dos seus teores, da ordem de 25 g kg⁻¹ na superfície de solos sob a mata, para uma média de 9 g kg⁻¹ nas áreas cultivadas, ao longo da vertente. De acordo com observações de PASSOS et al. (2001), o teor de carbono orgânico do solo resulta do equilíbrio entre a adição e a decomposição de material orgânico e da atividade microbiana, condição fortemente alterada quando se substitui a vegetação nativa pela atividade agrícola.

4.4 MATÉRIA ORGÂNICA

Certamente, grande parte das alterações pedológicas decorrentes do uso contínuo do solo pode ser atribuída às alterações no teor de material orgânico e à conseqüente influência sobre os demais atributos dos solos. A formação de agregados e sua estabilidade, por exemplo, são determinadas pelo suprimento contínuo de resíduos orgânicos e sua decomposição no solo pela atividade microbiana (CARDOSO et al, 1992; PRIMAVESI, 1980), o que pôde ser confirmado na seqüência topográfica, a partir dos valores de matéria orgânica nas situações estudadas, como estabelecido na Tabela 7.

Tabela 7. Teores de matéria orgânica dos solos; valores médios de 10 repetições em g kg⁻¹.

Posição de Coleta	Matéria Orgânica					
	Citros			Cana-de-açúcar		
	0 - 10	20 - 30	60 - 70	0 - 10	20 - 30	60 - 70
Terço Superior	12,916	11,250	8,500	9,583	8,916	7,750
Terço Médio	11,750	7,583	7,583	10,250	8,500	4,833
Terço Inferior	17,250	10,000	6,583	19,833	12,250	8,833

A cultura do citros apresentou diferenças significativas ($P < 0,05$) no terço superior da encosta, à profundidade de 0 a 10 cm e 20 a 30 cm (Tabela 8), o que pode estar relacionado à textura mais grosseira dos solos nestas posições, e à mobilização do solo frequente na cultura da cana-de-açúcar, reduzindo os valores de matéria orgânica, quando comparados com o solo sob a cultura de citros. De acordo com STEVENSON (1982), a diminuição no teor de matéria orgânica do solo sob cultivo não pode ser atribuída unicamente à redução da quantidade de resíduos vegetais disponíveis, mas também à melhor aeração, que pode levar ao aumento da liberação de gás carbônico, resultado da degradação de substâncias orgânicas.

Para OLIVEIRA et al. (2001), o preparo convencional do solo geralmente condiciona a uma diminuição do tamanho dos agregados, o que facilita o ataque dos microorganismos ao material orgânico que é mais exposto às vicissitudes do meio. Estudos realizados por PINHEIRO et al. (2001) para avaliar a estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em Latossolo Vermelho, corrobora esta afirmativa quando observam que a modificação no tamanho dos agregados do solo alterou o teor de material orgânico existente.

Os valores médios mais elevados estão no terço inferior da encosta, em que as condições do relevo favorecem o aporte de material orgânico coloidal originário das partes mais elevadas, além do teor mais elevado de argila, que dificulta a sua rápida degradação. O teor de material orgânico mais elevado na cana-de-açúcar ($19,83 \text{ g kg}^{-1}$ na superfície) pôde ter influência do sistema radicular mais denso da cultura.

Para a profundidade de 60 a 70 cm os resultados revelaram significância ($P < 0,05$) no terço médio e terço inferior da encosta. No terço médio os valores para a cultura do citros foram superiores aos obtidos na cana-de-açúcar, porém no terço inferior ocorreu o inverso, com valores maiores na cana-de-açúcar, que pode estar relacionado ao sistema radicular da cultura do citros, que, ao atingir camadas mais profundas, propiciou aumento da aeração e da conseqüente atividade microbiana, com consumo de material orgânico (STEVENSON, 1982 e TEWARY et al., 1982).

Tabela 8. Comparação entre médias de material orgânico e culturas

Uso	Prof. cm	Material orgânico		
		Terço Superior	Terço Médio	Terço Inferior
		g kg ⁻¹		
Citros	0 – 10	12,916a	11,750a	17,250b
Cana-de-açúcar		9,583b	10,250a	19,833a
Citros	20 – 30	11,250a	7,583a	10,000b
Cana-de-açúcar		8,916 b	8,500a	12,250a
Citros	60 – 70	8,500a	7,583a	6,583 b
Cana-de-açúcar		7,750a	4,833 b	8,333a

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

Avaliando-se a condição da posição no relevo no comportamento da matéria orgânica dos solos, ficou evidente uma elevação do teor deste componente nas cotas mais baixas e mais argilosas (Tabela 9). Esta constatação teve respaldo em afirmações de BONDE et al. (1991) e HANSSINK et al. (1993), que sugerem a importância de ambientes argilosos e de pouca aeração na proteção de microorganismos e manutenção de grande quantidade de biomassa microbiana dormente, que pode interferir positivamente no teor de material orgânico em solos argilosos. Solos menos arejados promovem maior estabilização do material orgânico e por mais tempo, porque a degradação da matéria orgânica é mais lenta (CARDOSO et al., 1992). Nesse sentido, os solos da condição de topo, de textura mais grosseira, propiciam maior degradação de matéria orgânica.

Tabela 9. Comparação entre médias de matéria orgânica e posições no relevo.

Uso	Posição no relevo	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)		
		0-10 cm	20-30 cm	60-70 cm
Citros	Terço Superior	12,916a	11,250a	8,500a
	Terço Médio	11,750a	7,583b	7,583a
	Terço Superior	12,916b	11,250a	8,500a
	Terço Inferior	17,250a	10,000a	6,583b
	Terço Médio	11,750b	7,583b	7,583a
	Terço Inferior	17,250a	10,000a	6,583a
Cana-de-açúcar	Terço Superior	9,583a	8,916a	7,750a
	Terço Médio	10,250a	8,500a	4,833b
	Terço Superior	9,583b	8,916b	7,750a
	Terço Inferior	19,833a	12,250a	8,333a
	Terço Médio	10,250b	8,500b	4,833b
	Terço Inferior	19,833a	12,250a	8,333a

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

A importância do manejo adotado na preservação do material orgânico do solo, foi ressaltada por MACHADO et al. (2001), quando afirmaram que o reflorestamento, o plantio direto e a pastagem são mais aptos em armazenar carbono, devido à menor movimentação do solo e à freqüente adição de resíduos. De acordo com Batjes, N.H. & Sombroek, W.G. citados por SANTOS et al. (2001), os solos representam cerca de 75% da reserva terrestre de carbono, suscitando estudos de seqüestro desse elemento como alternativa para reduzir a concentração de CO₂ do ar atmosférico.

Para PICCOLO (2000) a utilização do solo através de práticas agrícolas intensivas como lavrações e gradagens, e o desmatamento aumentam a transferência de carbono da biomassa e da matéria orgânica do solo para a atmosfera, na forma de CO₂. Segundo ele, a resistência de substâncias hidrofóbicas à degradação por microorganismos pode ser a base para a redução da emissão de CO₂ dos solos, logo, que o aumento de matéria húmica hidrofóbicas pode diminuir a emissão de CO₂ das áreas agrícolas, significando importante ferramenta para suavizar o efeito estufa.

4.5 DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS EM ÁGUA – PARTÍCULAS SECUNDÁRIAS

Com os dados granulométricos obtidos e os teores de matéria orgânica relatados, nas diversas situações estudadas (posições na vertente e usos/manejos diferenciados), tornou-se mais facilitada a discussão sobre a distribuição das partículas secundárias ou agregados, já que estas consistem da reunião das primárias (areia, silte e argila da fração mineral) com a matéria orgânica, notadamente a humificada (HARRIS et al., 1966), com forte influência dos óxidos de ferro como agente cimentante. Nessa avaliação sempre a discussão é beneficiada quando se dispõe de uma condição em que o solo nunca foi mobilizado, como ocorre numa situação de vegetação natural ou mata nativa. Como essa condição não ocorria na vertente estudada, algumas comparações foram estabelecidas com o solo de uma mata adjacente à área, sob solo Podzólico Vermelho-Amarelo ou Argissolo (SOARES & ESPINDOLA, 2001), resguardadas as diferenças de suas constituições elementares, notadamente da textura, que é mais grosseira neste solo intocado.

Nessa referida condição de mata, o horizonte superficial (com 110 g kg^{-1} de argila e 44 g kg^{-1} de matéria orgânica) revelou uma maior concentração de agregados estáveis em água na classe de maior tamanho ($>2,00 \text{ mm}$), com DMP (diâmetro mediano ponderado) de $3,48 \text{ mm}$. Esta situação foi encontrada, portanto, numa condição de não revolvimento do solo, concorrendo para a preservação dos agregados de maior tamanho (PALMEIRA et al., 1999). Outro aspecto importante é o efeito da “molhabilidade” que a matéria orgânica confere aos agregados do solo, que é um fator de aumento da sua estabilidade estrutural (EKWUE, 1990), que é maximizada em solos de mata e diminuindo, sobremaneira, em solos cultivados (CARON et al., 1996).

Para TISDAL & OADES (1982), a concentração de agregados estáveis em água, na faixa de diâmetros superiores a $2,00 \text{ mm}$, consiste em agregados e partículas mantidos juntos principalmente pela rede fina de raízes e hifas, além da ação mecânica das raízes, que aproxima as partículas unitárias do solo de produtos da excreção da fauna, com reconhecido poder cimentante. Por conseguinte, os valores de diâmetro mediano ponderados dos agregados estáveis em água observado na Tabela 10 apresentam-se mais elevados nas camadas superficiais, condição que pode ser atribuída ao maior acúmulo de material orgânico nestas posições, embora ela estivesse muito mais sujeita aos revolvimentos praticados na agricultura tradicional. Inúmeros

trabalhos mostram a importância da matéria orgânica para elevação do DMP dos agregados estáveis em água (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990 e PALMEIRA, 1999, dentre outros).

Tabela 10. Distribuição de agregados estáveis em água em classes de tamanho e DMP (diâmetro mediano ponderado).

Prof. cm	Tamanho de agregados (mm)						DMP mm
	6,35 - 2,00	2,00 - 1,00	1,00 - 0,50	0,50 - 0,25	0,25-0,125	< 0,125	
kg kg ⁻¹							
Perfil 1 – Citros							
0 – 10	0,107	0,062	0,064	0,238	0,255	0,274	0,7445
20 – 30	0,044	0,046	0,137	0,354	0,219	0,200	0,5400
60 – 70	0,040	0,058	0,131	0,256	0,258	0,257	0,5109
Perfil 2 – Cana-de-açúcar							
0 – 10	0,075	0,060	0,125	0,299	0,262	0,179	0,6696
20 – 30	0,061	0,048	0,085	0,300	0,341	0,165	0,5784
60 – 70	0,051	0,043	0,131	0,298	0,273	0,204	0,5536
Perfil 3 - Citros							
0 – 10	0,251	0,103	0,085	0,196	0,161	0,204	1,3816
20 – 30	0,064	0,068	0,156	0,253	0,253	0,206	0,6413
60 – 70	0,098	0,084	0,226	0,211	0,183	0,198	0,8315
Perfil 4 - Cana-de-açúcar							
0 – 10	0,036	0,082	0,170	0,294	0,209	0,209	0,5564
20 – 30	0,026	0,039	0,103	0,254	0,196	0,382	0,3970
60 – 70	0,108	0,084	0,161	0,245	0,215	0,187	0,8428
Perfil 5 - Citros							
0 – 10	0,069	0,047	0,134	0,224	0,260	0,266	0,6060
20 – 30	0,084	0,099	0,162	0,270	0,198	0,187	0,7582
60 – 70	0,175	0,146	0,229	0,229	0,147	0,074	1,2664
Perfil 6 - Cana-de-açúcar							
0 – 10	0,117	0,155	0,225	0,234	0,140	0,129	1,0099
20 – 30	0,176	0,132	0,163	0,216	0,147	0,166	1,1650
60 – 70	0,150	0,177	0,221	0,195	0,117	0,140	1,1588

Nos perfis ora estudados, principalmente nas camadas próximas à superfície, o aumento de agregados com diâmetros inferiores a 2 mm está relacionado à deterioração da macroestrutura, pelos efeitos do preparo do solo (AINA, 1979). Esta situação pôde proporcionar certa pulverização de seus integrantes, além de reduzir o teor de material orgânico e, conseqüentemente, suas ações na formação de agregados de diâmetros maiores (RUSSEL & RUSSEL, 1961). Observou-se uma diminuição considerável na estabilidade dos agregados do solo com o seu cultivo intensivo. Para exemplificar, dos agregados maiores que 2 mm existentes inicialmente na camada superficial dos solos no terço superior, restaram apenas 10,7% no solo com citros e 7,5% com cana-de-açúcar.

Observou-se que mais de 70% dos agregados estão na faixa de diâmetros medianos inferiores a 0,50 mm. Para esta situação, TISDAL & OADES (1982), afirmaram que a acumulação de agregados nas classes inferiores a 1,00 mm de diâmetro em áreas cultivadas ocorre porque estes são mais estáveis ao rápido umedecimento, e não são destruídos pelas práticas agrícolas bem conduzidas, pois são constituídos, predominantemente, por partículas de 2–20 µm de diâmetro (silte), unidas em cadeia por diferentes agentes cimentantes.

Os resultados mais baixos de DMP observados no terço médio da encosta atestaram a importância da mobilização do solo como fator de redução da estabilidade dos agregados, pela diminuição da intensidade de agentes cimentantes em relação ao solo de mata, que conta com maiores possibilidades de constituintes fundamentais para a formação de macroagregados (TISDAL & OADES, 1982). A situação encontrada condiz com as considerações feitas por ALLISON (1973), sobre a importância da manutenção da cobertura vegetal na estabilidade da estrutura do solo, uma vez que ela provê resíduos orgânicos que protegem os agregados contra o impacto das gotas da chuva e das variações bruscas de temperatura, além do suprimento de material orgânico, que atua na estabilidade dos agregados.

Nos solos localizados no terço superior da encosta houve pouca variação do DMP (ao longo dos perfis) naqueles cultivados com citros e com cana-de-açúcar. Este fato pode estar relacionado à redução de material orgânico, motivada pelo uso contínuo dos solos, tornando o meio propício à formação de agregados de diâmetros inferiores a 1,00 mm, que, de acordo com TISDAL & OADES, (1982) são pouco influenciados pelo manejo.

Observou-se que todos os perfis caracterizados na seqüência topográfica apresentaram teores de argila superiores aos encontrados no solo sob mata; mesmo assim, na camada superficial deste solo intacto, o DMP foi nitidamente superior, da ordem de 3,4 mm (SOARES & ESPINDOLA, 2001), enquanto no citros e cana-de-açúcar os valores foram de 1,38 e 0,55 mm, respectivamente, com menos de 20% dos agregados de diâmetro menor que 1 mm na mata, valores que se elevaram para mais de 80% nas áreas cultivadas (Figura 7), próximos aos encontrados por SILVA (1980). Mais uma vez ficou evidenciado a importância do material orgânico no tamanho e estabilidade dos agregados, com grande deterioração quando se substitui a mata nativa pelo cultivo.

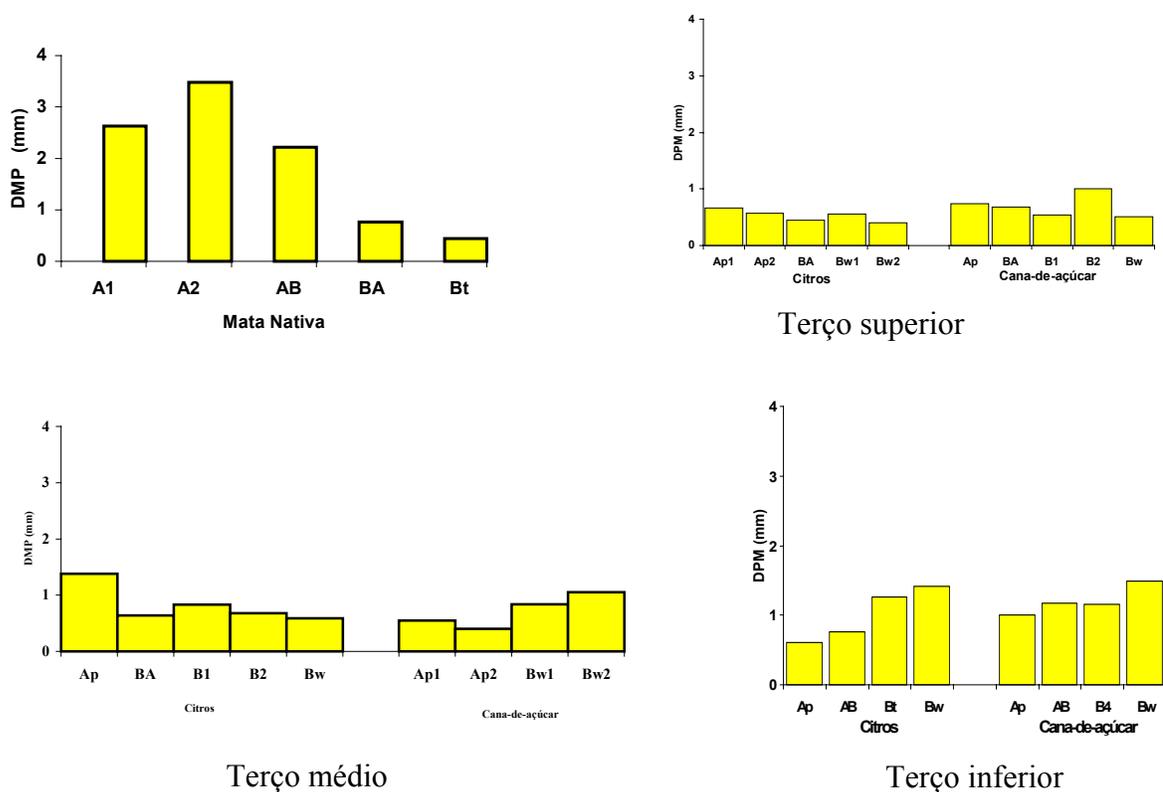


Figura 7- Diâmetro mediano ponderado de agregados estáveis em água nos perfis de solo sob mata nativa e nos perfis da seqüência topográfica estudada.

Os valores mais expressivos de DMP nas áreas cultivadas foram verificados no terço inferior da encosta, em solo cultivado com cana-de-açúcar, sob condições topográficas que favorecem um ambiente mais argiloso. De acordo com GUERIF (1986), a resistência dos agregados aos esforços externos aplicados é muito dependente da organização de seus

constituintes elementares, como é o caso do conteúdo em argila. A presença de argila floculada facilita a aglutinação das partículas unitárias, que, para DEXTER (1988), constitui o fator mais importante para a estabilização da estrutura. Observações semelhantes foram feitas por SÁNCHEZ (1981), que reforça a importância dos óxidos de ferro para a estabilidade de microagregados em latossolos argilosos. No caso estudado, o teor de óxidos de ferro aumentou no sentido topo – baixa vertente (BRASIL, 1960), em concordância com a condição dos agregados ocorrentes.

Nesta posição da encosta (terço inferior), os solos cultivados com cana-de-açúcar, apresentaram maiores valores de DMP, sendo verificado na camada de 0 a 10 cm que o DMP dos agregados estáveis em água superou em 1,7 vez ao registrado nos solos com citros na mesma posição. HORN, (1990) e HORN & DEXTER (1989) afirmaram que a desidratação dos ligamentos orgânicos e inorgânicos proporciona a formação de maiores quantidades de agregados grandes, ressaltando ainda que esse processo ocorre, com maior frequência, em áreas sob gramíneas, pela grande densidade de raízes que apresentam.

De maneira geral, os solos apresentaram índices de agregação (DMP) superiores a 0,5 mm, que, de acordo com KIEHL (1979), são relativamente mais resistentes ao esboroamento e à dispersão, logo, pouco susceptíveis às alterações de suas características pedológicas quando submetidos a um manejo bem conduzido.

4.6 POROSIDADE DO SOLO

A porosidade total do solo (determinada e calculada) apresentou valores médios menores nas posições de topo e nas camadas superficiais, em nítida associação com a textura, que se apresentou mais arenosa. Nesta situação, o volume de microporos também foi menor, em consequência da fraca estruturação dos solos nesta posição da paisagem (Tabela 11).

Os valores mais elevados da porosidade total determinada (PTd) foram observados nas camadas mais profundas dos solos, nas posições mais baixas da encosta, com valores médios de PTd de $0,53 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o citros e $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a cana-de-açúcar. Nestas camadas os valores médios de microporosidade aumentaram, o que demonstrou uma maior aproximação

entre as partículas primárias e secundárias que refletem um ambiente latossólico com alto teor de argila (superior a 40%). O baixo teor de material orgânico nas camadas mais profundas dificultou a formação de agregados maiores, fazendo com que a macroporosidade fosse reduzida nestes setores (BAVER, et al. 1972). O mesmo afirmou BRADY (1989), quando mostra que os solos sob mata nativa podem ter sua porosidade total diminuída de 60 a 50%, quando cultivados.

Tabela 11. Porosidade dos solos: valores médios de 10 repetições

Uso	Porosidade												
	0 - 10				20 - 30				60 - 70				
	PTc	PTd	Mp	mp	PTc	PTd	Mp	mp	PTc	PTd	Mp	mp	
	$m^3 m^{-3}$												
Citros	TS	0,48	0,47	0,25	0,22	0,46	0,41	0,16	0,25	0,42	0,48	0,21	0,27
	TM	0,47	0,44	0,17	0,27	0,47	0,44	0,14	0,30	0,52	0,50	0,25	0,25
	TI	0,48	0,48	0,17	0,31	0,51	0,52	0,18	0,34	0,50	0,53	0,22	0,31
Cana de açúcar	TS	0,48	0,43	0,20	0,23	0,40	0,40	0,14	0,26	0,34	0,40	0,13	0,27
	TM	0,48	0,46	0,17	0,29	0,42	0,43	0,10	0,33	0,42	0,47	0,14	0,33
	TI	0,45	0,49	0,16	0,33	0,45	0,49	0,11	0,38	0,52	0,50	0,16	0,34

Obs: TS, Terço superior da encosta, TM, Terço médio e TI, terço inferior.; PTc – Porosidade total calculada, PTd – Porosidade total determinada, Mp - Macroporosidade e mp – Microporosidade

A mobilização do solo e o tráfego de máquinas e implementos agrícolas contribuíram para promover modificações no tamanho dos agregados, resultando numa redução da porosidade total, com aumento na proporção de poros pequenos em relação aos grandes. Desta forma, procederam-se comparações estatísticas da macroporosidade (porosidade de aeração) entre as culturas do citros e da cana-de-açúcar, e entre as posições na topossequência, uma vez que os poros grandes são altamente afetados pelo manejo dos solos (SILVA & MIELNICZUK, 1998).

Comparações de médias do volume de macroporos no terço superior da encosta mostraram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as culturas estudadas, às profundidades de 0 a 10 e 60 a 70 cm, com valores mais elevados no solo com citros (Tabela 12). Este fato pode estar

relacionado ao manejo do solo mais intenso na cana-de-açúcar, que alterou a sua estruturação (compactação) e reduziu os espaços vazios de maior diâmetro (porosidade de aeração). Nas posições mais baixas do relevo (terço médio e terço inferior) o ambiente mais argiloso na superfície do solo reduziu a macroporosidade, tornando-o mais resistente às modificações impostas pelo manejo, fazendo com que não houvesse diferença significativa nos valores de macroporosidade entre as culturas nestas posições da encosta. No entanto, nas camadas mais profundas, 20 a 30 e 60 a 70 cm, onde não há revolvimento do solo, observou-se maior macroporosidade nos solos cultivados com citros, o que pôde ser atribuído ao seu sistema radicular, que, ao atingir camadas mais profundas, favorece o surgimento de macroporos, da mesma forma que, com uma menor mobilização do solo, favorece a proteção dos poros de maior diâmetro (LUCARELLI, 1997).

Tabela 12. Comparação entre médias de macroporosidade e culturas.

Uso	Prof. cm	Terço Superior	Macroporosidade	
			Terço Médio	Terço Inferior
		$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$		
Citros	0 - 10	0,253a	0,172a	0,168a
Cana-de-açúcar		0,201b	0,169 a	0,167a
Citros	20 - 30	0,159a	0,137a	0,170a
Cana-de-açúcar		0,138a	0,100b	0,114 b
Citros	60 - 70	0,211a	0,254a	0,219a
Cana-de-açúcar		0,127b	0,141b	0,159b

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

Ao serem confrontadas as influências da posição no relevo sobre a porosidade, observou-se que o valor médio da macroporosidade diminuiu, das partes mais elevadas para as mais baixas na superfície dos solos, tanto no citros como na cana-de-açúcar, com valores mais elevados no citros, ou seja, de $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Tabela 13). Na profundidade de 20 a 30 cm os valores mais baixos estão no terço médio do relevo, com $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para a cana-de-açúcar, onde também se registraram os menores DMP dos agregados estáveis em água. Nas camadas mais

profundas, a macroporosidade apresentou valores mais elevados, que pode ser atribuído ao fato de estas estarem menos expostas ao alcance das ações de manejo, com valores mais expressivos no citros, favorecido, também, pelo sistema radicular mais profundo.

Resultados semelhantes aos observados foram encontrados por SÁ et al. (1988), que, estudando um Latossolo Vermelho-Escuro, observaram acentuada redução da macroporosidade, sendo diretamente proporcional ao tráfego de máquinas agrícolas. No entanto, os valores de porosidade de aeração foram superiores ao limite crítico de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, atribuído por VOMOCIL & FLOCKE (1966), como necessário para manter condições satisfatórias da produção agrícola dos solos.

Tabela 13. Comparação entre médias de macroporosidade e posição no relevo.

Uso	Posição no relevo	Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)		
		0-10 cm	20-30 cm	60-70 cm
Citros	Terço Superior	0,253a	0,159a	0,210b
	Terço Médio	0,172b	0,137a	0,254a
	Terço Superior	0,253a	0,159a	0,210a
	Terço Inferior	0,168b	0,170a	0,217a
	Terço Médio	0,172a	0,137a	0,254a
	Terço Inferior	0,168a	0,170a	0,219b
Cana-de-açúcar	Terço Superior	0,201a	0,138a	0,127a
	Terço Médio	0,169a	0,100b	0,141a
	Terço Superior	0,201a	0,138a	0,127b
	Terço Inferior	0,167a	0,114a	0,159a
	Terço Médio	0,169a	0,100b	0,141b
	Terço Inferior	0,167a	0,114a	0,159a

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

4.7 DENSIDADE DO SOLO

As densidades do solo obtidas para as áreas cultivadas ao longo da seqüência topográfica estão apresentadas na Tabela 14, sendo observados aumentos dos seus valores até certa profundidade, até atingir o Bw, quando se tornam menores. Resultados semelhantes foram

encontrados por CINTRA et al. (1983), que, estudando solos de pomar de citros, verificaram que o uso contínuo permitiu a formação de camadas mais densas em subsuperfície. Para a cana-de-açúcar, SILVA & MIELNICZUK (1977) e CARON et. al. (1996) afirmam que o cultivo prolongado da cultura provoca diminuição da matéria orgânica e da estabilidade dos agregados e o conseqüente aumento da densidade do solo até profundidades que podem atingir 1(m) metro da superfície. Há que considerar que, em geral, os horizontes microagregados (Bw) usualmente apresentam valores menores de densidade do solo, do que os horizontes com estruturas poliédricas (KIEHL, 1979).

Tabela 14. Densidade dos solos: valores médios de 10 repetições.

Posição de Coleta	Densidade do solo					
	Citros			Cana-de-açúcar		
	0 - 10	20 - 30	60 - 70	0 - 10	20 - 30	60 - 70
	kg dm ⁻³					
Terço Superior	1,287	1,370	1,468	1,267	1,512	1,666
Terço Médio	1,287	1,373	1,220	1,299	1,485	1,504
Terço Inferior	1,238	1,205	1,274	1,374	1,423	1,288

Analisando os resultados estatisticamente, ficou constatado não haver diferença significativa nos valores de densidade do solo, entre as culturas, à profundidade de 0 a 10 cm, nas três posições observadas do relevo (Tabela 15). Na camada de 20 a 30 cm foi constatada diferença significativa ($P < 0,05$) na densidade do solo entre as culturas nas três posições estudadas do relevo, sendo observada maior densidade em áreas com cana-de-açúcar. Este registro pode estar relacionado à maior exigência da cultura em tratamentos culturais, com reflexos em subsuperfície, que levaram a uma compactação do solo a esta profundidade, e que se agravou com a redução do material orgânico (SARVASI, 1994).

Tabela 15. Comparação entre médias de densidade do solo e culturas.

Uso	Prof. cm	Densidade do solo		
		Terço Superior	Terço Médio kg dm ⁻³	Terço Inferior
Citros	0 – 10	1,287a	1,287a	1,238a
Cana-de-açúcar		1,267a	1,299a	1,374a
Citros	20 – 30	1,370b	1,373b	1,205b
Cana-de-açúcar		1,512a	1,485a	1,423a
Citros	60 – 70	1,468b	1,220b	1,274a
Cana-de-açúcar		1,666a	1,504a	1,288a

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

A comparação de médias da densidade do solo, nas profundidades de 60 a 70 cm, mostrou diferenças significativas ($P < 0,05$) entre as culturas nos terços superior e terço médio da encosta. Constatou-se, nesta profundidade, que os maiores valores médios foram verificados no terço superior da encosta, 1,46 kg dm⁻³ para o citros e 1,66 kg dm⁻³ para a cana-de-açúcar, coincidindo com a condição de uma textura mais grosseira e uma menor porosidade total. A maior densidade do solo registrada na cana-de-açúcar pode estar relacionada às modificações conferidas pelos tratos culturais mais intensos, com alteração de estrutura e compactação das camadas mais profundas, elevando a densidade nestas posições que, como afirmam CARON et al. (1996), pode atingir profundidades superiores a 70 cm. Contrariamente, a cultura do citros é menos exigente em tratos culturais, além de possuir um sistema radicular que, ao atingir camadas mais profundas, favorece a atividade biológica e, conseqüentemente, uma melhor estruturação. O mesmo foi observado por SILVA (1981), ao estudar Latossolo Amarelo do Sul do Estado da Bahia.

Comparando-se a densidade do solo nas posições do relevo, verificou-se não haver diferença significativa na superfície do solo, ao longo da seqüência topográfica, tanto no citros como cana-de-açúcar (Tabela 16). Nas camadas subsuperficiais e em maior profundidade, a densidade do solo reduziu seus valores nas posições mais baixas do relevo, que pode ser atribuído à textura mais argilosa e ao aumento da porosidade total.

Tabela 16. Comparação entre médias de densidade do solo e posições no relevo.

Uso	Posição no relevo	Densidade do solo (kg dm ⁻³)		
		0-10 cm	20-30 cm	60-70 cm
Citros	Terço Superior	1,287a	1,370a	1,468a
	Terço Médio	1,287a	1,373a	1,220b
	Terço Superior	1,287a	1,370a	1,468a
	Terço Inferior	1,238a	1,205b	1,274b
	Terço Médio	1,287a	1,373a	1,220a
	Terço Inferior	1,238a	1,205b	1,274a
Cana-de-açúcar	Terço Superior	1,267a	1,512a	1,666a
	Terço Médio	1,299a	1,485a	1,504b
	Terço Superior	1,267a	1,512a	1,666a
	Terço Inferior	1,374a	1,423a	1,288b
	Terço Médio	1,299a	1,485a	1,504a
	Terço Inferior	1,374a	1,423a	1,288b

Obs: Médias seguidas por letras iguais não são significativas ao nível de 5% de probabilidade pelo teste *t*.

4.8 CURVAS DE RETENÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

As figuras 8, 9, e 10 apresentam as curvas de retenção de água, ou curvas características de umidade dos solos, nas profundidades estudadas, quando as amostras foram submetidas aos potenciais matriciais de água no solo de -0,5; -2,6; -10; -100; -300 e -1.500 kPa.

De acordo com REICHARDT (1988), pode se considerar que até as tensões de -6 kPa são drenados os poros interagregados; a partir desta tensão a água retirada está nos poros intragregados. Baseado nesta afirmação verificaram-se condições favoráveis de retenção de água na capacidade de campo nos solos cultivados com citros, onde o manejo agrediu menos aos agregados do solo.

No terço superior da encosta observou-se maior capacidade de retenção da água sob tensões menos negativas no solo com cultura de citros, nas três profundidades, demonstrando um volume maior de macroporos ao longo do perfil, com água retida no ponto de saturação do solo, variando de 0,47 m³ m⁻³ a 48 m³ m⁻³ no citros para 40 a 43 m³ m⁻³ na cana-de-açúcar

(Figura 8). Esta condição pode estar relacionada à maior incidência de práticas de manejo na cultura da cana-de-açúcar, que levam a uma diminuição dos espaços de maior diâmetro (LIMA, 1995). Para as tensões aplicadas, com valores mais negativos que -6 kPa, as curvas apresentam traçados semelhantes, sem diferenças notórias, o que pode ser atribuído à textura arenosa, que dificulta a obstrução dos poros de menor diâmetro.

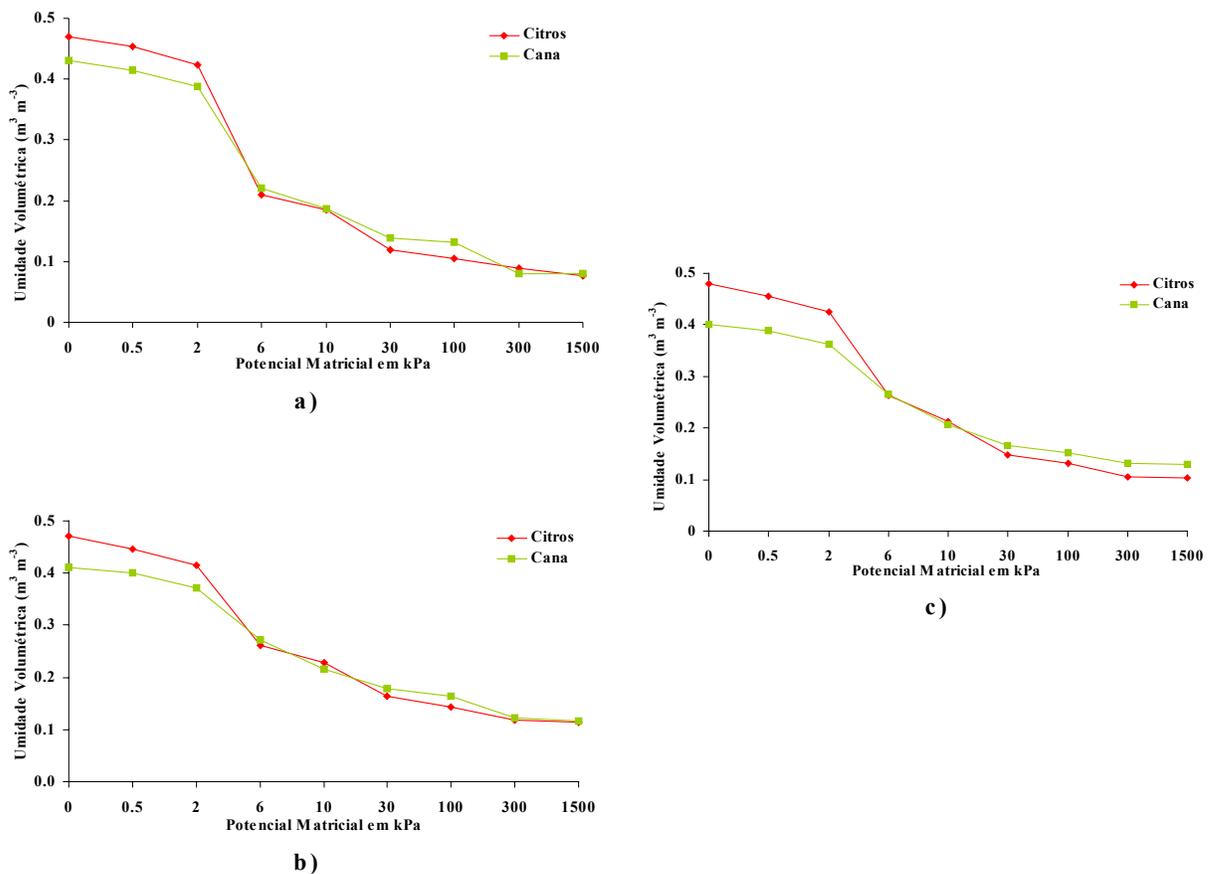


Figura 8 - Curva de retenção da água no terço superior da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.

A Tabela 17 apresenta valores semelhantes de água retida na tensão correspondente à capacidade de campo, e que houve maior eficiência para retenção de água na cana-de-açúcar nas camadas superficiais, onde também se observaram valores de microporosidade ligeiramente superiores. No citros a condição de maior macroporosidade fez com que a capacidade de aeração fosse superior no solo com cana-de-açúcar, com volume de

água retido variando de $0,26 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no citros, para $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na cana-de-açúcar na camada superficial. Constatações semelhantes foram encontradas por CAGAUAN & UEHARA (1965), ao compararem áreas submetidas a diferentes formas de uso e manejo.

Tabela 17. Condições de água e ar disponíveis no terço superior da encosta.

	Camadas cm	PTd $\theta_v(0\text{kPa})$	CC $\theta_v(-6\text{kPa})$	PMP		Cad $\theta_v[-6\text{kPa}(-1500\text{kPa})]$	Car PTd - $\theta_v(-6\text{kPa})$
				$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$			
Citros	0 – 10	0,47	0,21	0,07		0,13	0,26
	20 – 30	0,47	0,26	0,11		0,13	0,21
	60 – 70	0,48	0,26	0,10		0,16	0,22
Cana	0 – 10	0,43	0,23	0,08		0,15	0,20
	20 – 30	0,41	0,26	0,11		0,15	0,15
	60 – 70	0,40	0,27	0,13		0,14	0,13

Obs: PTd, porosidade total determinada; CC, capacidade de campo; PMP, ponto de murcha permanente; Cad; capacidade de água disponível; Car; capacidade de aeração e θ_v , volume de água retido nas respectivas tensões.

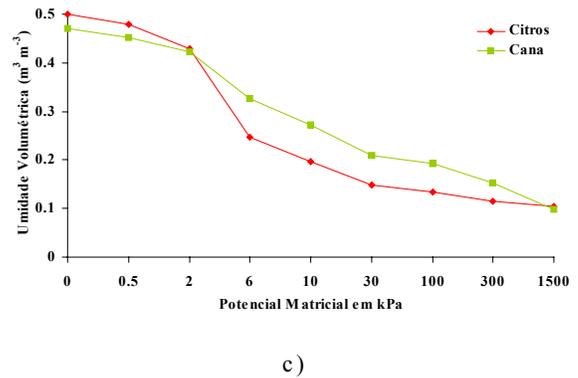
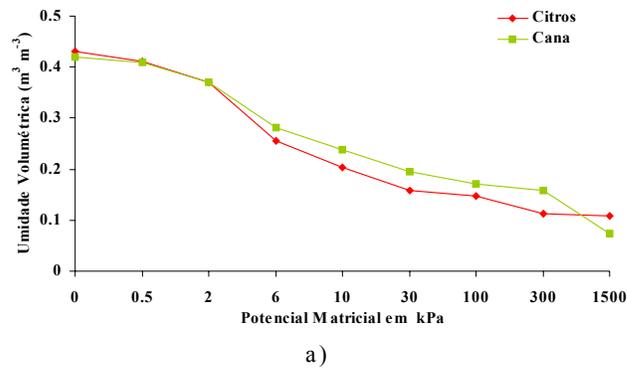
Comparações realizadas no terço médio da encosta mostraram semelhança das curvas nas tensões com valores menos negativas que -6 kPa , para as culturas de citros e cana-de-açúcar na camada superficial, com valores de porosidade total de $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nas culturas. Este valor aumenta nas camadas inferiores, com maior quantidade de água retida no ponto de saturação na cultura de citros, que aparece com $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de umidade na camada de 60-70 cm (Tabela 18). Ficou evidente, em subsuperfície, para a cultura da cana-de-açúcar, diminuição da capacidade de aeração, em decorrência da redução de macroporos nesta camada. Por outro lado, a redução da macroporosidade induziu a uma elevação do volume de microporos, fazendo com que a retenção da água na condição de cana-de-açúcar fosse maior do que na do citros, como mostra a Figura 9. Entretanto a capacidade de aeração nos solos cultivados com citros à profundidade de 60 a 70 cm superou em duas vezes o observado na cana-de-açúcar, o que destaca a importância do sistema radicular de culturas perenes para manutenção de um ambiente favorável à movimentação da água e do ar.

Tabela 18. Condições de água e ar disponíveis no terço médio da encosta.

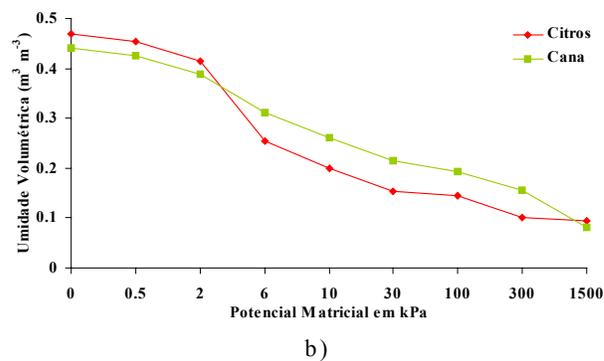
	Camadas cm	PTd $\theta_v(0\text{kPa})$	CC $\theta_v(-6\text{kPa})$	PMP $\theta_v(-1500\text{kPa})$ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	Cad $\theta_v[-6\text{kPa}-(-1500\text{kPa})]$	Car PTd - $\theta_v(-6\text{kPa})$
Citros	0 – 10	0,43	0,25	0,11	0,16	0,18
	20 – 30	0,47	0,25	0,09	0,20	0,22
	60 – 70	0,50	0,24	0,10	0,14	0,26
Cana	0 – 10	0,43	0,28	0,07	0,16	0,15
	20 – 30	0,44	0,31	0,08	0,25	0,11
	60 – 70	0,47	0,33	0,10	0,23	0,14

Obs: PTd, porosidade total determinada; CC, capacidade de campo; PMP, ponto de murcha permanente; Cad; capacidade de água disponível; Car; capacidade de aeração e θ_v , volume de água retido nas respectivas tensões.

No terço inferior da encosta, a superfície dos solos mostra uma curva de retenção da água com um formato retilíneo, com valores mais elevados nos solos cultivados com cana-de-açúcar, em todos os potenciais aplicados (Figura 10a). No entanto, a capacidade de água disponível apresentou valores inferiores aos registrado no citros (Tabela 19). Este fato pode estar relacionado à maior presença de matéria orgânica, determinada pelo sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar, que elevou os valores de água retida no ponto de murcha permanente destes solos. Este fato tem sustentação em observações de PETERSEN et al. (1968), quando afirmam que a retenção da água nos potenciais de valores mais negativos que -6 kPa depende da textura do solo e da superfície específica das partículas envolvidas.



a)



b)

Figura 9- Curva de retenção da água no terço médio da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.

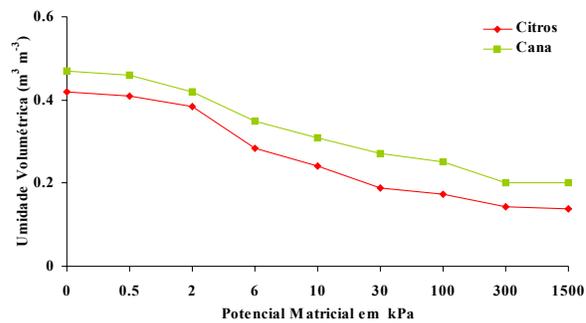
Nas camadas inferiores, 20 a 30 cm e 60 a 70 cm, as curvas apresentam-se semelhantes, com pequena superioridade nos valores de água extraída das amostras provenientes do solo com cana-de-açúcar (Figuras 10b e 10c), o que reflete a importância dos conteúdos de argila e de óxidos de ferro na estabilidade estrutural dos agregados (SÁNCHEZ, 1981).

A capacidade de aeração e de água disponíveis apresentaram valores influenciados pela posição do solo na vertente. Nas áreas mais elevadas, em que a textura é mais grosseira, os valores de aeração do solo foram mais expressivos, enquanto nas posições mais baixas, de textura mais fina, os espaços vazios favoreceram maior retenção de água. Solos franco-arenosos, estudados por MOURA et al. (1992), mostraram que as presenças de areia muito fina e de silte aumentam a capacidade do solo em armazenar água.

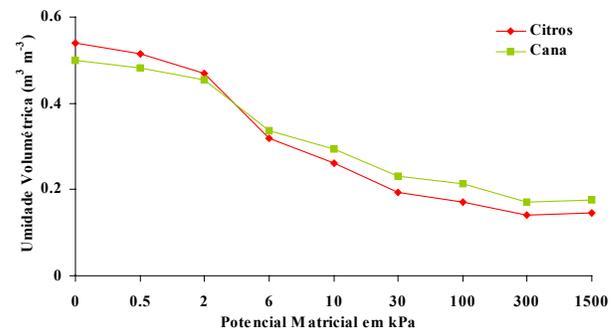
Tabela 19. Condições de água e ar disponíveis no terço inferior da encosta.

Camadas cm	PTd $\theta_v(0\text{kPa})$	CC $\theta_v(-6\text{kPa})$	PMP $\theta_v(-1500\text{kPa})$	Cad $\theta_v[-6\text{kPa}-(-1500\text{kPa})]$	Car PTd - $\theta_v(-6\text{kPa})$	
						$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$
Citros	0 – 10	0,44	0,29	0,13	0,18	0,15
	20 – 30	0,51	0,31	0,17	0,17	0,20
	60 – 70	0,53	0,32	0,14	0,17	0,21
Cana	0 – 10	0,47	0,34	0,20	0,14	0,14
	20 – 30	0,49	0,37	0,18	0,19	0,15
	60 – 70	0,50	0,34	0,17	0,17	0,16

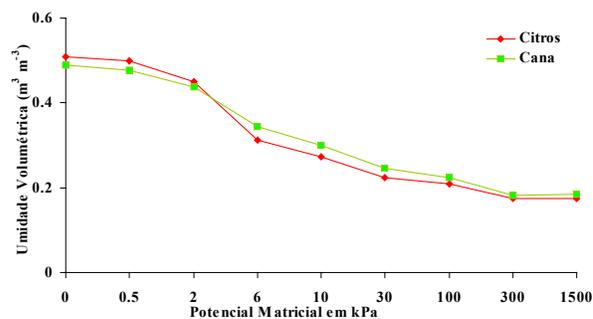
Obs: PTd, porosidade total determinada; CC, capacidade de campo; PMP, ponto de murcha permanente; Cad; capacidade de água disponível; Car; capacidade de aeração e θ_v , volume de água retido nas respectivas tensões.



a)



c)



b)

Figura 10 - Curva de retenção da água no terço inferior da encosta, média de três análises: a) Profundidade de 0 – 10 cm; b) 20 – 30 cm e c) 60 – 70 cm.

As observações apontam para uma modificação da dinâmica da água nos solos cultivados, com diferenças determinadas pelas atividades agrícolas. Na posição de topo, de textura mais arenosa, os solos apresentaram-se mais arejados, e nas posições mais baixas, as condições físicas naturais dos solos favoreceram a retenção da água, o mesmo acontecendo em subsuperfície, desta vez por modificações de estrutura causada pelo uso. Por outro lado, na cultura do citros, a menor exigência de mobilização do solo permitiu manutenção, e até melhoria, das condições de aeração e retenção da água nestes solos, diferentemente dos solos sob cana-de-açúcar, que periodicamente são submetidos a subsolagem, na tentativa de melhoria de suas condições físicas.

4.9 OBSERVAÇÕES MICROMORFOLÓGICAS

A organização dos constituintes dos solos, que vai resultar em sua porosidade, varia para os diferentes tipos de solos, e tem seus valores alterados de acordo com o sistema de uso e manejo. A porosidade pode também sofrer a influência da posição dos solos no relevo, podendo os de situações mais baixas receber aporte de materiais finos de suspensões em fluxos oblíquos, além das variações granulométricas, a partir das situações mais elevadas. Entretanto, esse aporte pode também ocorrer na vertical, em horizontes intermediários do perfil.

As observações microscópicas das lâminas delgadas revelaram certas diferenciações da geometria do espaço poroso, em consequência de alterações causadas pelo manejo, afetando negativamente a condição do solo. Algumas destas alterações pedológicas são analisadas em seguida, para os diferentes usos e posição na seqüência topográfica.

4.9.1 Citros

A presença de estruturas associadas, constituídas por materiais ferruginosos ao longo da seqüência topográfica, deve-se à presença marcante de óxidos de ferro nos solos estudados. De acordo com CAMARGO et al. (1986), é característica dos solos classificados como Latossolo Vermelho, conteúdos de óxidos de ferro variando entre 8 a 18%, o que favorece a formação de agregados estáveis e de pseudo-partículas, que muitas vezes confundem a análise granulométrica. É o caso dos presentes solos (BRASIL, 1960).

As análises micromorfológicas das lâminas delgadas permitiram observar a presença de estruturas modificadas pelo uso agrícola, em subsuperfície, com alterações estruturais observadas pela modificação na geometria dos poros, surgindo poros planares, e também, pelo surgimento de estruturas em bloco em um ambiente latossólico, (Tabela 20).

Tabela 20. Algumas características micromorfológicas dos solos cultivados com citros.

Profundidade (cm)	Contextura matricial	Microestrutura e pedalidade	Porosidade	Estruturas associadas
PERFIL 1 Terço superior da encosta				
20 - 30	Fundo matricial porfírico com setores gefúricos.	Blocos subangulares e pedalidade fraca.	Poros mamelonados; microfissuras intragregada e poros planares.	Glébulas formadas por nódulos ferruginosos.
60 - 70	Fundo matricial Enáulica, com setores gefúrico.	Microagregada com pedalidade forte.	Poros mamelonados, pedoporos e bioporos simples.	Pelotas fecais arredondadas e agrupadas em macroporos.
PERFIL 3 Terço médio				
20 - 30	Fundo matricial enáulico com setores gefúricos.	Agregados subarredondados em forma de blocos e pedalidade moderada.	Poros mamelonados e fissuras.	Achatamento de microagregados formando blocos.
60 - 70	Fundo matricial enáulico.	Estrutura microagregada com pedalidade forte.	Poros mamelonados comunicantes.	
PERFIL 5 Terço inferior				
20 - 30	Fundo matricial porfírico com setores gefúricos.	Blocos subangulares e pedalidade fraca.	Ortoporos isolados e microfissuras oblíquas.	Pedotúbulo oval preenchido.
60 - 70	Fundo matricial enáulico.	Microagregados arredondados e ovais associados a blocos médios arredondados, com pedalidade forte.	Macroporos formados por ortoporos comunicantes.	Argila ferruginosa e filmes de argila.

As figuras 11, 12 e 13 apresentam fotomicrografias do solo cultivado com citros sob luz natural, nas profundidades de 20 a 30 cm e 60 a 70 cm, nos terços superior, médio e inferior da seqüência topográfica. Nos setores mais afetados pela ação antrópica, ou seja, na subsuperfície do solo, observaram-se alterações na quantidade e na forma dos poros, com a

coalescência de microagregados e o surgimento de blocos subangulares e porosidade apresentando geometria modificada quando comparada com os solos de posições mais profundas (Figuras 12a e 12b). A resistência dos agregados às modificações causadas pelo manejo, permanecendo a dominância de estrutura microagregada, ressalta novamente a importância dos óxidos de ferro sobre a estabilidade dos agregados (TISDAL & OADES, 1980).

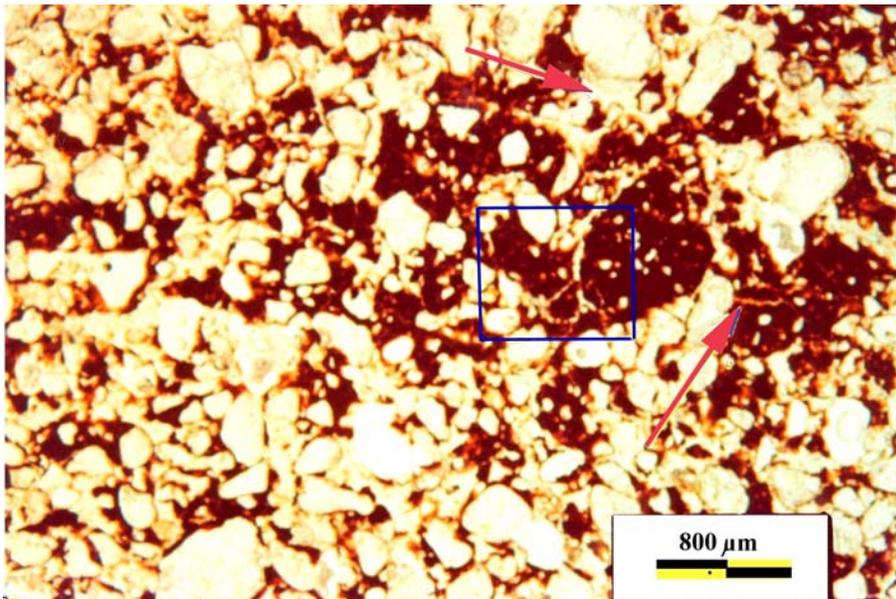
Verificou-se a presença de poros planares com microfissuras intrapédicas de 50 a 90 μm de diâmetro (Figuras 11b e 13a), condições que refletem as modificações na organização da matriz do solo já referida nas observações macromorfológicas (campo) e sustentadas na análise micromorfológica. As observações micromorfológicas mostraram, também, macroporos mamelonados de dimensões variadas, pedotúbulos ovais formadas por ações de raízes e animais, que, em escala macrométrica, podem fazer parte dos bolsões de estrutura granular e consistência solta, como comentado no item 4.1.

A alteração na geometria dos poros ratifica observações macromorfológicas de redução da porosidade, o que justifica o desenvolvimento horizontal de algumas raízes de citros. No entanto, a presença de macroporos isolados ameniza os efeitos da redução de poros, permitindo a passagem da água e do ar. Resultados semelhantes foram encontrados por LUCARELLI (1997), que estudando um Latossolo Roxo de Campinas, identificou agregados bem arredondados e porosidade tubular e em canais de origem biológica.

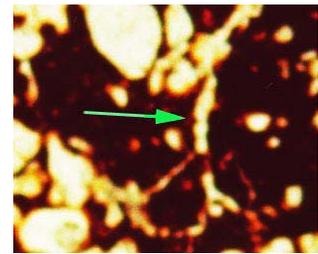
Nas camadas mais profundas do perfil, 60 a 70 cm, em que há pouca interferência do manejo agrícola, ocorre uma microestrutura com pedalidade fortemente desenvolvida de microagregados arredondados e ovais com 300 a 450 μm de diâmetro (Figuras 11c, 12b e 13c). Foram observados macroporos comunicantes com cavidades mamelonadas com diâmetro variando de 200 a 350 μm , que, de acordo com BREWER (1976), são favoráveis à circulação da água e do ar. Esta é uma característica típica dos horizontes B latossólico (Bw), que possuem uma microagregação elevada, que favorece a atividade biológica (VIEIRA, 1988); isto foi confirmado pela presença de excrementos, juntamente com o desenvolvimento das raízes (Figura 11c).

O plasma observado sob luz plana revelou cores escuras, com estrutura de base predominantemente porfírica e localmente gefúrica, com setores isóticos devidos à presença de materiais orgânicos e argilo-ferruginosos. Este material favorece a formação de partículas secundárias resistentes na subsuperfície de solos cultivados com citros, a exemplo da microagregação de partículas unitárias (pseudo-partículas) promovidas pelo ferro, observados por PÉDRO et al. (1976) no município de São Manoel (SP).

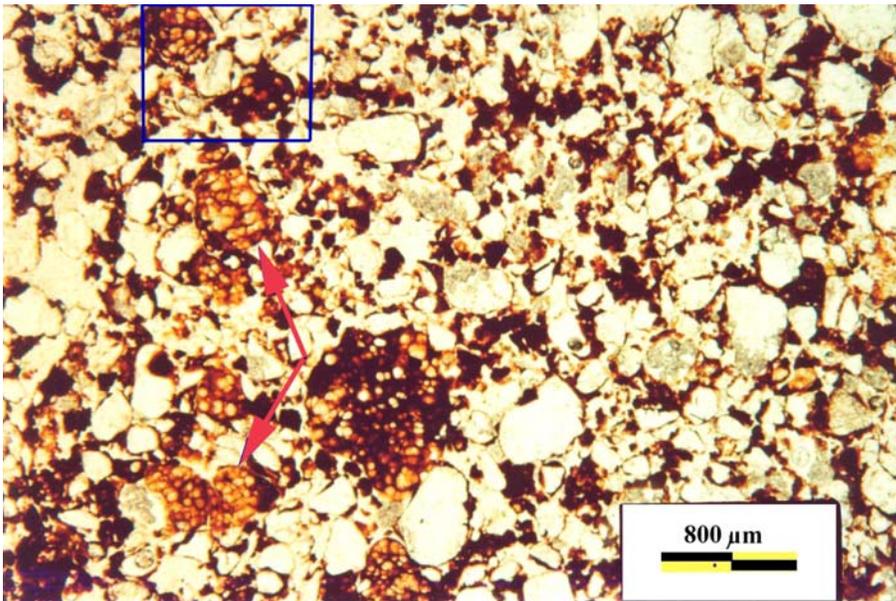
No plano da lâmina, no terço médio e terço inferior observaram-se películas de argila envolvendo grãos de quartzo e situações em que se apresentam preenchendo espaços vazios, apresentando-se como pontes de argila iluvial ligando grãos de quartzo e microagregados (Figuras 12b e 13d), situação também verificada por LIMA (1995) e FERNANDES (1993) estudando latossolos. Esta constatação teve suporte em análises de laboratório que mostraram teores elevados de argila natural e nas condições do relevo favoráveis para um deslocamento vertical e oblíquo das partículas finas.



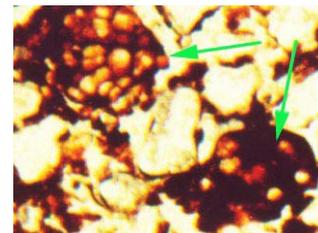
a) 20 a 30cm - Fundo matricial porfirico e gefúrico, poros planares macroporos mamelona-dos não comunicantes e detalhe ampliado.



b) Detalhe de microfissura intrapédica e fundo matricial porfirico.



c) 60 a 70 cm - Porosidade interagregada comunicante, excrementos indicativos da atividade biológica e detalhe ampliado.



d) Detalhe de excrementos e microagregas dos arredondados.

Figura 11 - Fotomicrografia de solo em áreas com citros no terço superior da encosta.

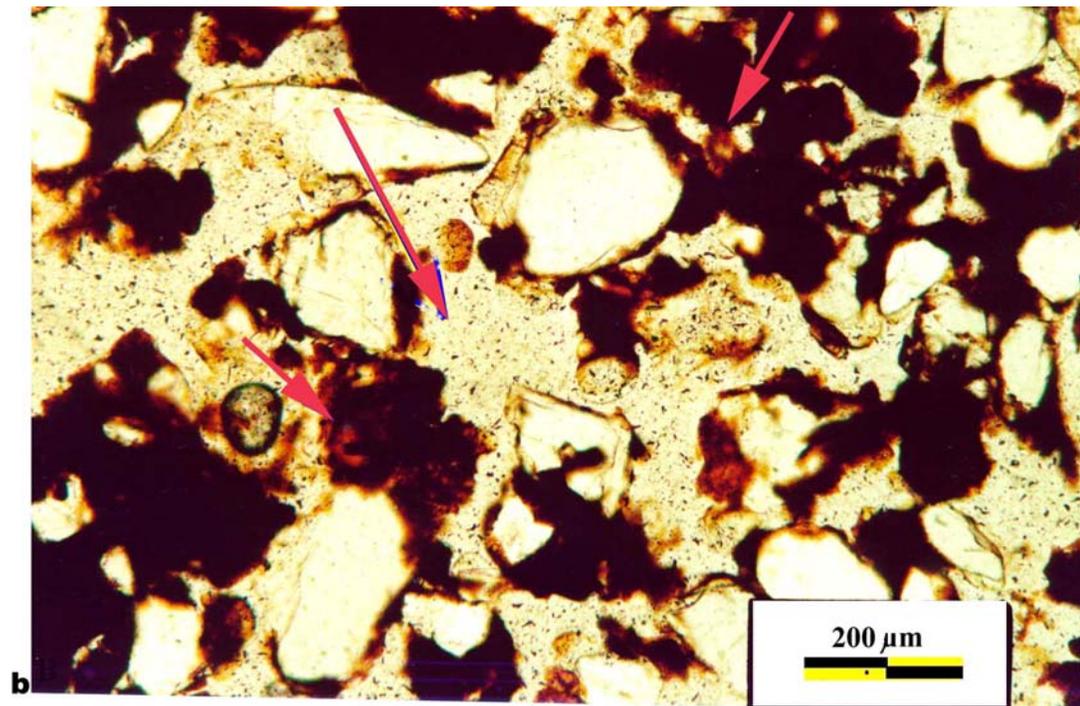
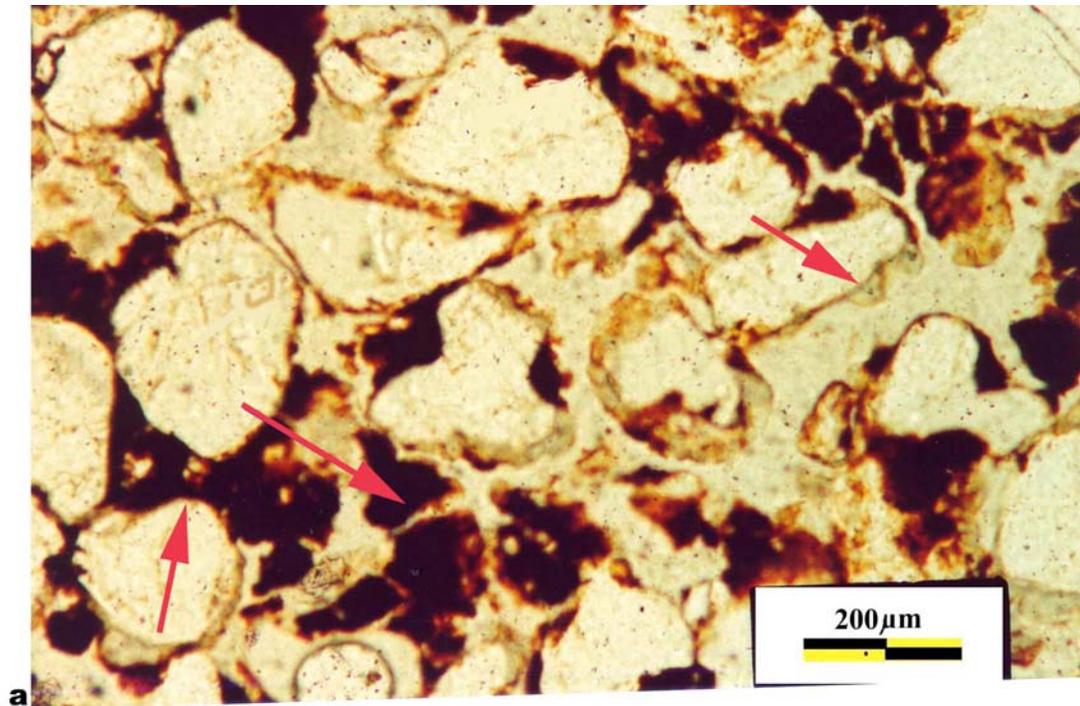
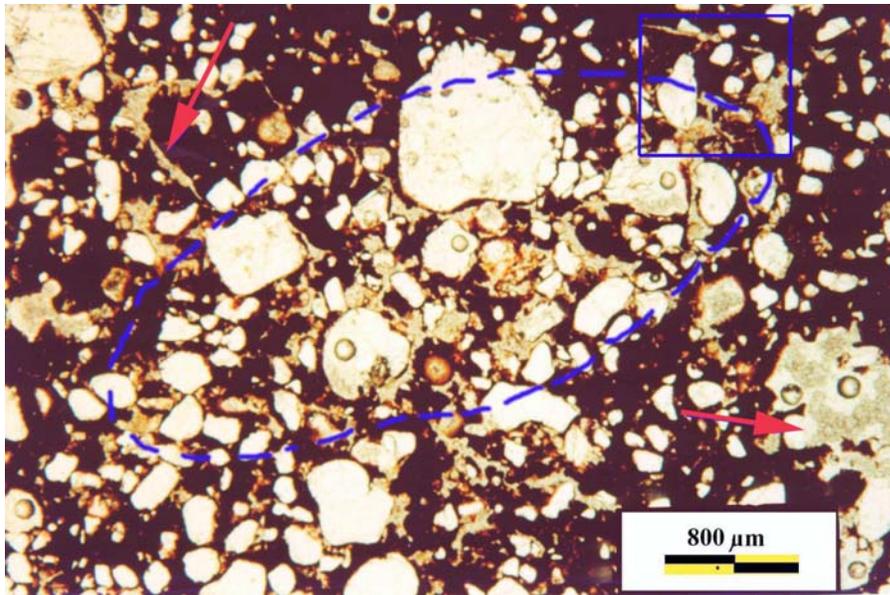
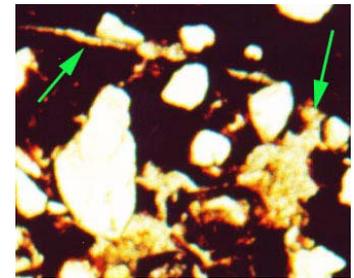


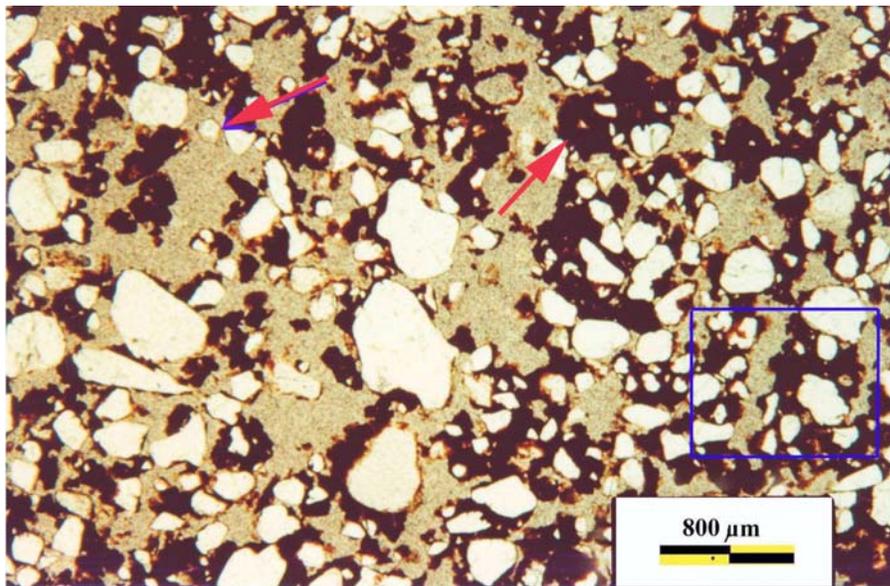
Figura 12 - Fotomicrografia de solos em áreas com citros, no terço médio da encosta: a) 20 a 30 cm – Redução de porosidade, fissuração de agregados e resíduos de estruturas cimentadas. b) 60 a 70 cm - Macroporos mamelonados comunicantes e presença de argila iluvial.



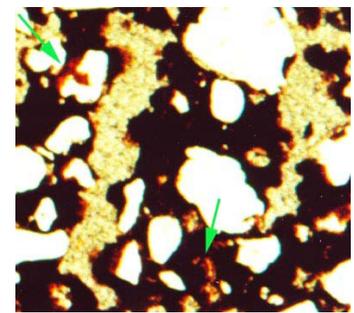
a) 20 a 30 cm - Estrutura porfírica, microfissuras, pedotúbulo oval, macroporo isolado e detalhe ampliado.



b) Detalhe de poros planares e macroporos não comunicante.



c) 60 a 70 cm - Estrutura microagregada, pedalidade forte, macroporos mame-lonadas e detalhe ampliado.



d) Detalhe de argila ferru-ginosa contornando grãos de quartzo.

Figura 13 - Fotomicrografia de solos em áreas com citros no terço inferior da encosta.

4.9.2 Cana-de-açúcar

As observações micromorfológicas dos solos da área cultivada com cana-de-açúcar permitiram constatar, em subsuperfície, alterações estruturais que também podem ser atribuídas ao manejo praticado, com algumas destas características microscópicas observadas em lâminas delgadas (Tabela 21).

Tabela 21. Algumas características micromorfológicas dos solos cultivados com cana-de-açúcar.

Profundidade cm	Contextura matricial	Microestrutura e pedalidade	Porosidade	Estruturas associadas
PERFIL 2 - Terço superior da encosta				
20 - 30	Fundo matricial enáulico associado a formas gefúricas.	Blocos subangulares e pedalidade moderada.	Poros de empilhamento e macroporos não comunicantes.	Macroporos de origem biológica.
60 - 70	Fundo matricial enáulico com setores gefúricos.	Microagregada ovais e esféricos com pedalidade forte.	Poros interagregados mamelonados comunicantes.	
PERFIL 4 - Terço médio				
20 - 30	Fundo matricial porfírico.	Blocos subangulares e pedalidade fraca.	Poros de empilhamento e microfissuras.	Material orgânico e ferruginoso.
60 - 70	Fundo matricial enáulico com setores porfíricos.	Microagregada arredondada com pedalidade forte.	Macroporos interagregados.	Filmes de argila iluvial.
PERFIL 6 - Terço inferior				
20 - 30	Fundo matricial porfírico.	Microestrutura em blocos e pedalidade fraca.	Metaporos isolados e poros planares.	Cutãs de iluviação e plasma isóptico.
60 - 70	Fundo matricial enáulico e porfírico.	Microestrutura com pedalidade forte/estrutura em blocos com pedalidade fraca.	Poros interagregados e /intragregados.	Ambiente de transição Bw/Bt.

Nos solos das posições mais elevadas do relevo, em subsuperfície, a porosidade é dominada por empilhamento simples e complexos de diâmetros menores que 150 μm e macroporos irregulares, mostrando na lâmina a ocorrência de macroporos de origem biológica de diâmetro maior que 1,5 mm. O fundo matricial apresenta dominância de esqueleto quartzoso, com pedalidade moderada e agregados em blocos subangulares (Figura 14a). Nas camadas mais

profundas a contextura matricial dominante é enáulica (Figura 14b) e os espaços vazios são dominados por poros interagregados mamelonados comunicantes, com diâmetro variando de 200 a 400 μm , apresentando ortocavidades de diâmetros maiores (Figura 14b).

No terço médio da encosta, à profundidade de 20 a 30 cm, os poros são predominantemente intragregados associados a poros de empilhamentos com diâmetro variando de 50 a 150 μm , ocorrendo macroporos irregulares de tamanhos maiores (Figura 15a). Foram observadas também microfissuras intragregadas planares e oblíquas que apontam para uma modificação da geometria do espaço poroso de origem mecânica (Figura 15b). Nas áreas mais profundas (60 a 70 cm) estão mantidas as características pedológicas de B latossólico, com forte pedalidade e estrutura microagregada constituída de microagregados arredondados (Figura 15c e 15d). Resultados semelhantes foram registrados por FERNANDES (1993), estudando latossolos do município de Campinas.

Nas posições de menor cota, os espaços vazios são dominados por poros interagregados comunicantes, com diâmetro variando entre 200 e 400 μm , sendo observados bioporos dendríticos de tamanhos maiores, principalmente nas camadas superiores, resultantes do sistema radicular da cana-de-açúcar, em meio a um esqueleto quartzoso mal selecionado (Figura 16a). Em subsuperfície o fundo matricial é porfírico, com pedalidade fraca, e a porosidade apresenta poros planares, ocorrendo bioporos de tamanhos maiores. É possível observar acúmulo iluvial de argila que se apresentam envolvendo grãos de quartzo, ou em forma de pontes de argila ligando microagregados (Figura 16b). Nas camadas mais profundas foram observados blocos subangulares em ambientes porfíricos em transição para ambiente tipicamente latossólico, com estrutura microagregada (Figura 16c). A estrutura de base tem coloração bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4) que se apresenta predominantemente isótica, devido a opacidade causada por materiais ferruginosos, assim como observado por COOPER (1999), estudando solos com Bw em Piracicaba.

A compactação referida em campo na análise morfológica em subsuperfície é aqui confirmada pela aproximação dos microagregados que vão se coalescendo, diminuindo, pois, a porosidade interagregada, surgindo poros planares e justificando a acentuada redução na taxa de infiltração da água (LIMA, 1995). Observou-se também certa resistência do solo em alterar sua

estrutura, e que, provavelmente, esteja relacionado com a composição mineralógica (presença de óxidos de ferro), favorecendo maior resistência às modificações causadas pelo manejo, principalmente nos agregados com diâmetros menores que 250 μm (TISDAL & OADES, 1980).

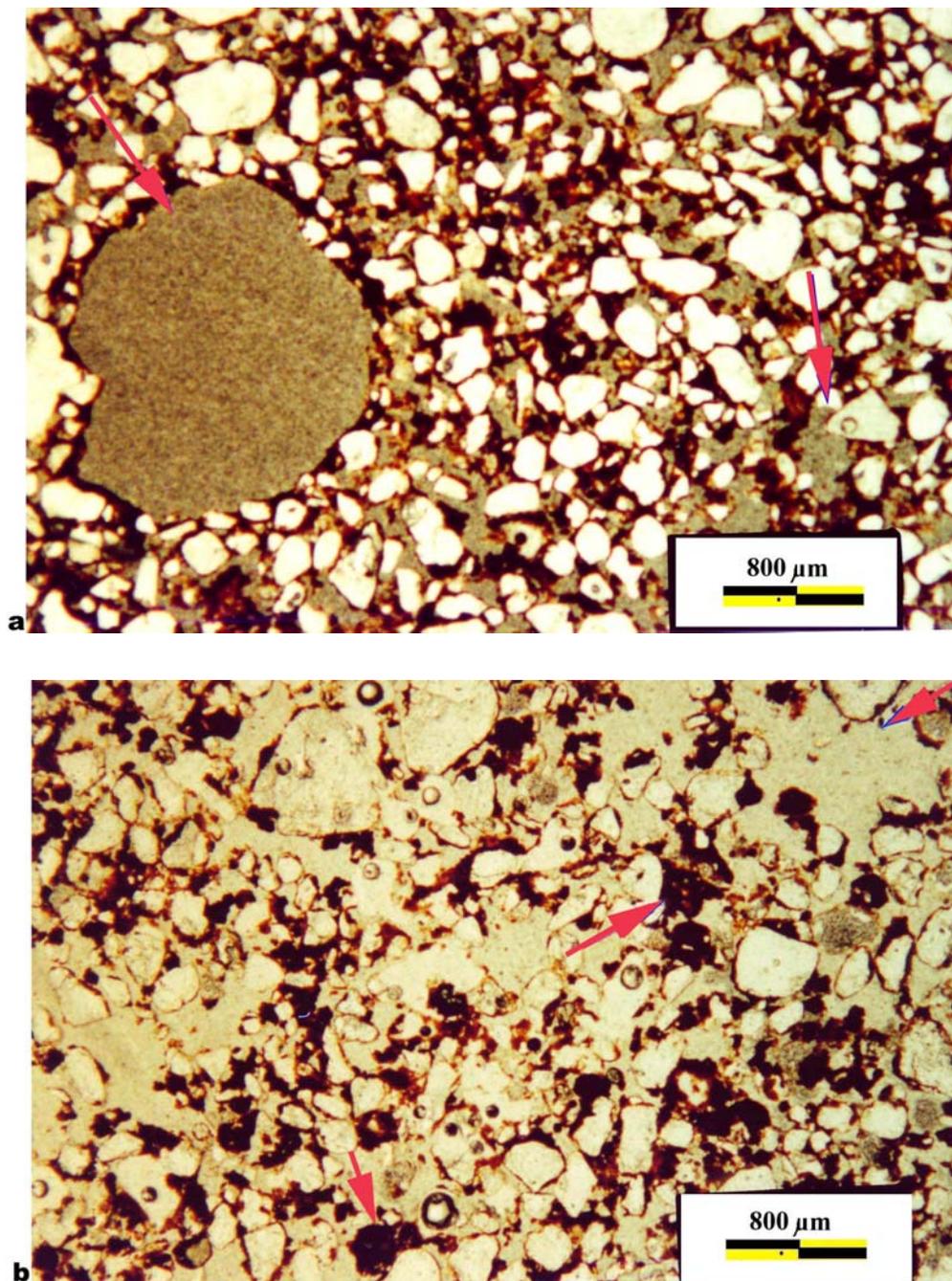
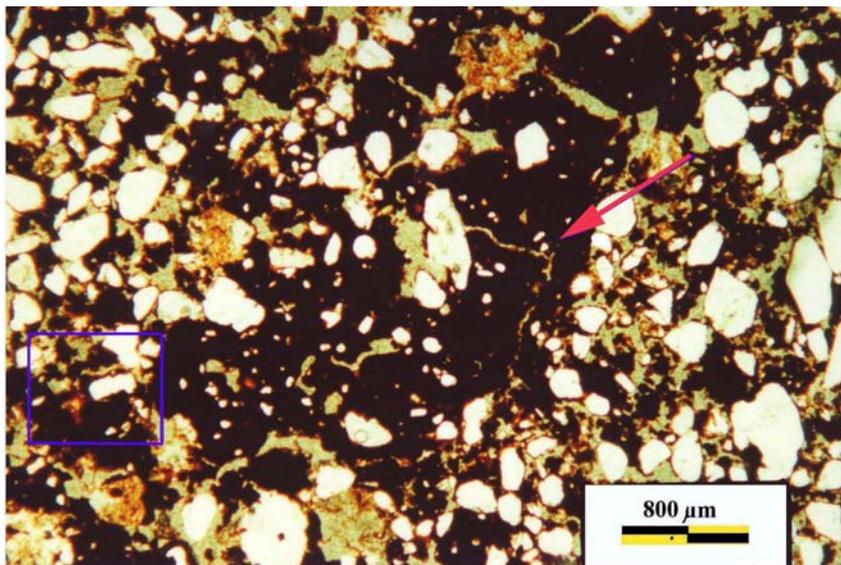
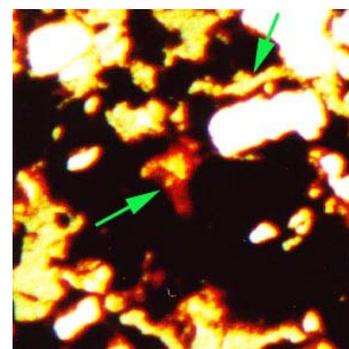


Figura 14 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço superior da encosta: a) 20 a 30cm - Macroporo de origem biológica, poros não comunicantes e esqueleto quartzoso subangular; b) 60 a 70 cm - Poros comunicantes e estrutura microagregada (Luz natural).

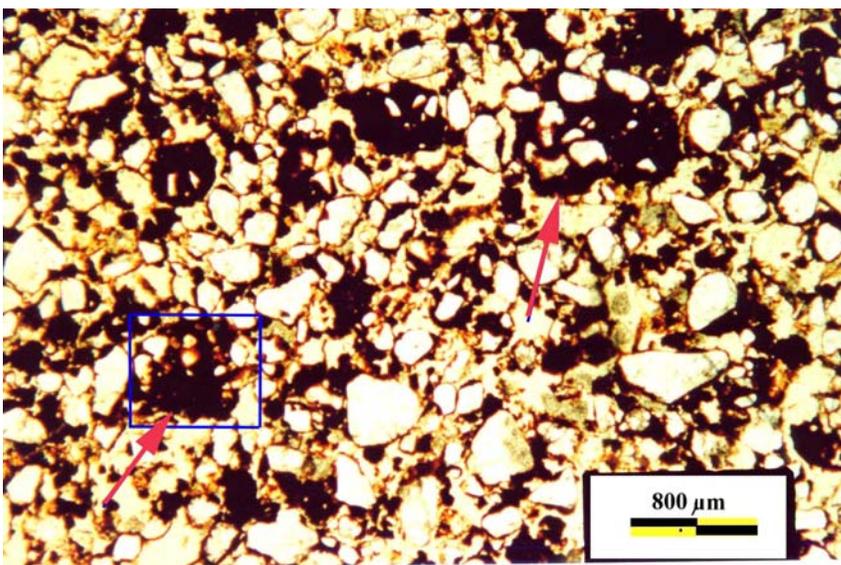
Da mesma forma que o observado nos solos cultivados com citros, há indícios da movimentação de argilas para as camadas mais profundas e mais baixas da seqüência topográfica, sendo observada deposição de argilas nestas profundidades (Figura 15d e 16d).



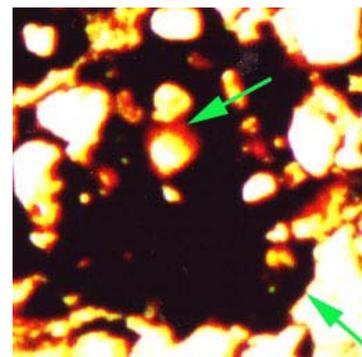
a) 20 a 30 cm - Fundo matricial porfírico com microfissuras planas e oblíquas e detalhe ampliado.



b) Detalhe de filme de argila iluvial e poros achatados.

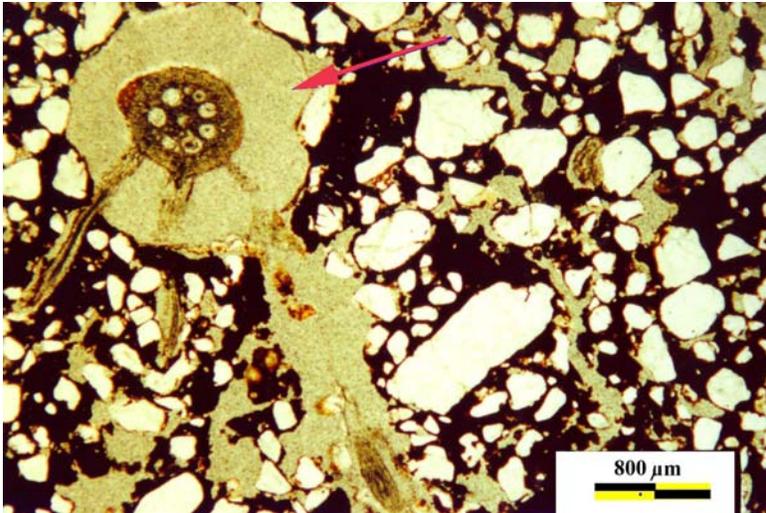


c) 60 a 70 cm - Estrutura microagregada e fundo matricial enaúlico com setores porfíricos e detalhe ampliado.

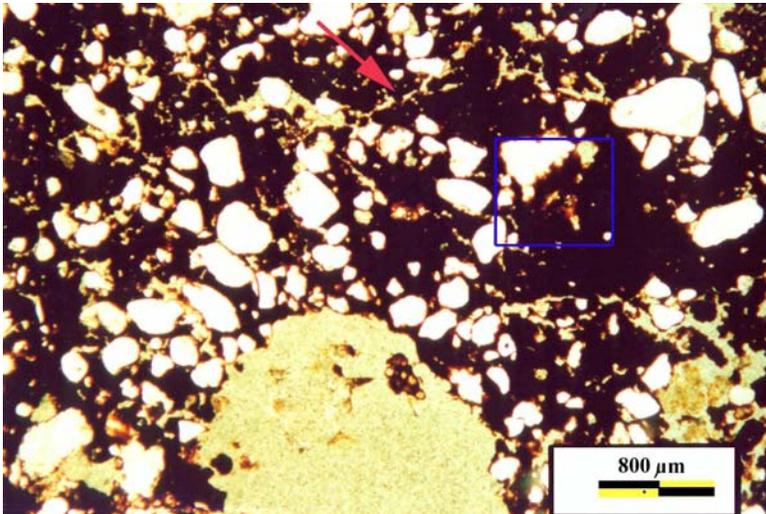


d) Detalhes de filmes de argila iluvial e microagregado arredondado.

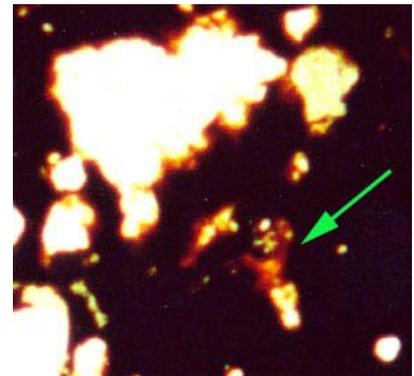
Figura 15 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço médio da encosta.



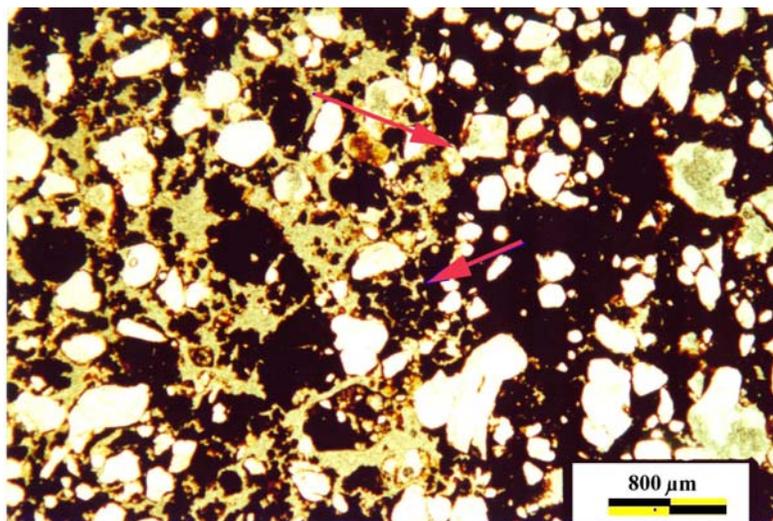
a) 0 a 10 cm - Corte de bioporo dendrítico e assembléia constituída de esqueleto quartzoso mal selecionado.



b) 20 a 30 cm – Poros planares e microestrutura em blocos e detalhe ampliado.



c) Detalhe de cutãs de argila, aspecto de ferriargilã.



d) 60 a 70 cm - Fundo matricial porfírico e enáulica, lado a lado, o primeiro evoluindo para o segundo.

Figura 16 - Fotomicrografia dos solos em áreas com cana-de-açúcar no terço inferior da encosta.

A análise microscópica das lâminas ilustra a notável redução da porosidade nos horizontes subsuperficiais dos solos, por alteração das cavidades porais, provocada pelo uso agrícola intensivo. Nos solos cultivados com citros há modificação da contextura matricial por achatamento e preenchimento dos espaços porosos, fazendo surgir formas fissuradas e coalescência de agregados, surgindo estrutura em blocos, em ambiente originalmente microagregado. O sistema radicular fasciculado da cana-de-açúcar favoreceu o surgimento de macroporos irregulares, ao mesmo tempo em que o manejo intensivo fez surgir poros planares. Esta constatação coincide com observações feitas por CERRI (1986), estudando solos cultivados continuamente com cana-de-açúcar, quando afirma haver desenvolvimento de estrutura e porosidade próprias aos horizontes cultivados em decorrência da fragmentação e compactação dos horizontes superficiais; os macroporos do solo virgem das proximidades da área de estudo são irregulares e comunicantes (SOARES & ESPINDOLA, 2001); possivelmente eles também o fossem nos solos da vertente, antes de seus usos, porém eles se mostram atualmente planares e descontínuos, em decorrência das práticas de manejo.

Essas práticas devem ter promovido as alterações na forma e no tamanho dos agregados, fazendo com que o ambiente, originalmente com forte pedalidade e porosidade comunicante desse lugar, conduzisse a um fundo matricial porfírico, com redução da macroporosidade, pela coalescência dos agregados (MARTIN et al. 1987). Esta observação permite compreender a presença de contextura matricial porfírica com estrutura em blocos em meio a um ambiente enáulico com microestruturas argilo-ferruginosas.

A comparação das análises micromorfológicas dos solos em diferentes posições do relevo, confirmou a maior concentração de plasma (argila) nos setores mais baixos, com características bem definidas nas lâminas de camadas mais profundas, onde também se evidenciou certa iluviação de argila. Nas posições mais atingidas pela ação antrópica foi constatado o comprometimento da estrutura original, surgindo blocos e prismas e um fundo matricial porfírico. Nas cotas mais elevadas, de textura arenosa, a contextura matricial apresenta-se gefúrica em superfície, com setores porfíricos e microfissuras em subsuperfície.

As análises micromorfológicas, além de ratificar as observações de campo, ofereceram, de certa forma, uma ordem de grandeza da compactação subsuperficial; no entanto, as observações microscópicas permitiram constatar que a redução da macroporosidade não foi limitante ao desenvolvimento das raízes, nem à atividade microbiológica, pois grande parte não atingiu a condição de microporos, além da ocorrência de macroporos isolados.

4.10 OBSERVAÇÕES SOBRE A MICROBIOLOGIA DO SOLO

A substituição da floresta por agricultura proporcionou forte redução na liberação de CO₂ nas camadas superficiais dos solos. SOARES & ESPINDOLA, (2001) verificaram, em solos sob mata nativa, valores máximos de leitura da ordem de 8,45 mgCO₂ / g de solo, com redução para 0,43 mgCO₂ / g de solo em citros e 0,21 mgCO₂ / g de solo na cana-de-açúcar, à mesma profundidade (0-5cm) e no terço médio da encosta (Tabela 22). O mesmo não ocorreu em maior profundidade, quando se observaram comportamentos semelhantes dos valores de respirometria, no ambiente natural e nas áreas cultivadas.

Tabela 22. Respirometria nos solos cultivados; valores médios de 4 repetições, durante 8 dias.

Uso	Prof. cm	Produção diária de CO ₂								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
		mgCO ₂ /g de solo								
TS	Citros	0 - 5	0,18	0,05	0,12	0,14	0,14	0,08	0,12	0,40
		10 - 15	0,10	0,14	0,08	0,06	0,21	0,03	0,17	0,35
	Cana-de-açúcar	0 - 5	0,14	0,15	0,03	0,01	0,19	0,10	0,11	0,31
		10 - 15	0,11	0,20	0,16	0,06	0,21	0,08	0,13	0,27
TM	Citros	0 - 5	0,43	0,34	0,19	0,05	0,31	0,14	0,14	0,30
		10 - 15	0,21	0,26	0,16	0,03	0,26	0,13	0,13	0,32
	Cana-de-açúcar	0 - 5	0,21	0,25	0,03	0,27	0,11	0,11	0,25	0,13
		10 - 15	0,19	0,19	0,02	0,23	0,10	0,06	0,30	0,10
TI	Citros	0 - 5	0,64	0,63	0,55	0,39	0,53	0,33	0,46	0,49
		10 - 15	0,23	0,19	0,18	0,06	0,24	0,09	0,14	0,23
	Cana-de-açúcar	0 - 5	0,76	0,59	0,66	0,44	0,48	0,37	0,58	0,46
		10 - 15	0,26	0,17	0,15	0,26	0,12	0,37	0,14	0,15

Obs: TS – Terço Superior; TM – Terço Médio e TI – Terço Inferior.

Estes resultados coincidem com informações obtidas por BORGES (1993) que, estudando Latossolo de Cruz das Almas (BA), observou que a implantação de culturas agrícolas fez diminuir a atividade microbiana no horizonte superficial, pela redução de produtos orgânicos que foram consumidos pelos microorganismos. Para CARDOSO et al. (1992), qualquer prática agrícola (aração, adubação, calagem, incorporação de M.O, irrigação, aplicação de agrotóxicos entre outros) costuma afetar os nichos disponíveis, mediante intervenção nas características físico-químicas ou biológicas do ecossistema.

Observou-se uma relação significativa ($P < 0,01$) entre a liberação de CO_2 e os dias de leitura nas posições da encosta, determinada na profundidade de 0 a 5 cm. Os resultados revelam ajuste a um modelo quadrático, como mostram as figuras 17 e 18, com valores mais elevados da respirometria registrados nas posições mais baixas do relevo, reduzindo gradativamente para posições mais elevadas.

A importância da posição no relevo na produção de CO_2 microbiano pode estar relacionada com certos fatores, dentre os quais o aumento da porosidade capilar nestes solos, que favorece a retenção de material orgânico e interfere positivamente na respirometria. Resultados semelhantes foram encontrados por TEWARY et al. (1982), que verificaram maior liberação de CO_2 em solos com menor densidade e, portanto, mais porosos, predominando os microporos.

A elevação dos teores da fração argila favorece também o aumento dos teores de carbono e nitrogênio, decorrentes do aumento da água retida, da capacidade de troca, da soma de bases, da diminuição da aeração e da temperatura do solo (KIEHL 1979). Outra razão pode ser aquela defendida por HASSINK et al. (1993) e BONDE et al. (1993), que afirmam que uma maior proporção de microorganismos encontra mais proteção contra predadores em solos argilosos, do que em solos arenosos, em virtude do estado menos ativo destes últimos. Estes fatores são favoráveis à atividade microbiana e à conseqüente elevação do CO_2 liberado.

As primeiras leituras apresentaram valores elevados, pois houve um manuseio do solo, que foi pulverizado, peneirado, umedecido e submetido a uma temperatura favorável de laboratório, fazendo com que os microorganismos fossem estimulados ao consumo de material energético de fácil metabolização. Estas condições favoráveis à atividade biológica levam a um

rápido consumo de compostos orgânicos, fazendo com que haja um declínio da curva de respirometria nas leituras seguintes. Outra razão para a redução da produção de CO₂ pode estar associada à presença de material orgânico de difícil digestão, que exige um ataque inicial por enzimas, mantendo os organismos inativos, diminuindo os valores de CO₂ liberado, sendo, em seguida, acelerada a queima do material disponibilizado.

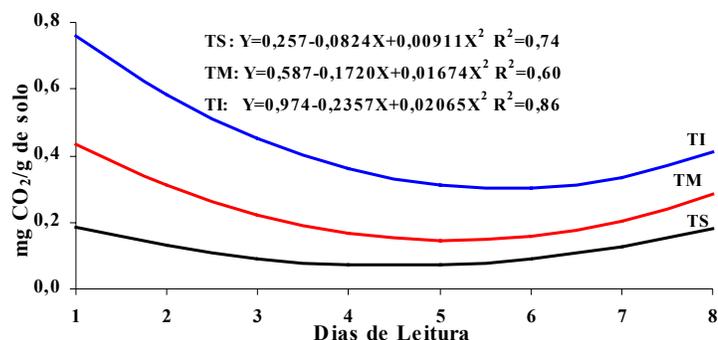


Figura 17 - Respirometria nos solos cultivados com citros comparando a posição na seqüência topográfica em função dos dias de leitura: TS=Terço superior; TM=Terço médio; TI=Terço inferior.

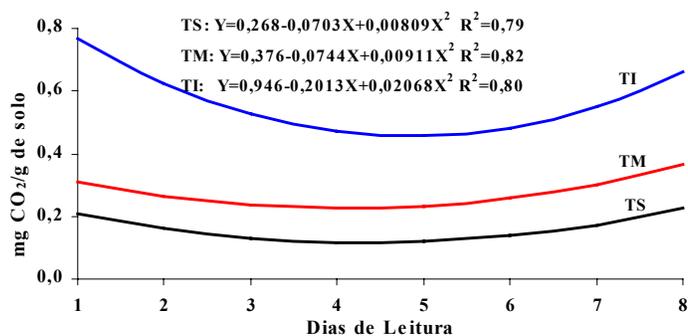


Figura 18 - Respirometria nos solos cultivados com cana-de-açúcar comparando a posição na seqüência topográfica em função dos dias de leitura: TS=Terço superior; TM=Terço médio; TI=Terço inferior.

A menor produção de CO₂ nas posições mais elevadas do relevo, de textura mais grosseira, pode estar também relacionada, ao mesmo tempo, às maiores dificuldades que têm esses solos em reter material orgânico, em relação aos argilosos, pelas melhores condições de aeração e temperatura que aqueles apresentam, estimulando maior atividade microbiana (SANTOS

& GRISI, 1981). Estudos feitos por BROERSMA & LAVKULICH (1980), sobre a distribuição da matéria orgânica nas frações granulométricas, mostra que 60% de material orgânico total estava associado às frações mais finas do solo, o que parece aqui se confirmar.

As análises de respirometria revelaram que nas posições mais elevadas a produção de CO₂ apresentou valores, em superfície, da ordem de 0,20 mgCO₂ / g de solo, próximos aos verificados às profundidades de 10 a 15 cm (Figuras 19 e 20). Estes baixos valores de respirometria no terço superior da encosta pode ser atribuído à macroporosidade mais elevada, o que favorece o rápido consumo de material orgânico adicionado. Com relação aos baixos teores de CO₂ liberados na subsuperfície do solo, eles podem ser atribuídos à menor disponibilidade de material energético a esta profundidade do solo.

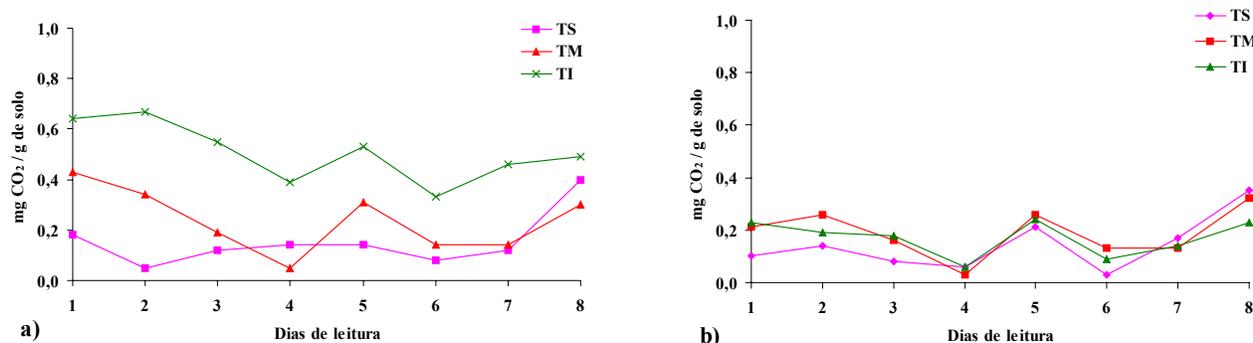


Figura 19 - Respirometria nos solos com citros. TS, terço superior da encosta; TM, terço médio e TI terço inferior. a) 0-5cm e b) 10-15cm. Valores médios de 4 leituras

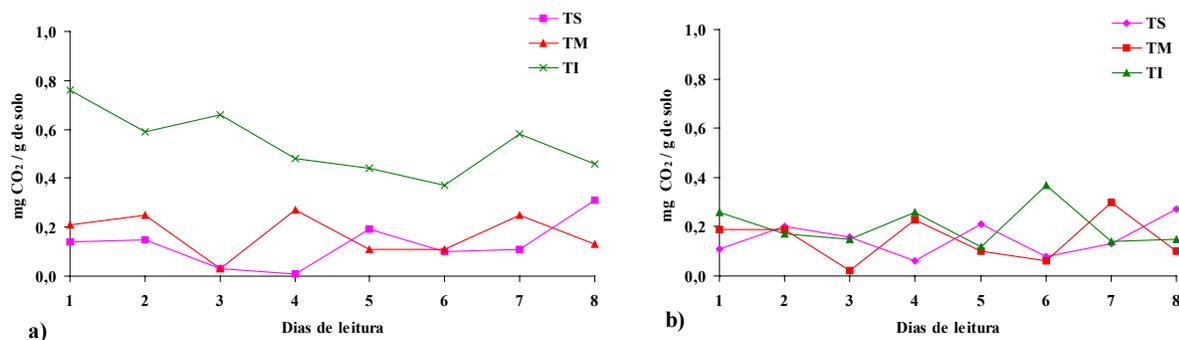


Figura 20 - Respirometria nos solos com cana-de-açúcar. TS, terço superior da encosta; TM, terço médio e TI terço inferior. a) 0-5cm e b) 10-15cm. Valores médios de 4 leituras.

Verificando-se as curvas de respirometria nas condições de citros e de cana-de-açúcar, observaram-se valores mais elevados nos solos cultivados com cana-de-açúcar, nas diferentes posições do relevo (Figura 21). Ficou evidente que nos primeiros dias de leitura os valores foram mais elevados, que, como já foi comentado, pode ser justificado pelo estresse dos microorganismos durante o manuseio e transporte da amostra de solo para o laboratório, com intensificação de consumo do material de fácil digestão. Nos dias seguintes houve redução no CO₂ liberado, com tendência de elevação nas últimas leituras. Observou-se que o maior volume de resíduos orgânicos deixados pelo sistema radicular da cana-de-açúcar intensificou a atividade dos microorganismos, com liberação de CO₂ por respirometria mais elevada do que o registrado na cultura do citros, nas três posições da seqüência topográfica (Figuras 21a, 21b e 21c).

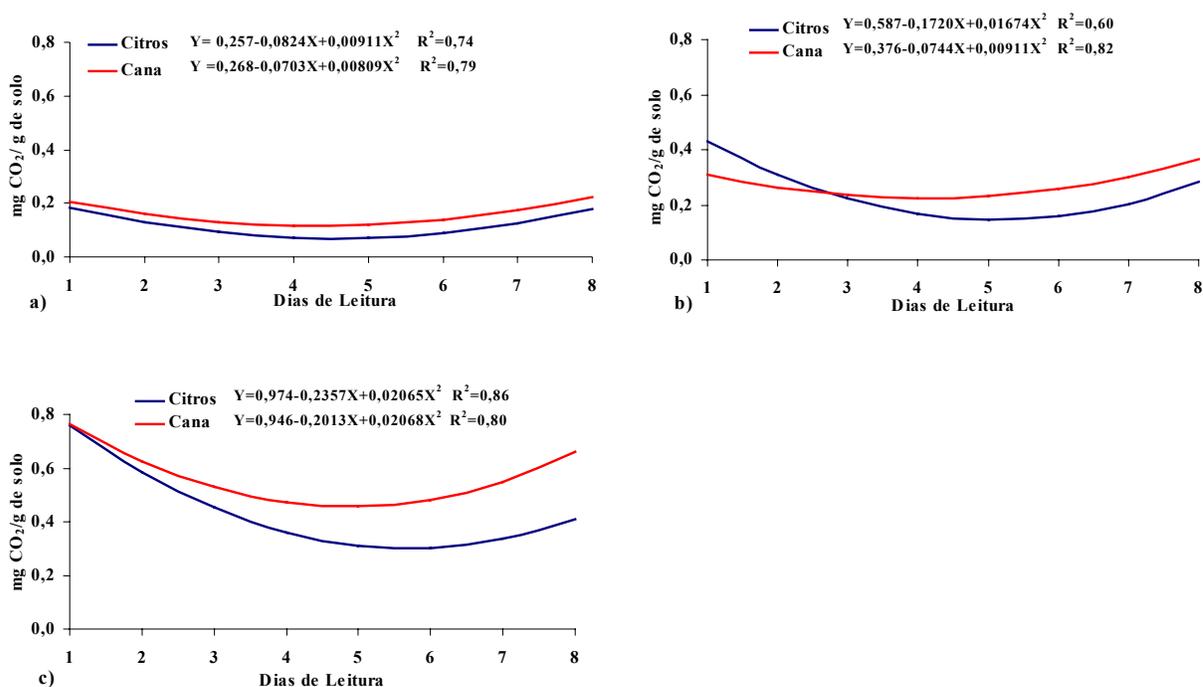


Figura 21- Respirometria no citros e na cana-de-açúcar: a) Terço Superior; b) Terço médio e c) terço inferior.

Inúmeros são os trabalhos que ratificam a importância do material orgânico nas características físicas, químicas e biológicas dos solos. MELLO et al. (1989) afirmam haver contínua adição de material orgânico em solos cultivados com gramíneas, por constante morte e surgimento de novas raízes, o que torna os efeitos decorrentes, da presença de substâncias orgânicas, mais intensos nos solos com cana-de-açúcar do que em citros.

4.11 INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

A maior facilidade do solo em permitir a infiltração da água superficial e as trocas gasosas entre a atmosfera e a rizosfera é reflexo do seu volume de macroporos (THOMASSON, 1978), visto que o seu comportamento hidrodinâmico reflete as suas condições físicas (CENTURION & DEMATTÊ, 1985). Esta afirmação se observou nos solos estudados, com alteração na taxa de infiltração da água influenciada pela posição no relevo, pela profundidade de observação no perfil e pelo uso e manejo agrícola praticados (Tabela 23).

Nos solos cultivados com cana-de-açúcar, na camada de 20-30 cm observou-se forte redução da velocidade de infiltração da água, quando comparada com o solo com citros na mesma posição. Este fato pode ser atribuído à redução da macroporosidade, em consequência das práticas culturais mais intensas na cana-de-açúcar, com médias inferiores às do citros, ao longo dos perfis e da seqüência topográfica, sendo mais evidente na subsuperfície.

Os resultados da infiltração da água no solo na camada de 0 a 10 cm apresentaram-se da ordem de $21,25 \text{ mm min}^{-1}$, alterando-se para $3,5 \text{ mm min}^{-1}$ na mesma posição do relevo, para as duas formas de uso. Esta situação pode ser atribuída à degradação da estrutura, com compactação do solo pelo intenso manejo, dificultando a movimentação da água no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por LUCARELLI (1997), para Latossolo Roxo preparado com grade aradora e arado de disco. Comparando-se, porém, a profundidade ao longo da vertente, na cultura de citros, observaram-se maiores valores médios de infiltração da água no terço médio, estabilizando-se por volta de $21,25 \text{ mm min}^{-1}$, justificada pela maior presença de

macroporos contínuos, pedotúbulos e galerias biológicas. Com relação à cultura da cana-de-açúcar, os resultados mais expressivos foram encontrados no terço superior ($13,25 \text{ mm min}^{-1}$), o que pode ser atribuído à textura mais grosseira nesta posição do relevo.

Tabela 23. Infiltração da água no solo determinada com permeâmetro de Guelph com carga hidráulica de 6 cm; médias de quatro repetições.

Posição de Coleta	Infiltração da água					
	Citros			Cana-de-açúcar		
	0 - 10	20 - 30	60 - 70	0 - 10	20 - 30	60 - 70
mm min^{-1}						
Terço Superior	14,25	23,00	40,25	13,25	3,5	29,25
Terço Médio	21,25	16,00	46,50	3,5	4,25	30,50
Terço Inferior	6,75	7,50	27,50	4,25	4,50	14,75

Para a profundidade de 20 a 30 cm, observou-se uma maior diferença na infiltração da água, com valores médios de $3,5 \text{ mm min}^{-1}$ para a cana-de-açúcar e de 23 mm min^{-1} para o citros, enquanto em área adjacente, com mata nativa, SOARES & ESPINDOLA (2001) constataram $58,00 \text{ mm min}^{-1}$. Este fato pode ser explicado pelo uso mais intenso de máquinas no cultivo de cana-de-açúcar, com mobilização freqüente da camada superficial do solo, reduzindo a macroporosidade nas camadas subsuperficiais. Outro aspecto é a diminuição dos teores de matéria orgânica, com desestruturação do solo e compactação, além do possível preenchimento de espaços vazios por argila dispersa em água e do possível surgimento de camadas compactadas conhecidas como “pé-de-arado”. Nos solos cultivados com citros, o menor revolvimento do solo favorece a atividade biológica e o surgimento de macroporos comunicantes, que facilitam a movimentação da água. Estas considerações têm suporte em afirmativa de CINTRA et al. (1983), de que a infiltração é uma característica muito sensível para detectar alterações introduzidas pelo cultivo.

Ainda na profundidade de 20 a 30 cm, observou-se que nos solos cultivados com citros ocorre uma diminuição na taxa de infiltração da água no sentido topo/terço inferior. Este fato pode ser atribuído à translocação de argila das partes mais elevadas, obstruindo cavidades e dificultando a passagem da água. No entanto, para a cana-de-açúcar, os dados não mostraram grandes diferenças ao longo da seqüência topográfica, talvez por já ter atingido reduzidas taxas de infiltração. SARVASI (1994) observa ser a desestruturação excessiva do solo, causada pelas práticas convencionais de aração e gradagem, que possivelmente proporcionam, nos testes de infiltração, uma grande quantidade de partículas finas em suspensão, as quais seriam responsáveis pela obturação parcial dos poros, impedindo, desta forma, maiores taxas de infiltração. Há de se lembrar, aqui, os valores relativamente elevados de argila dispersa em água encontrados, já devidamente comentados.

Avaliando-se separadamente os solos cultivados na profundidade de 60 a 70 cm, observaram-se valores médios de infiltração da água mais elevados no citros, o que deve estar relacionado a uma posição praticamente não atingida pelo manejo (DALLA ROSA, 1981) e ao sistema radicular profundo da cultura, favorecendo o movimento da água nas camadas inferiores dos perfis. O mesmo foi verificado comparando-se as diferentes posições no relevo, verificando-se menores taxas de infiltração no terço inferior da encosta, tanto para o citros quanto para a cana-de-açúcar, provavelmente relacionado com as maiores quantidades de argila total e de argila iluvial, confirmadas nas análises micromorfológicas.

5 CONCLUSÕES

Confrontando os resultados obtidos com os objetivos e pressupostos traçados no início do trabalho, foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

1 - Os diversos parâmetros analisados atestaram a perda de qualidade dos solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, e que o longo período submetido a formas tradicionais de manejo, promoveram impactos negativos em graus distintos de ocorrência: mais intensos na cana-de-açúcar, onde as práticas são mais intensivas/impactantes.

2 - A compactação mecânica, identificada nas descrições morfológicas, é evidenciada na caracterização dos diversos parâmetros analisados: elevação da densidade, diminuição da macroporosidade e da taxa de infiltração da água no perfil, sendo confirmados os efeitos negativos da destruição da estrutura, diminuindo o tamanho e a estabilidade dos agregados.

3- A capacidade de aeração dos solos apresentou valores mais elevados nos solos cultivados com citros, onde se obteve $0,22 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de ar disponível para $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na cana-de-açúcar, valores observados em subsuperfície no terço médio da encosta. Com relação à água disponível os valores foram mais elevados nos solos cultivados com cana-de-açúcar, sendo de $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ no citros na mesma posição observada.

4- Observações micromorfológicas revelaram movimentação de argila no perfil e modificação da geometria dos poros em subsuperfície com redução da macroporosidade, caracterizada compactação leve a moderada e localizada. No entanto, são observados macroporos isolados, maiores que 450 μm , que permitem a passagem da água e do ar. A presença de material ferruginoso favoreceu a formação de microagregados resistentes que dificultam a desestruturação do solo. A existência de pedotúbulos de atividade biológica e excrementos em áreas virtualmente compactadas são indicativos da reversibilidade das transformações estruturais.

5 - A atividade biológica também ficou comprometida, bem como a redução da fertilidade dos solos, com o arraste de nutrientes das partes mais elevadas para as mais baixas, o que deveria ser menor com práticas de menor mobilização do solo.

6- Nas posições mais baixas da encosta, foi onde se verificaram valores mais elevados com CO_2 emitido por atividade microbiana com maior eficiência nos solos cultivados com cana-de-açúcar em que se obteve 0,76 $\text{mg CO}_2/\text{g}$ de solo. Nesta posição também foram observados, para a cana-de-açúcar, maiores teores de material orgânico, 19,83 g kg^{-1} / 17,25 g kg^{-1} e maiores DMP 1,0 mm / 0,6 mm quando comparados com os solos com citros.

7- A alteração na taxa de infiltração da água no solo em subsuperfície variou entre 23 mm min^{-1} no citros para 3,5 mm min^{-1} na cana-de-açúcar, no terço superior da encosta. Ao longo da seqüência topográfica (topo/base) a variação foi de 23 mm min^{-1} para 7 mm min^{-1} no citros e de 3,5 mm min^{-1} para 4,5 mm min^{-1} na cana-de-açúcar.

8 - As diferentes posições dos solos na paisagem atestaram também a importância de se considerar a componente lateral na análise dos mecanismos ocorrentes, revelando intensificação de certos comportamentos na direção topo-base, ou o inverso, muito em função da variação textural, acompanhada das variações nos teores de matéria orgânica (mais elevada na base da seqüência, acompanhando as elevações dos teores de argila).

9 - As descrições procedidas em campo, notadamente as descrições morfológicas, mostram que a observação *in loco* é imprescindível para a compreensão dos comportamentos analisados. A grande variabilidade dos dados obtidos em testes de infiltração da água, nas diversas pesquisas, pode ser mais adequadamente compreendida ao se avaliarem as condições dos horizontes no perfil; no caso presente bolsões desagregados e canais biológicos ao lado de setores compactados levam a maiores variações dos resultados, o que não seria possível avaliar se apenas se efetuassem determinações superficiais, sem se observar o corte vertical do solo.

10 - Embora as amostragens não tenham sido executadas sob a técnica do perfil cultural as observações e resultados indicaram que esta técnica representa um grande avanço na descrição do solo, desde que não se possa recorrer a uma outra super-detalhada, aos moldes da análise estrutural.

11 - Apesar das modificações negativas ocorridas nos atributos dos solos, após o longo período submetido a formas tradicionais de uso e manejo, observou-se que elas não impediram a contínua exploração desse recurso natural (solo). Porém, é certo que o emprego de práticas menos intensivas, que mobilizam pouco o solo, concorreria, muito mais, para melhores resultados, em função de maior acumulação de matéria orgânica, de menor degradação da estrutura e melhoria dos aspectos correlatos (agregação, infiltração da água, fertilidade química, porosidade, emissão de CO₂ entre outros). Esta deve ser a linha indicativa para as modificações sugeridas aos usuários da propriedade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINA, P.O. Soil changes resulting from long-term management practices in Western Nigeria. **Soil Science Society of America Journal**, v.43, p.173-177, 1979.
- ALEXANDER, M. **Introduction to Soil Microbiology**. New York: John Wiley & Sons, 1977. 467p.
- ALLISSON, F. E. **Soil organic matter and its role in crop production**. Amsterdam. Elsevier, 1973. 637p.
- ALVES, M. C. Sistemas de rotação de culturas com plantio direto em Latossolo Roxo; efeitos nas propriedades físicas e químicas. Piracicaba, 1992, 173p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ANGERS, D.A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfafa. **Soil Science of America Journal**, v.56, p.1244-1249, 1992.
- ANGERS, D.A.; MEHUYS, G.R. Effects of cropping on macro-aggregation of Marine clay soil. **Canadian Journal of Soil Society**, v.68, p.723-732. 1988.

- ANGERS, D.A.; PESANT, A.; VIGNEUX, J. Early cropping-induced changes in soil aggregation organic matter and microbial biomass, **Soil Science of America Journal**, v.56, p.115-119, 1992.
- BASHER, L.R. Is pedology dead and burried? **Australian Journal of Soil Research**, v 35, p.979-994, 1997.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. **Soil Physics**. 4.ed. New York: John Wiley, 1972. 498p.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. Fracionamento físico da matéria orgânica em solo Podzólico Vermelho Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Resumos. Rio de Janeiro: SBCS. 1997. p.376.
- BEARE, M.H.; HENDRIX, P.F.; COLEMAM, D.C. Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.777-786, 1994.
- BEHERA, N.; JOSHI, S.K.; PATI, D.P. Root contribution to total soil metabolism in a tropical forest soil from Orissa, India. **Forest Ecology and Management**, v.36p.125-144, 1990.
- BENITO RUEDA, E.; DIAS-FERROS VIQUEIRA, F. Estudio de los principales factores que intervien en la estabilidad estrutural de los suelosde Galicia. **Am. Edafol. Agrobiol.**, v.48, p.229-253, (1989),
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596p.
- BERTOLANI, F.C. Caracterização física dos solos de uma microbacia degradada em Vera Cruz, SP. Campinas, 1998, 85p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- BISSONNAIS, Y.L. Comportement d'agrégats terreux soumis à l'action de l'eau: analyse des mécanismes de désagrégation. **Agronomie**, v.8, p. 915-924, 1988.

- BONDE, T.A.; ROSSWALL, T.; VICTORIA, R.L. The dynamics of soil organic matter and soil microbial biomass following clearfelling and cropping of a tropical rainforest soil in the Central Amazon. In: BONDE, T. A. **Size and dynamics or active soil organic matter fractions as influenced by soil managment**. Linköping, 1991. Cap. 7, p.1-19.
- BONDE, T.A.; CHRISTENSEN, B.T.; CERRI, C. C. Dynamics or soil organic matter as reflected by natural ¹³C abundance in particle size fractions of forested and cultivates oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v.24, p.275-277, 1992.
- BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R.; GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosas na recuperação de um solo decapitado. In: I SIMPÓSIO SULAMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL "RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS", Foz do Iguaçu, 1994. **Anais**, Fundação de Pesquisa Florestais do Paraná, p.563-568, 1994.
- BOONE, F.R. Weather and other environmental factors influencing crop responses to tillage and traffic. **Soil & Tillage Research**, v.11, p 283-324. 1988.
- BORGES, A.L. N. Alteração das propriedades de um Latossolo Amarelo de Cruz das Almas, Bahia, pelo cultivo com frutíferas perenes e mandioca. Piracicaba, 1993, 161p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agrônômica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Anais**. Campinas: SBCS, 1988. p 431–446.
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. Os sistemas de transformação em Pedologia. Trad. de C.R ESPINDOLA. **Boletim de Geografia** v.20, p.5-20, 1990.
- BOULET, R.; LUCAS, Y. Importance de la différentiation pédologique latérale dans l’expérimentation agronomique en Guyane Française. In: PRAIRIES GUYANAISES ET ÉLEVAGE BOVIN. **Les colloques de l’INRA**. Paris: INRA. p.103-126, 1984.
- BOUMA, J. Sustainable land use as a future focus for Pedology. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p. 645-646. 1994.

- BRADY, N.C. **Natureza e Propriedades do Solo**. 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989, 878p.
- BRANDÃO, E.M.; Os componentes da comunidade microbiana do solo. In: CARDOSO, J.B.N; TSAL, S. M.; NEVES, M.C.P. (Ed.) **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.p.1-15.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Levantamento de reconhecimento de solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, 1960. **Boletim Técnico 12**. 634p.
- BREWER, R. **Fabric and Mineral Analysis of Soils**. Robert E. Krieger Publishing Company. Huntington, New York, 1976. 482p.
- BROERSMA, K.; LAVKULICH, L.M. Organic matter distribution with particule-size in surface horizons of some sombric soil in Vancouver Island. **Journal of Soil Science**, v.60, p.583-586.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A. et al. **Handbook for soil thin section description**. Albrington, Reino Unido:.Waine Research Publication, 1985. 152 p.
- CAGAUAN, B.; UEHARA, G. Soil anisotropy and its relation to aggregate stability. **Soil Science Society of America Proceedings**. v.29, p.198-200. 1965.
- CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo**. Campinas. 1986, 24p.
- CAMARGO, P.B.; TRUBONE, S.; MARTINELLI et al. Dinâmica da matéria orgânica do solo, decorrentes de mudança do uso da terra no nordeste da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. **Resumos**. Rio de Janeiro: SBCS. 1997. p.444.

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônômico de Campinas. Campinas: Instituto Agrônômico. **Boletim Técnico**, 6. 1986.
- CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1992. 360p.
- CARON, J.; ESPINDOLA, C.R.; ANGERS, D.A. Soil structural stability during rapid wetting: influence of land use on some aggregate properties. **Soil Science Society of America Journal**, v.60, p. 901-908, 1996.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.
- CARTER, M.R. Microbial biomass as an index for tillage induced changes in soil biological properties. **Soil & Tillage Research**, v.7, p.29-40, 1986.
- CASTRO, S. S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâminas delgadas. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. v.10, p.44, 1985.
- CASTRO, S. S. Sistemas de transformações pedológicas em Marília, SP: B latossólicos e B texturais. São Paulo, 1989. 294p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- CASTRO, S. S. Micromorfologia de Solos: **Pequeno guia para descrição de Lâminas Delgadas**. Departamento de Geografia - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 1989, 87p.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.263-266, 1985

- CERRI, C.C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, 1986, 197p. Tese (Livre - Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CHANEY, K.; SWIFT, R.S. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. **Journal of Soil Science**, v.35, p.223-230, 1984
- CHESTERS, G.; ATTOE, O.J. ALLEN, O.N. Soil aggreton in relation to various soil constituents. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.21, p.272-277, 1957.
- .CINTRA, F. D. L.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 7, p.323-327, 1983.
- CONCRET, J. Étude des mécanismes de la destruction des agrégats de terre en contact de solutions aquenses. **Annales Agronomiques**. v.18, p.99-144, 1967.
- COOPER, M. Influência das condições físicas-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio. Piracicaba, 1999, 128p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- CUNNINGHAM, R.K. The effect of clearing a tropical forest soil. **Journal of Soil Science**, v.14, p.334-345, 1963.
- CURI, N.; LARACH, J.O.L.; KAMPF, N. et al. **Vocábulo da Ciência do Solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993, 60p.
- CURI, N.; LIMA, P.C.; LEPSCH, I.F. Terminologia de micromorfologia de solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, p.33-43, 1985.
- DABIN, B. Relação entre a evolução dos compartimentos húmicos sob cultura e os fatores físicos e químicos da fertilidade em diferentes solos tropicais. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO. Piracicaba, 1982. **Anais**, 1982. p.87-96.

- DELAYE, R. Notes techniques sur la preparation des lames minces dans les materiaux meables. **Bulletin Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine**. Bordeaux. n.35. p.153-158. 1984.
- DALLA ROSA, A. Práticas mecánicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo do solo e m santo Ângelo (Latossolo Roxo Distrófico). Porto Alegre, 1981. 136p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DEXTER, A.R. Advances in Characterization of Soil Structure. **Soil & Tillage Research**, v.11, p.199-238. 1988.
- DINEL, H.; MEHUYS, G.R.; LÉVESQUE, M. Influence of humic and fibric materials on the aggregation and agregate stability of a lacustrine silty cly. **Soil Science**, v.141, p.146-158. 1991.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: Doran et al. (Ed.) **Defining soil quality for a sustentable environment**. Madison: Soil Science Society of America. 1994, v.35, p. 3-21.
- DORMAAR, J. F. Chemical properties of soil and water stable aggregates after sixty-seven years of cropping to spring wheat. **Plant and Soil**, v.75, p.51-61. 1993.
- DUCHAUFOR, P. **Précis de Pédologie**. 2.ed. Paris: Masson. 1965. 481p.
- DUCHAUFOR, P. **L'Évolution des Sols Essai sur la Dynamique des Profis**. Paris: Masson. 94p. 1968
- DUCHAUFOR, P. Humification et écologie. **Cahiers Orstom, Série. Pédologie**, v.7, p.379-90, 1970.
- DREES, L.R.; KARATHANASIS, A.D.; WILDING, L.P. et al. Micromor-pological characteristics of longterm no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.508-517, 1994.
- EKWUE, E. I. Organic-matter effects on soil strenght properties. **Soil & Tillage Reserch**, v.16, p.289-297, 1990.

- EL-SWAIFY, S.A. Physical and mechanical properties of Oxisols. Soil with variable charge. **New Zealand Society of Soil Science**, p.303-322, 1980.
- ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, p.627-633. 1986.
- ELUSTONDO, J.; ANGERS, D.A.; LAVARDIÈRE, M.R. et al. Étude comparative de l'agrégation et de la matière organique associée aux fractions granulométriques de sept sous culture de maïs ou en prairie. **Canadian Journal of Soil Science**, v.70, p.395-402, 1990.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro. EMBRAPA Solos, 1999. 412p.
- ESPINDOLA, C.R.; GALHEGO, H.R. Pseudo-partículas texturais em solos basálticos da região Central do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 18., Salvador, 1981. **Resumos**. p. 22-23.
- ESPINDOLA, C.R. FRACASSI, L.F.C. Permeabilidade e estado de agregação de um Latossolo Roxo sob diferentes preparos para plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 25., Bauru, 1996. **Resumos**. Bauru: SBEA. 1996. p.211.
- ESPINDOLA C.R.; LONGO R. M. FERNANDES M. R. Degradation of cultivated soils in different Brazilian bio-system. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 13., Rabat, 1998 **Proceedings**. v.1, p.235-240.
- FAHAD, A.A.; MIELKE, L.N.; FLOWERDAY, A.D. et al. Soil Physical Properties as affected by soybean and other cropping sequences. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.377-381, 1982.

- FÁVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.M. da, et al. Indicadores de sustentabilidade em diferentes agrossistemas no Médio Vale do Rio Doce (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrin, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.257.
- FERNANDES, M.R. Alteração na estrutura de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola. Campinas, 1993. 186p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- FERNANDES, M.R. & ESPINDOLA, C. R. Aspectos micromorfológicos de latossolos argilosos submetidos ao uso agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1994. **Resumos**. Goiânia: SBCS. 1994. p.305-306.
- FERREIRA, L.M. As interações entre a fração mineral e a fração orgânica em solos da região de Bauru, SP. São Paulo, 1997. 198p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- FERTIG, M.; CONSENTINO, D.; CONSTANTINI, A. et al. Efectos de las labranzas sobre componentes del carbono que afectan la estabilidad y tamaño de agregados. In: CONGRESSO ARGENTINO Y II INTERNACIONAL DE INGENIERIA RURAL, 4., Neuquen, 1996. **Memórias**. Neuquen. 1996. p.479-484.
- FIALHO, J. F. Efeitos da Cobertura Vegetal Sobre Características Físicas e Químicas e Atividade da Microbiota de Um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, na Região de Viçosa, MG. Viçosa, 1985. 55p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.
- GRAÇA, P.M.L.D. Conteúdo de carbono da biomassa florestal na Amazônia e alterações após a queima. Piracicaba, 1997, 105. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GRANATSTEIN, D.M.; BEZDICEK, F.; COCHRAN, V.L. et al. Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen. **Biology and Fertility of Soil**, v.5, p.265-270, 1987.

- GREENLAND, D.G.; BOWEN, G.; ESWARAN, H. et al. **Soil, water and nutrient management research: a new agenda**. IBSRAM Position Paper, Bangkok. 1994.
- GRISI, S.M.; GRAY, T.R.G. Comparação dos métodos de fumigação e taxa de respiração em resposta à adição de glicose e conteúdo de ATP para estimular a biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, p.109-115, 1986.
- GUERIF, J. Résistance en traction des agrégats terreux: influence de la texture, de la matière organique et de la teneur en eau. **Agronomie**, v.8, p.379-386. 1986.
- GUIMARÃES, M.F.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C. O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. **Resumos**. Goiânia: SBCS, 1993. p.23-24.
- HAMBLIN, A. Sustainable agricultural systems: What are the appropriate measures for soil structure?" **Australian Journal of Soil Research**, v.29, p.709-715, 1991.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G.; ALLEN, N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**. v.18, p.107-169, 1966.
- HASSINK, J.; BOUWMAN, L.A.; ZWART, K. B. et al. Relationships between habitable pore space, soil biota and mineralization rates in grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.25, p.47-55, 1993.
- HAYNES, F.J.; SWIFT, R.S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **Journal of Soil Science**. v.41, p.73-83. 1960.
- HÉNIN, S. Essai d'une théorie de la stabilité de la structure des sols. **Plant and Soil**, v.1, p.167-178. 1948.
- HÉNIN, S.; FEODOROFF, A.; GRAS, R. et al. **Le Profil Cultural: Principes de Physique du Sol**. Paris: Masson, 1960. 320p.
- HÉNIN, S.; GRAS, R.; MONNIER, G. **Perfil Cultural: el Estado Físico del Suelo y sus Consecuencias Agronomicas**. Paris: Mundi-Prensa, 1972, 341p.

- HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. **Soil & Tillage Research**, v.13, p.265-289, 1990.
- HORN, R.; DEXTER, A.R. Dynamics of soil aggregation in an irrigated desert loess. **Soil & Tillage Research**, v.13, p.253-266, 1989.
- IEA - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. Ciência e Desenvolvimento Sustentável. São Paulo, Universidade de São Paulo, **Resumos**. 1997. 338p.
- JAMISON, V.C. Changes in air and water relationships due to structure improvement of soil. **Soil Science**, v.76, p.143-151, 1953.
- JAHNEL, M.C. Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos. Piracicaba, 1997. 180p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- JENKINSON, D.S.; LANDD J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v.5, p. 415-471. 1981
- JENKINSON, D.S.; POLOWLSON, L. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V. A method for measuring soil biomass. **Soil Microbiology and Biochemistry**, v.8, p.209-213, 1976.
- JONGERIUS, A. The role of micromorphology in agricultural research. In: P. Bullock e C.P. Murph (Ed). **Soil Micromorphology**. Academic Publishers, Herts, v.1, p.111-138, 1982.
- KAY, B. D. Rate of change of soil structure under different cropping systems. **Advances in Agronomy**, v.12, p.50, 1990.
- KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.
- KONONOVA, M.M. **Humus of virgin and cultivated soil**. In: SOIL COMPONENTS: ORGANIC COMPONENTS. New York: Springer-verlag. p.475-528. 1975.
- LAL, R. No-Tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. **Soil Science Society America Journal**, v.20, p.762-768, 1976.

- LAVELLE, P.; PASHANASI, B. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). **Pedobiology**, v.33, p.283-291, 1989.
- LEMOS, R.C.; SANTOS, R.D. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1996, 84p.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Campinas. 1991, 175p.
- LEVÊQUE, A – Les Soils Ferralitiques de Guyane Française. Paris, **Mémoires ORSTOM** n.3.168p. 1967.
- LIMA, J. M. J. C. L. Alterações das propriedades dos solos cultivados com cana-de-açúcar, Piracicaba, 1995, 164p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LONGO, R.M.; BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R. et al. The effects of vinasse application on the structure of cultivated tropical soils. In: EASTERN CANADA SOIL STRUCTURE,3., Ontario, 1996. **Proceedings**. p.198-210.
- LOPES, D. N. **Influência de calcário, fósforo e micronutrientes na mineralização da matéria orgânica e características físico-químicas de três solos de Altamira (Pará)**, Viçosa, 1977, 74p. Universidade Federal de Viçosa.
- LUCARELLI, J.R.F.; DANIEL, L.A.; ESPINDOLA, C.R. Efeitos do preparo do solo na erosão laminar e perdas de matéria orgânica e nutrientes. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRICOLA, 2., Bauru. 1996, **Resumos**. Bauru: SBEA. 1996. p.201.
- LUCARELLI, J.R.F. Alterações em Características de um Latossolos Roxo Submetido a Diferentes Sistemas de Manejo, 1997. 87p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

- MACHADO, M.A.M.; CARVALHO, I.Q. de; MELO, V.F. et al. Efeitos do manejo e do tipo de cobertura sobre a fixação ou emissão de carbono em um Latossolo Vermelho – Amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.297.
- MARTIN, T.C.; ROBERTSON, J.A.; PAWLUK, S. Changes in the micromorphology and analytical properties of Gray Luvisol (Gryobaralf) under a 49 years old forage stand. **Geoderma**, v.40, p.209-224, 1987.
- MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S. et al. **Fertilidade do Solo**. São Paulo: Nobel, 1989. 400p.
- MOURA, D.G.; VIEIRA, S.R.; CARVALHO, A.M. Avaliação da capacidade de aeração e de água disponível dos solos de duas transeções na baixada ocidental maranhense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.7-18, 1992.
- MUTATKAR, V.K. PRITCHETT, W.L. Influence of added aluminium on carbon dioxide production in tropical soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.30, p.343-346, 1966.
- NASCIMENTO, V.M.; ALMENDROS, G.; FERNANDES, F.M. Soil humus characteristics in virgin and cleared areas of the Parana River basin in Brazil. **Geoderma**, v.54, p.137-150, 1992.
- NEVES, A.D.S.; LIMA, F.A.M.; MOREIRA, E.G.S. Efeito de coberturas vegetais sobre propriedades físicas de Latossolo Amarelo (Pará). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., Porto Alegre, 1991. **Resumos**. Porto Alegre: SBCS. 1991. p.169.
- OLIVEIRA, G.C. de; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V. et al. Estado de agregação e níveis de matéria orgânica de um Latossolo vermelho argiloso após duas décadas sob manejos diferenciados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.270.

- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETTO, E.A; TEIXEIRA, C.F.A. et al. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.:189 – 483, 1999.
- PARDO, M.T.; GIANPAOLO,S.; ALMENDROS, G. Effect of cultivation on physical speciation of humic substances and plant nutrients in aggregate fractions of crusting soil from Zimbabwe. **Biology and Fertility of Soils**, v.25, p.95-102. 1997
- PÉDRO, G.; CHAUVEL, A.; QUEIROZ NETO, J.P. et al. Contribuição ao conhecimento dos horizontes B das Terras Roxas Estruturadas. Aplicação dos métodos de análise granulométrica e da micromorfologia para a caracterização do seu tipo e organização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Vitória, 1971, **Anais**. Vitória: SBCS, 1973. p.120-121.
- PÉDRO, G.; CHAUVEL, A.; MELFI, A.J. Recherches sur la constitution et la genèse des Terra Roxa Estruturada du Brésil. **Annales Agronomiques**, v.27, p.265-294. 1976.
- PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A; MENDONÇA, E.S. et al. Carbono orgânico total em diferentes classes de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico em duas coberturas vegetai. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. Resumos. Londrina: SBCS. 2001. p.297.
- PETERSEN, G.W.; CUNNINGHAM, R.L.; MATELSKI, R.P. Moisture characteristics of Pennsylvania soils: Soil factors affecting moisture retention within a textural class – silt loam. **Soil Science Society of America Proceedings**. p.866-870, 1968.
- PICOLLO, A. O Plantio direto aumenta a quantidade de substâncias húmicas no solo. **Revista Plantio Direto**. ed 55, p. 15-16, 2000.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em Latossolo vermelho em sistemas de cultivo de olerácea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.14.

- PRIMAVESI, A. **O Manejo Ecológico do Solo: Agricultura em Regiões Tropicais**. São Paulo: Nobel, 1980. 541p.
- QUEIROZ NETO, J.P. Pedogênese no Planalto Atlântico. Contribuição à interpretação paleogeográfica dos solos da Mantiqueira Norte Ocidental. São Paulo, 1975, 270p. Tese (Livre docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- RAJVANSHI, R.; GUPTA, S.R. Soil respiration and carbon balance in a tropical dalbergia sissoo florest ecosystem. **Flora**, v.178, p.251-260, 1986.
- RALISCH, R; GUIMARÃES, M.F; MEDINA, C.C. et al. O método de perfil cultural para auxiliar na avaliação dos efeitos do preparo sobre a estrutura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Londrina. 1991. **Anais**. Londrina: SBEA, 1991. p.1375-1389.
- REATTO, A.; BROSSARD, M.; MARTINS, E.S. et al. Transformações morfológicas e físicas de um Latossolo Vermelho – Amarelo argiloso gibbsítico em sistemas de cultivos intensivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.5.
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.
- REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the α -permeameters using the Guelph permeameter. **Soil Science**, v.140, p.292-302, 1985.
- RICHARDS, L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK, C.A. Methods of Soil analysis I. **America Society of Agronomy**, 1965. p. 128-151.
- RIZZO, L.T.B. Indicadores da resiliência do Latossolo Vermelho Escuro cultivado com citros e eucalipto em Itapetininga-SP: recuperação de um solo degradado pela compactação. São Paulo, 2000. 200p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

- ROMIG, D.E.; GARLYND, M.J.; HARRIS, R.F. et al. How farmers assess soil health and quality. **Journal of Soil and Water Conservation**. v.50, p.229-236. 1995
- ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, M.G. et al. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.11, p.81-91, 1988.
- ROTH, C. H; CASTRO, F.C. MEDEIROS, G.R. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.
- RUEDA, E.B.; VIQUEIRA, F.D.F. Estudio de los principales factores que intervienen en la estabilidad estructural de los suelos de Galicia. **Anales de Edafología y Agrobiología**. v.48, p.229-253. 1989.
- RUELLAN A. Aplicações do conhecimento dos solos intertropicais ao desenvolvimento da Pedologia: a contribuição dos pedólogos franceses. Trad. de C. R. ESPINDOLA. **Boletim de Geografia**, v.11, p.95-108, 1985.
- RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da Ciência do Solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. **Anais**. Campinas: SBCS, 1988. p.405 - 414.
- RUSSEL, E.J.; RUSSEL, R. W. **Soil Conditions and Plant Growth**. 9.ed. London: Longman & Green, 1961. 770p
- RYAN, P.J.; MCGARITY, J.W. The nature and spatial variability of soil properties adjacent to large Eucalyptus forest. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.286-292, 1983
- SÁ, J.C.M.; TORMENTA, C.A.; ROLOFF, G. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.301-309, 1998.
- SALES, L.E.; FERREIRA, M.M.; OLIVEIRA, M.S. et al. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, p.2091-2095. 1999.

- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Decomposição de palha de milho marcada e incorporação do ^{14}C à biomassa microbiana de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.29-32, 1982
- SÁNCHEZ, P.A. **Suelos del Tropico: Características y Manejo**. San José, Costa Rica: IICA, 634p. 1981.
- SANTOS, M.L.M.; LUMBRERAS, J.F. SILVA, E.F. da. Seqüestro de carbono: o papel fundamental dos solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.290.
- SANTOS, O.M.; GRISI, B.M. Efeito do desmatamento na atividade microorganismos de solos de terra-firme na Amazônia, **Acta Amazonica**, v.11, p.97-102, 1981.
- SARVASI, F.O.C. Dinâmica da água, erosão hídrica e produtividade das culturas em função do preparo do solo. Piracicaba, 1994. 147p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SAS INSTITUTE. The Statistical Consulting Service (SAS) – System for windows: **release 6: 12** (Software). Cary, 1998.
- SCHULZE, D.E.; STOTT, D.E. Soil structure alteration: the role of soil mineralogy, chemistry and microbiology. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, Rio de Janeiro, 1997. **Anais**. Rio de Janeiro: SBCS. 1997.
- SCHWERTZMANN, V.; TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B; WEED, S.B. (Ed.) **Minerals in Soil Environments**. Madson: Soil Science Society of America, Book Series. 1977. cap 8, p. 379-438
- SELBACH, P. A. Acidez dos solos e atividade microbiana. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO,2., Santa Maria, 1989. **Anais**. 1989. p. 62-73.
- SHANMUGANATHAN, R.J.; OADES, J. Influence of anions on dispersion and physical properties of the A horizon of a red-brown earth. **Geoderma**, v.29, p.257-277, 1983.

- SILVA, A.R.; LIMA, J.M.; DIAS JÚNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.219-226, 1999.
- SILVA, E.A. da. Manejo localizado de parâmetros físicos do solo, no contexto de um projeto de agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Resumos**. Londrina: SBCS. 2001. p.2.
- SILVA, I.F. Efeito de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre as propriedades físicas de um latossolo, Porto Alegre, 1980, 70p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA, I.F. Alterações edáficas em “Solos de Tabuleiros” (Haplorthoxs) por influência de desmatamento queima e sistemas de manejo, **Revista Theobroma**, v.19, p.1981
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.313-319, 1977.
- SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.311-317. 1998.
- SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotechnologia do Solo: Fundamentos e Perspectivas**. Brasília – Ministério da Educação, ABEAS; Lavras: 236p, 1988.
- SKIDMORE, D.L.; CARSTENSON, W.A.; BANBURY, E.E. Soil changes resulting from cropping. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.39, p.964-967, 1975.
- SMITH, S.R. Effects of sewage sludge application on soil microbial processes and soil fertility. **Advances in Soil Science**, v.16, p.191-212, 1991.
- SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R. Atributos físicos de um argissolo sob mata nativa em Bariri, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., **Resumos**. Londrina, 2001. Londrina: SBCS. 2001. p.18.

- SPOLON, F. G.; DECHEN, S.C.F.; PRIMAVESI, O. et al. Agregação em solos sob diferentes usos e manejos em sistemas de produção animal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., **Resumos**. Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro: SBCS. 1997. p.429.
- SPOSITO, G.; REGINATO, R.J. Opportunities in Basic Soil Science Research. Madison, **Soil Science of America Journal**. p.109, 1992.
- STEVENSON, J.F. **Humus chemistry, genesis, composition, reaction**. New York: John Wiley & Sons, 1982. 443p.
- TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. et al. Utilização do método do perfil cultural para avaliação do desenvolvimento de uma cultura. In: 23. Porto Alegre, 1991. **Resumos**. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p. 142.
- TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. et al. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.393-399. 1999
- TEWARY, C.K.; PANDEY, V.; SINGH, S. Soil and litter respiration rates in different microhabitats of a mixed oak-conifer forest and their control by edaphic conditions and substrate quality. **Plant and Soil**, v.65, p.232-338, 1982.
- THOMASSON, A.J. Towards an objective classification of soil structure. **Journal of Soil Science**, v. 29, p.38-46, 1978.
- TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, v.47, p.509-514, 1983.
- TISDAL, J.M.; OADES, J.M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.415-422, 1980.
- TISDAL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

- TOWNSEND, F.C.; REED, L. W. Effects of amorphous constituents of some mineralogical and chemical properties of a Panamian Latosol. **Clays and Clay Minerals**, v.19, p.303-310. 1971.
- UEHARA, G.; FLACH, D.W.; SHERMAN, G.O. Gênese and micromorfology of certain structural soil types in Hawaiian Latossols and their significance to agricultural paratices. **Soil Science Society of America Proceedings**, p 264 - 270. 1962
- VIEIRA, L.S. **Manual da Ciência do Solo com Ênfase aos Solos Tropicais**. 2.ed. São Paulo: Ceres, 1988. 464p.
- VOLKOFF, B. Os produtos ferruginosos que determinam a cor dos Latossolos da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 2, p. 55-59, 1978.
- VOMOCIL, J.A.; FLOCKER, W.J. Effects of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. **American Society Agricultural Engineering**, v.4, p.242-246, 1966.
- WAMBEKE, A.R.van. Criteria for classifying tropical soils by age. **Journal of Soil Science**. v.13, p.124-132, 1962.
- WISCHMEIER, W.H.; JONHSON, C.B.; CROSS, B.V. A soil erodibility monograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.26, p.189-193, 1971.
- YAO, X.L.; XU,X.; YU, D. F. Formation of structure in Red Soils under different forms of utilization. In: INTERATIONAL CONFERENCE ON THE MANEGEMENTE AND FERTILIZATION OF UPLAND SOILS IN THE TROPCS AND SUBTROPICS, Nanjing, **Proceedings**, p 201-206. 1986
- YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of America Society**. v.28, p.337-351, 1936.

7 APÊNDICES

7.1 APÊNDICE 1 - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DOS PERFIS DE SOLOS

PERFIL 1 – Citros no terço superior

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO distrofico típico fase arenosa.

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 4 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM (e) 736463,10 (n) 7.562490,00, MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de citros.

ALTITUDE – 550 m

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço superior da encosta, relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL - Citros

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap1 0 – 8cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco arenosa; granular, pequena a média fraca a moderada; solta, solta, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; clara, plana.

Ap2 8 - 20cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco arenosa; composta, blocos subangulares e angulares média moderada; duro friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; clara, plana.

BA 20 - 45cm; vermelho (2,5YR 4/8 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; blocos compactados subangulares média forte; muito duro a extremamente duro, firme a friável, plástico e pegajoso; gradual e plana.

Bw1 45 – 60cm; vermelho-escuro (2,5YR 4/6 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) franco argilo arenosa; granular média, moderada e fraca; macia a dura, friável; plástico e pegajoso; gradual, plana.

Bw2 60 - 130cm+; vermelho (2,5YR 4/6 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) franco argilo arenosa; granular muito pequena fraca; macio, muito friável, plástico e pegajoso.

Obs: Compactação mantida até 45cm, raízes finas e grossas virtualmente expandindo-se lateralmente praticamente na horizontal até esta profundidade. Abaixo dela as raízes são mais finas já se alongando verticalmente até os horizontes mais profundos. Em BA observa-se porosidade reduzida; microporos. Em Ap1 grande quantidade de areia lavada

PERFIL 2 – Cana-de-açúcar no terço superior

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 4 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM (e) 736730 (n) 7562205, MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de cana-de-açúcar.

ALTITUDE - 550

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço superior da encosta, relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL – Cana-de-açúcar

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap 0 – 9cm; bruno-avermelhado (2,5YR 5/4, seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco arenosa; granular pequena fraca e grãos simples; solta a macia, solta a muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; ondulada, abrupta.
- BA 9 – 45cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4, seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco arenosa; maciça compacta que se rompem em blocos compactados médios e grandes; muito dura, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; suave gradual.
- B1 45 - 75cm; vermelho (2,5YR 4/6 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; blocos subangulares médios fraco que se rompem em granular pequena fraca; indício de cerosidade muito fraca muito pouca e descontínua; duro a ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; suave, gradual.
- B2 75 - 95m; vermelho (2,5YR 4/8 seco úmido) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; blocos subangulares fracos que se rompem em granular pequeno fraca, indícios de cereosidade muito fraca muito pouca e descontínua; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; suave, gradual.
- Bw 95 - 130cm+; vermelho (2,5YR 4/6 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) franco argilo arenosa; granular muito pequena fraca, macio, muito friável, plástico e pegajoso.

Obs: Raízes em grande quantidade em todo o perfil e finas e raras nas zonas compactadas. Os setores compactados do horizonte BA assemelham-se a um fragipam.

PERFIL 3 - Citros no terço médio

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 3 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM (e) 735472,10 (n) 7.561724,00 MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de citros.

ALTITUDE - 500 m.

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço médio da encosta, relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL – Citros

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 7cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; granular pequena moderada a fraca e grãos simples; solto, solto, plástico e pegajoso; suave, abrupto.

BA 7 - 40cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4 seco), vermelhdo-escuro-(2,5YR 3/6 úmido); franco argilo arenosa; blocos grandes compactados, forte; muito duro, firme, plástico e pegajoso; suave, claro.

B1 40 – 60cm; vermelho (2,5YR 4/8 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) franco argilo arenosa; blocos subangulares médios que se rompem em granular médio moderado e blocos menores; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; suave e gradual.

B2 60 - 100cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) franco argilo arenosa; blocos subangulares médios que se rompem em granular médio moderado e blocos menores; ligeiramente duro, muito friável, plástico e pegajoso; suave e gradual.

Bw 100 - 130cm+; vermelho (2,5YR 4/6 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) franco argilo arenosa; microagregada ou granular muito pequena, fraca; macio, muito friável, plástico e pegajoso.

Obs: A estrutura da B1 e B2 é predominantemente poliédrica, porém, sem erosidade evidente. A estrutura de Bw é nitidamente latossólica. A porosidade é reduzida nos blocos compactados, porém, bastante intensa (com poros em vários tamanhos e galerias) nos horizontes subjacentes ao compactado. Raízes ao longo de todo o perfil, com maior concentração de raízes grossas no horizonte compactado, onde elas parecem se desenvolver predominantemente no sentido horizontal. Nos horizontes B1 e B2 a estrutura poliédrica mostra ocasionalmente cerosidade fraca e descontínua.

PERFIL 4 - Cana-de-açúcar no terço médio

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 3 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM (e) 735727,40 (n) 7561454,00, MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de cana-de-açúcar.

ALTITUDE - 500m

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço médio da encosta, relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL – Cana-de-açúcar

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- Ap1 0 – 8cm; vermelho (2,5YR 4/8 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; composta blocos médio moderado e granular média a pequena moderada e grãos simples; duro, friável, plástico e pegajoso; suave, clara.
- Ap2 8 - 38cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; blocos fortemente compactados, grandes e médios; extremamente duro, firme, plástico e pegajoso; suave, gradual.
- Bw1 38 – 70cm; vermelho (2,5YR 4/8 seco) vermelho-escuro (2,5YR 3/6 úmido) franco argilo arenosa; blocos médios moderados que se rompem em granular médio a pequena, moderada a fraca; duro, friável, plástico e pegajoso; suave , gradual.
- Bw2 70 - 130cm+; vermelho (2,5YR 4/6 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) franco argilo arenosa; microgranular ou granular muito pequena, moderada; macio, muito friável, plástico e pegajoso.

Obs: Raízes finas e médias em todo o perfil mesmo na camada virtualmente compactada, principalmente nos planos de fraqueza e rachadura entre os blocos. Nos blocos compactados a porosidade é extremamente reduzida. São observadas galerias ao longo do perfil com poros grandes nos horizontes Bw1 e Bw2.

PERFIL 5 - Citros no terço inferior

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 2 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM, (e) 734556,30 (n) 7560628,00, MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de citros.

ALTITUDE - 460 m

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço inferior da encosta relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL – Citros

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 9cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4 úmido); franco argilo arenosa; granular média a grande moderada a forte; solta a macia, solta a muito friável, muito plástica e muito pegajoso; ondulado abrupto.

AB 9 - 45cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 2,5/4 úmido); franco argilo arenosa; blocos grandes severamente compactados (em outro setor da trincheira a compactação aparece menos acentuada com blocos menores junto a estrutura granular); extremamente duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; suave, clara.

Bt 45 – 80cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4 seco) vermelho-escuro-(2,5YR 3/6 úmido) argila arenosa; blocos médios moderados; cerosidade fraca e pouca; dura, friável a firme, muito plástico e muito pegajoso; suave gradual.

Bw 80-130cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) argila arenosa; estrutura microagregada ou granular pequena fraca; macia, muito friável, muito plástico e muito pegajoso.

Obs: Raízes finas e grossas em todo o perfil nos blocos compactados muito finas e poucas. Poros grandes e galerias biológicas em todo o perfil com exceção dos blocos compactados.

PERFIL 6 - Cana-de-açúcar no terço inferior

DATA – 18.11.98

CLASSIFICAÇÃO – LATOSSOLO VERMELHO

LOCALIZAÇÃO – Fazenda Bananal, município de Bariri, Estado de São Paulo, a 2 km da margem direita da rodovia SP 304 Jaú/Ibitinga, de coordenadas UTM (e) 734856,50 (n) 7560268,00, MC 51.

SITUAÇÃO E DECLIVE – Descrito e coletado em trincheira aberta em terço superior da encosta, com 4 a 8% de declive, sob vegetação de cana-de-açúcar.

ALTITUDE – 460 m

LITOLOGIAS – Rochas do grupo Bauru sobreposta a Basaltos.

RELEVO LOCAL – Terço inferior da encosta relevo suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado

DRENAGEM – Boa

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta latifoliada tropical

USO ATUAL – Cana-de-açúcar

DESCRITO E COLETADO POR – Jorge Luís Nascimento Soares e Carlos Roberto Espindola.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

Ap 0 – 8cm; vermelho-escuro (2,5YR 3/6 seco), bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; granular média a grande moderada a forte; solta a macia, solta a muito friável, muito plástica e muito pegajoso; ondulado abrupto.

AB 8 - 40cm; bruno-avermelhado (2,5YR 4/4 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido); franco argilo arenosa; blocos grandes severamente compactados (em outro setor da trincheira a compactação aparece menos acentuada com blocos menores junto a estrutura granular); extremamente duro, muito firme, muito plástico e muito pegajoso; suave, gradual.

B 40 – 95cm; bruno-avermelhado (2,5YR 3/6 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) argilo arenosa; blocos médios moderados; cerosidade fraca e pouca; dura, friável e firme, muito plástico e muito pegajoso; suave gradual.

Bw95 - 130cm+; vermelho (2,5YR 4/6 seco) bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmido) argilo arenosa; microagregada ou granular pequena fraca; macia, muito friável, muito plástico e muito pegajoso.

Obs: Raízes finas e grossas em todo o perfil, nos blocos compactados muito finas e poucas. Poros grandes e galerias biológicas em todo o perfil com exceção dos blocos compactados.

7.2 APÊNDICE 2 – DENSIDADE, POROSIDADE E TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA.

Horizonte (cm)	Densidade		Porosidade determinada			M.O
	Partícula	Solo	Microporos	Macroporos	total	
	— kg dm ⁻³ —		— m m ⁻³ —			— % —
			Perfil 1 - Citros			
Ap1 0 - 8	2,56	1,33	0,21	0,26	0,47	12
Ap2 8-20	2,53	-	-	-	-	9
BA 20 -45	2,56	1,39	0,24	0,17	0,41	7
Bw1 45 -60	2,58	-	-	-	-	7
Bw2 60 -130+	2,53	1,47	0,26	0,22	0,48	0
			Perfil 2 – cana-de-açúcar			
Ap 0 - 9	2,54	1,32	0,23	0,20	0,43	14
BA 9 - 45	2,58	1,55	0,26	0,14	0,40	12
B1 45 -75	2,65	-	-	-	-	9
B2 75 -95	2,53	1,66	0,27	0,13	0,40	8
Bw 95 -130+	2,51	-	-	-	-	7
			Perfil 3 – citros			
Ap 0 - 7	2,56	1,35	0,27	0,17	0,44	17
BA 7-40	2,61	1,38	0,29	0,15	0,44	12
B1 40-60	2,58	-	-	-	-	9
B2 60 -100	2,59	1,24	0,24	0,26	0,50	9
BW 100-200	2,59	-	-	-	-	7
			Perfil 4 – cana-de-açúcar0			
Ap1 0 - 8	2,63	1,35	0,29	0,17	0,46	12
Ap2 8-38	2,61	1,51	0,33	0,10	0,43	12
Bw1 38-70	2,63	1,52	0,33	0,14	0,47	7
Bw2 70-130	2,68	-	-	-	-	9
			Perfil 5 – citros			
Ap 0 - 9	2,56	1,32	0,31	0,17	0,48	22
AB 9- 45	2,56	1,24	0,34	0,18	0,52	14
Bt 45 - 80	2,56	1,27	0,31	0,22	0,53	12
Bw 80 -130	2,63	-	-	-	-	7
			Perfil 6 – cana-de-açúcar			
Ap 0 - 10	2,63	1,43	0,34	0,15	0,49	17
AB 10 - 40	2,56	1,41	0,37	0,12	0,49	17
Bt 40 - 95	2,70	1,29	0,34	0,16	0,50	9
Bw 95 -130	2,56	-	-	-	-	7

7.3 APÊNDICE 3 –AGREGADOS ESTÁVEIS EM ÁGUA

PERFIL 1 – Citros

Horizonte	Tamanho de agregados (mm)						DMP mm
	6,35 – 2,00	2,00 - 1,00	1,00 – 0,50	0,50 – 0,25	0,25 –0,125	< 0,125	
	— kg kg ⁻¹ —						
Ap1	0,107	0,062	0,064	0,238	0,255	0,274	0,7445
Ap2	0,074	0,065	0,186	0,201	0,221	0,253	0,6725
BA	0,044	0,046	0,137	0,354	0,219	0,200	0,5400
Bw1	0,146	0,100	0,151	0,236	0,202	0,165	1,0081
Bw2	0,040	0,058	0,131	0,256	0,258	0,257	0,5109
PERFIL 2 – Cana-de-açúcar							
Ap	0,075	0,060	0,125	0,299	0,262	0,179	0,6696
BA	0,061	0,048	0,085	0,300	0,341	0,165	0,5784
B1	0,033	0,030	0,124	0,294	0,263	0,256	0,4539
B2	0,051	0,043	0,131	0,298	0,273	0,204	0,5536
Bw	0,017	0,023	0,141	0,320	0,302	0,197	0,3993
PERFIL 3 – Citros							
Ap	0,251	0,103	0,085	0,196	0,161	0,204	1,3816
BA	0,064	0,068	0,156	0,253	0,253	0,206	0,6413
B1	0,098	0,084	0,226	0,211	0,183	0,198	0,8315
B2	0,065	0,073	0,225	0,198	0,185	0,254	0,6775
Bw	0,061	0,053	0,130	0,269	0,246	0,241	0,5919
PERFIL 4 – Cana-de-açúcar							
Ap1	0,036	0,082	0,170	0,294	0,209	0,209	0,5564
Ap2	0,026	0,039	0,103	0,254	0,196	0,382	0,3970
Bw1	0,108	0,084	0,161	0,245	0,215	0,187	0,8428
Bw2	0,174	0,074	0,108	0,221	0,226	0,197	1,0484
PERFIL 5 – Citros							
Ap	0,069	0,047	0,134	0,224	0,260	0,266	0,6060
AB	0,084	0,099	0,162	0,270	0,198	0,187	0,7582
Bt	0,175	0,146	0,229	0,229	0,147	0,074	1,2664
Bw	0,073	0,101	0,182	0,281	0,179	0,179	1,4097
PERFIL 6 – Cana-de-açúcar							
Ap	0,117	0,155	0,225	0,234	0,140	0,129	1,0099
AB	0,176	0,132	0,163	0,216	0,147	0,166	1,1650
Bt	0,150	0,177	0,221	0,195	0,117	0,140	1,1588
Bw	0,267	0,114	0,125	0,192	0,148	0,154	1,4911

*DMP (diâmetro mediano ponderado)

7.4 APÊNDICE 4 - INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO

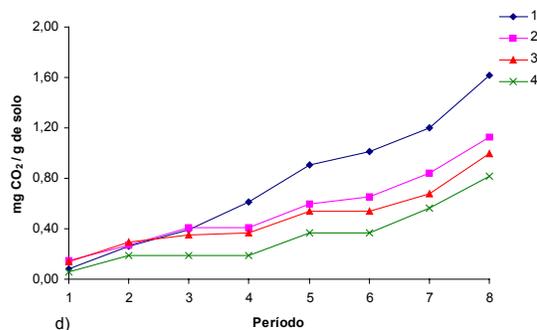
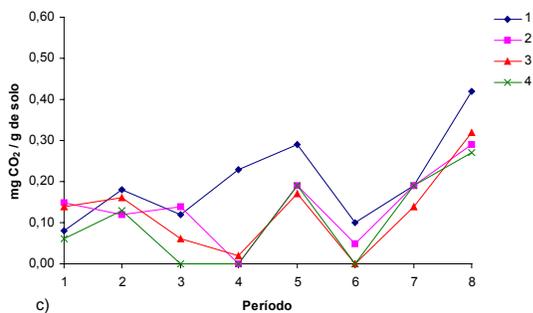
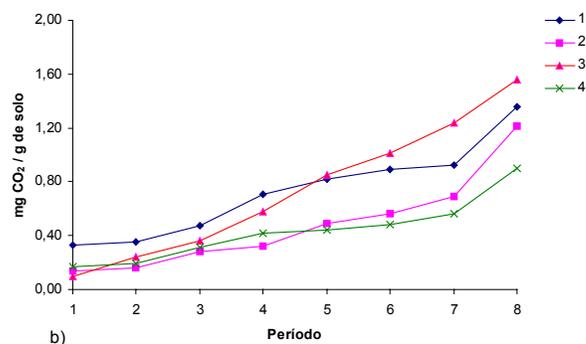
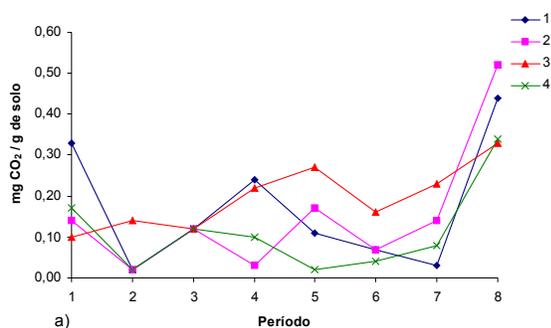
Uso	Carga hidráulica — cm —	Profundidade (cm)											
		0 - 10				20 - 30 — mm min ⁻¹ —				60 - 70			
Citros	3	9	8	12	8	15	20	10	17	32	28	31	30
	6	12	15	14	16	23	32	14	23	46	38	36	41
Cana	3	6	3	9	9	3	1	4	1	32	20	16	22
	6	10	6	18	19	4	2	6	2	43	26	21	27
Citros	3	13	18	12	8	7	7	7	6	31	40	33	28
	6	21	26	19	19	10	19	16	19	49	54	45	38
Cana	3	1	2	2	2	2	3	2	3	23	22	24	23
	6	2	5	4	3	4	5	3	5	30	31	30	31
Citros	3	3	4	5	6	6	2	6	6	24	20	20	19
	6	6	6	7	8	9	4	8	9	30	26	26	26
Cana	3	1	4	4	1	4	2	3	1	5	16	12	7
	6	2	6	8	1	9	3	4	2	7	20	23	9

* Taxa de infiltração da água no solo determinada com o Permeâmetro de Guelph com 4 repetições.

7.5 APÊNDICE 5 - ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS

PERFIL - 1. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14/04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,33	0,02	0,12	0,24	0,11	0,07	0,03	0,44
2	0,14	0,02	0,12	0,03	0,17	0,07	0,14	0,52
3	0,10	0,14	0,12	0,22	0,27	0,16	0,23	0,33
4	0,17	0,02	0,12	0,10	0,02	0,04	0,08	0,34
Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm								
1	0,33	0,35	0,47	0,71	0,82	0,89	0,92	1,36
2	0,14	0,16	0,28	0,32	0,49	0,56	0,69	1,21
3	0,10	0,24	0,36	0,58	0,85	1,01	1,24	1,56
4	0,17	0,19	0,31	0,42	0,44	0,48	0,56	0,90
Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm								
1	0,08	0,18	0,12	0,23	0,29	0,10	0,19	0,42
2	0,15	0,12	0,14	0,01	0,19	0,05	0,19	0,29
3	0,14	0,16	0,06	0,02	0,17	0,01	0,14	0,32
4	0,06	0,13	0,01	0,01	0,19	0,01	0,19	0,27
Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm								
1	0,08	0,26	0,39	0,61	0,91	1,01	1,20	1,62
2	0,15	0,27	0,41	0,41	0,60	0,65	0,84	1,13
3	0,14	0,29	0,35	0,37	0,54	0,54	0,68	1,00
4	0,06	0,19	0,19	0,19	0,37	0,37	0,56	0,82



Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 1 - Citros; a)0-5cm, b) Somatório.; c) 10 -15 cm, d) Somatório.

PERFIL - 2. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14/04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,11	0,18	0,13	0,01	0,15	0,06	0,15	0,31
2	0,07	0,11	0,01	0,02	0,20	0,05	0,11	0,27
3	0,14	0,17	0,02	0,00	0,17	0,00	0,10	0,40
4	0,24	0,17	0,01	0,01	0,24	0,28	0,10	0,29

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm)

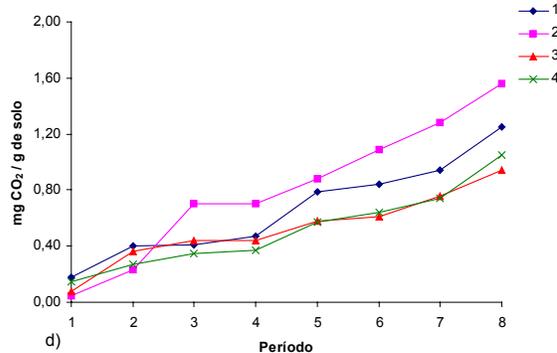
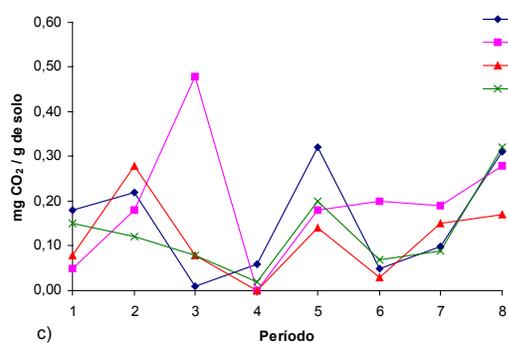
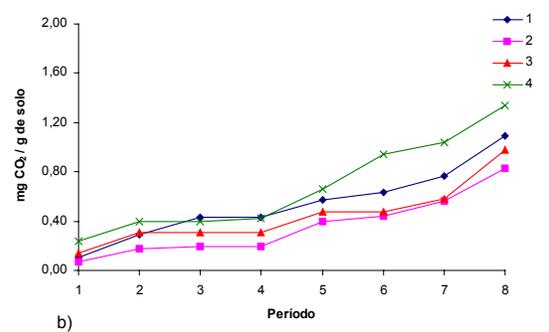
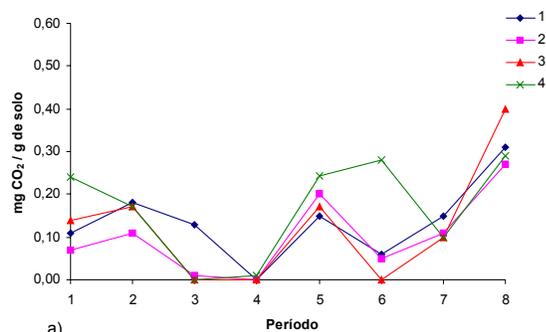
1	0,11	0,29	0,43	0,43	0,57	0,63	0,77	1,09
2	0,07	0,18	0,19	0,19	0,40	0,44	0,56	0,83
3	0,14	0,31	0,31	0,31	0,48	0,48	0,58	0,98
4	0,24	0,40	0,40	0,42	0,66	0,94	1,04	1,34

Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,18	0,22	0,01	0,06	0,32	0,05	0,10	0,31
2	0,05	0,18	0,48	0,00	0,18	0,20	0,19	0,28
3	0,08	0,28	0,08	0,00	0,14	0,03	0,15	0,17
4	0,15	0,12	0,08	0,02	0,20	0,07	0,09	0,32

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,18	0,40	0,41	0,47	0,79	0,84	0,94	1,25
2	0,05	0,23	0,70	0,70	0,88	1,09	1,28	1,56
3	0,08	0,36	0,44	0,44	0,58	0,61	0,76	0,94
4	0,15	0,27	0,35	0,37	0,57	0,64	0,74	1,05



Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 2 - Cana-de-açúcar; a) 0 -5cm, b) Somatório.; c) 10 -15 cm, d) Somatório.

PERFIL – 3. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14/04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,39	0,28	0,12	0,03	0,27	0,07	0,14	0,29
2	0,60	0,46	0,28	0,05	0,40	0,23	0,19	0,36
3	0,28	0,26	0,09	0,01	0,24	0,11	0,07	0,18
4	0,47	0,36	0,28	0,12	0,33	0,18	0,17	0,38

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

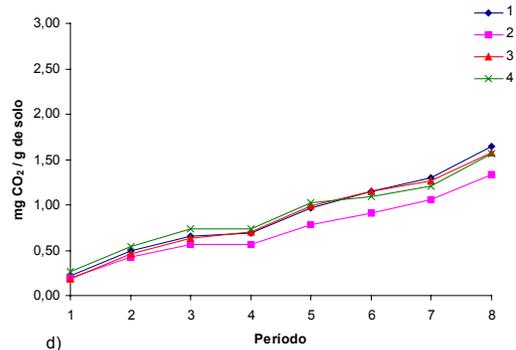
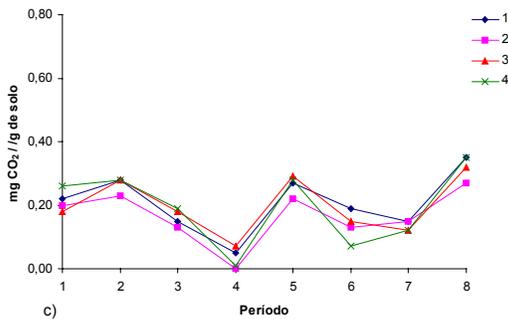
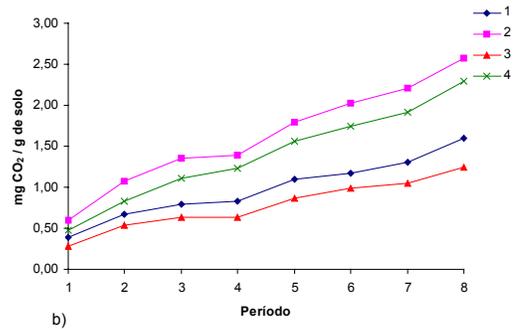
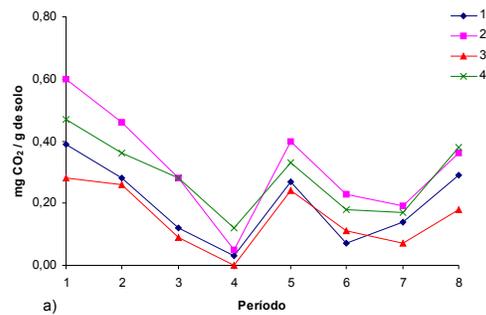
1	0,39	0,67	0,79	0,83	1,10	1,17	1,30	1,60
2	0,60	1,07	1,35	1,39	1,79	2,02	2,21	2,57
3	0,28	0,54	0,64	0,64	0,87	0,99	1,05	1,24
4	0,47	0,83	1,11	1,23	1,56	1,74	1,91	2,29

Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,22	0,28	0,15	0,05	0,27	0,19	0,15	0,35
2	0,20	0,23	0,13	0,00	0,22	0,13	0,15	0,27
3	0,18	0,28	0,18	0,07	0,29	0,15	0,12	0,32
4	0,26	0,28	0,19	0,01	0,28	0,07	0,12	0,35

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,22	0,50	0,65	0,69	0,96	1,15	1,30	1,64
2	0,20	0,43	0,56	0,56	0,78	0,91	1,06	1,33
3	0,18	0,46	0,63	0,70	0,99	1,15	1,26	1,58
4	0,26	0,54	0,73	0,74	1,02	1,09	1,21	1,56



Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 3 - Citros; a) 0 -5cm, b) Somatório.; c) 10 -15 cm, d) Somatório.

PERFIL - 4. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14/04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,23	0,23	0,06	0,35	0,07	0,22	0,17	0,06
2	0,10	0,17	0,02	0,29	0,09	0,09	0,22	0,05
3	0,22	0,16	0,06	0,29	0,07	0,08	0,24	0,16
4	0,32	0,45	0,02	0,15	0,22	0,08	0,39	0,25

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

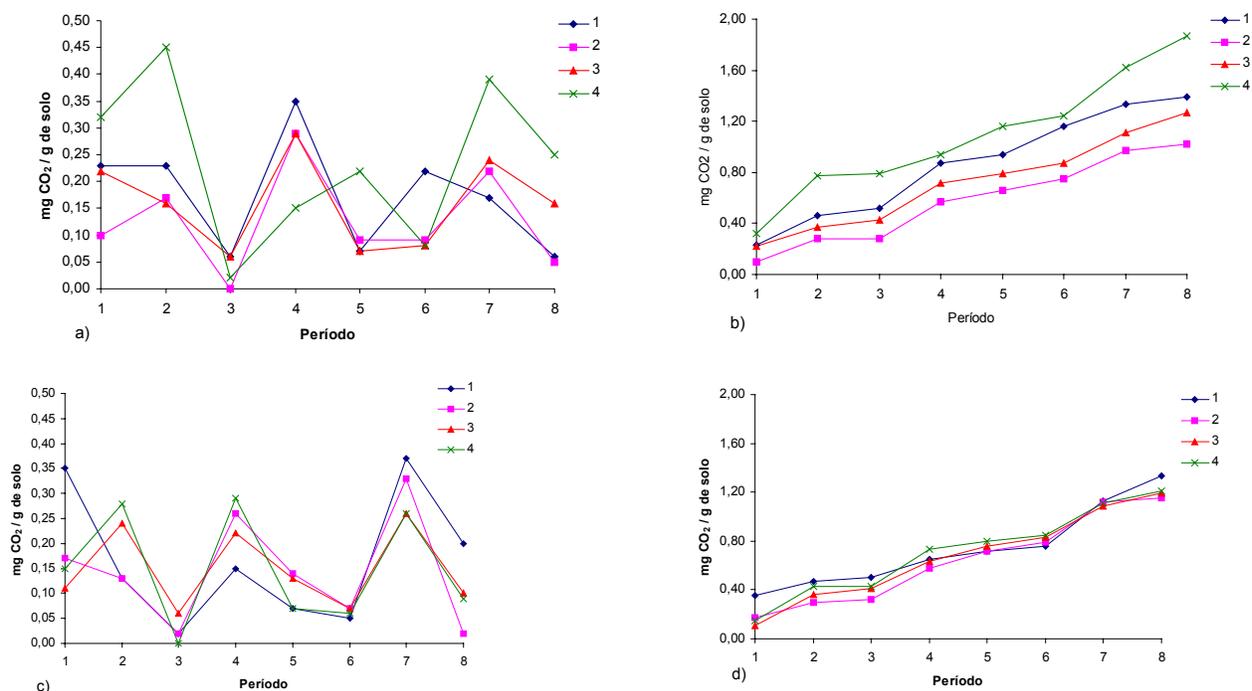
1	0,23	0,46	0,52	0,87	0,94	1,16	1,33	1,39
2	0,10	0,28	0,28	0,57	0,66	0,75	0,97	1,02
3	0,22	0,37	0,43	0,72	0,79	0,87	1,11	1,27
4	0,32	0,77	0,79	0,94	1,16	1,24	1,62	1,87

Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,35	0,13	0,02	0,15	0,07	0,05	0,37	0,20
2	0,17	0,13	0,02	0,26	0,14	0,07	0,33	0,02
3	0,11	0,24	0,06	0,22	0,13	0,07	0,26	0,10
4	0,15	0,28	0,02	0,29	0,07	0,06	0,26	0,09

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,35	0,47	0,50	0,65	0,72	0,76	1,13	1,33
2	0,17	0,30	0,32	0,58	0,72	0,79	1,12	1,15
3	0,11	0,36	0,41	0,63	0,76	0,83	1,09	1,19
4	0,15	0,43	0,43	0,73	0,80	0,85	1,11	1,21



Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 4 - Cana-de-açúcar; a)0 -5cm, b) Somatório.; c) 10 -15 cm, d) Somatório.

PERFIL – 5. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14/04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,63	0,64	0,46	0,28	0,54	0,23	0,35	0,33
2	1,12	0,80	0,65	0,44	0,58	0,33	0,53	0,60
3	0,83	0,54	0,46	0,38	0,46	0,35	0,43	0,43
4	0,92	0,71	0,63	0,47	0,56	0,41	0,56	0,63

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

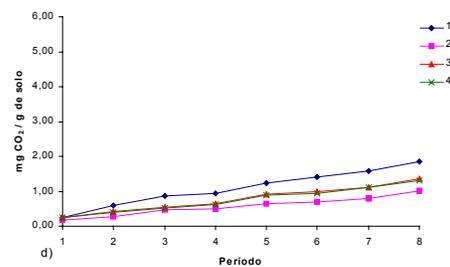
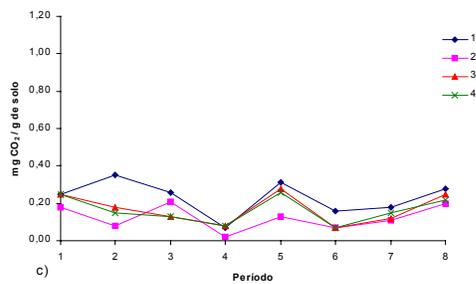
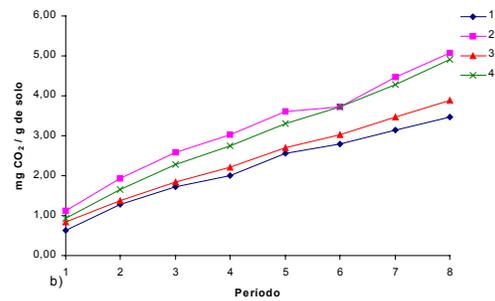
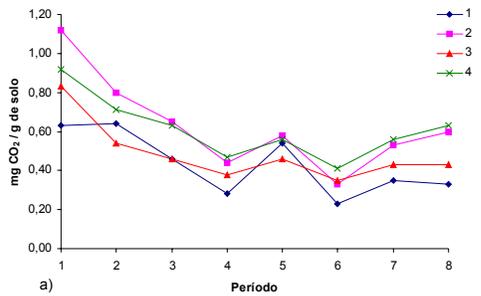
1	0,63	1,28	1,73	2,01	2,55	2,79	3,14	3,46
2	1,12	1,93	2,58	3,02	3,60	3,73	4,46	5,06
3	0,83	1,38	1,84	2,22	2,69	3,03	3,46	3,89
4	0,92	1,64	2,27	2,74	3,30	3,71	4,27	4,90

Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,25	0,35	0,26	0,07	0,31	0,16	0,18	0,28
2	0,18	0,08	0,21	0,02	0,13	0,07	0,11	0,20
3	0,25	0,18	0,13	0,08	0,28	0,07	0,12	0,25
4	0,25	0,15	0,13	0,08	0,26	0,07	0,15	0,22

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,25	0,60	0,86	0,93	1,24	1,40	1,58	1,85
2	0,18	0,26	0,47	0,50	0,63	0,70	0,80	1,01
3	0,25	0,42	0,55	0,63	0,91	0,98	1,10	1,35
4	0,25	0,40	0,53	0,62	0,88	0,95	1,10	1,32



Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 5 - Citros; a) 0 -5cm, b) Somatório.; c) 10 -15 cm, d) Somatório.

PERFIL – 6. Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

Repetições	14 / 04	15 / 04	16 / 04	17 / 04	18 / 04	19 / 04	20 / 04	21 / 04
1	0,69	0,63	0,46	0,52	0,30	0,47	0,36	0,25
2	1,16	0,83	0,56	0,73	0,61	0,51	0,63	0,53
3	0,47	0,31	1,45	0,48	0,35	0,43	0,45	0,25
4	0,72	0,61	0,19	0,22	0,51	0,07	0,91	0,81

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 0 a 5 cm

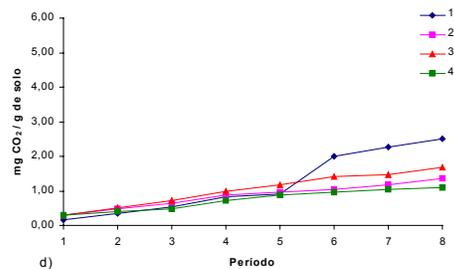
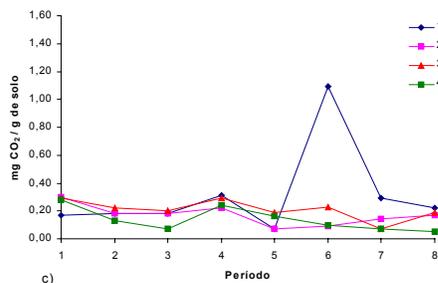
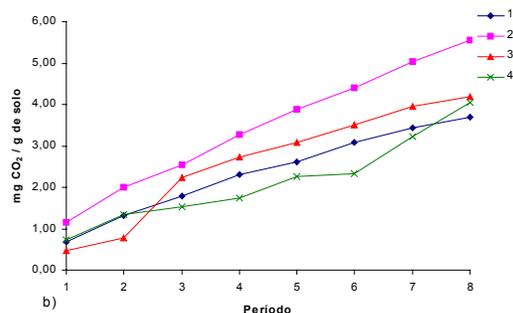
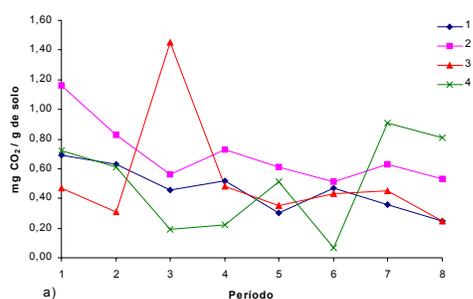
1	0,69	1,32	1,78	2,30	2,61	3,08	3,44	3,69
2	1,16	1,99	2,55	3,28	3,89	4,40	5,03	5,56
3	0,47	0,78	2,24	2,72	3,08	3,50	3,95	4,20
4	0,72	1,33	1,52	1,73	2,25	2,32	3,23	4,04

Produção diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,17	0,18	0,18	0,31	0,07	1,09	0,29	0,22
2	0,30	0,18	0,18	0,22	0,07	0,09	0,14	0,17
3	0,29	0,22	0,20	0,29	0,19	0,23	0,07	0,19
4	0,28	0,13	0,07	0,24	0,16	0,10	0,07	0,05

Somatório da Produção Diária de CO₂(mg/g de solo) na profundidade de 10 a 15 cm

1	0,17	0,35	0,53	0,84	0,91	2,00	2,28	2,50
2	0,30	0,47	0,65	0,88	0,95	1,04	1,18	1,35
3	0,29	0,50	0,71	0,99	1,18	1,41	1,48	1,67
4	0,28	0,41	0,48	0,72	0,87	0,97	1,04	1,09

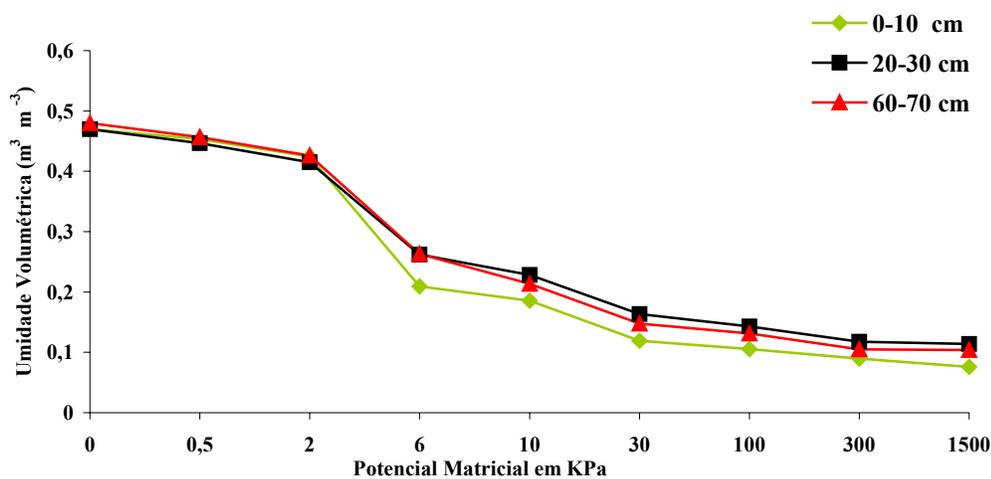


Produção diária de CO₂ determinada por respirometria no perfil 6 - Cana-de-açúcar; a) 0-5cm, b) Somatório.; c) 10-15 cm, d) Somatório.

7.6 APÊNDICE 6 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UMIDADE

Terço superior da encosta em áreas cultivadas com citros

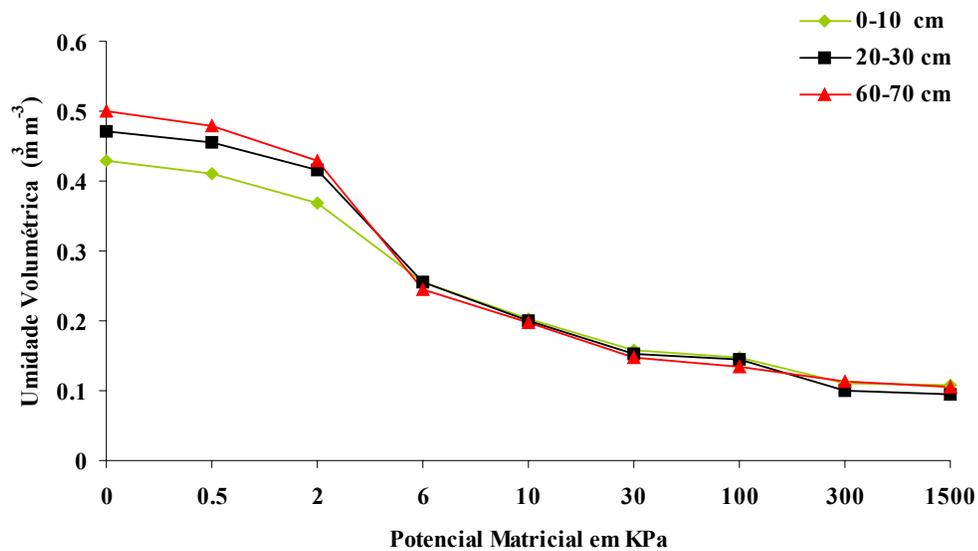
Prof. de Coleta	Amostra Saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$									
0 - 10	0,449	0,435	0,419	0,221	0,189	0,126	0,111	0,100	0,082
	0,502	0,476	0,434	0,200	0,176	0,115	0,102	0,084	0,070
	0,475	0,449	0,420	0,207	0,191	0,117	0,105	0,086	0,075
20 - 30	0,496	0,474	0,449	0,286	0,256	0,178	0,156	0,127	0,111
	0,445	0,425	0,398	0,251	0,217	0,161	0,142	0,119	0,121
	0,465	0,441	0,398	0,249	0,211	0,151	0,131	0,107	0,109
60 - 70	0,462	0,444	0,408	0,261	0,215	0,148	0,128	0,108	0,105
	0,483	0,464	0,440	0,258	0,205	0,144	0,136	0,099	0,105
	0,488	0,461	0,430	0,270	0,220	0,150	0,131	0,108	0,102



Curva característica de retenção da água no solo no terço superior da encosta em área cultivada com citros em três profundidades (médias de três determinações).

Terço médio da encosta em áreas cultivadas com citros

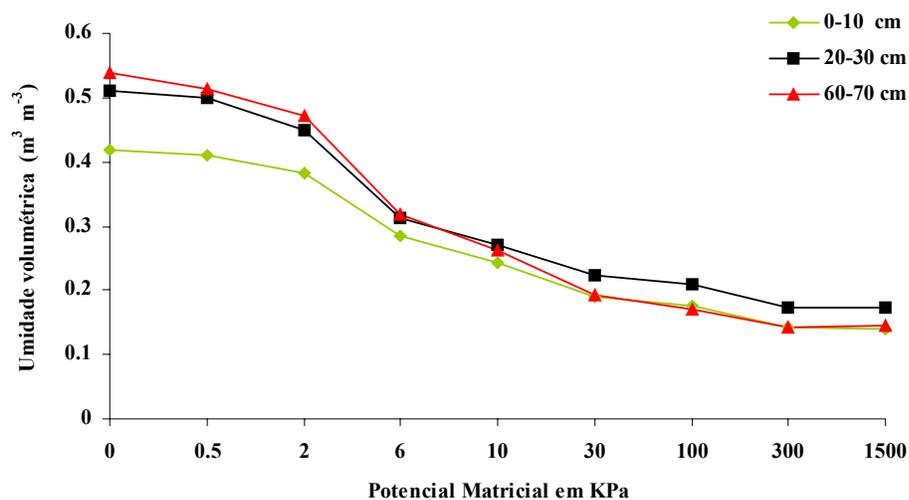
Prof. de Coleta	Amostra Saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $m^3 m^{-3}$									
0 - 10	0,438	0,418	0,373	0,244	0,193	0,153	0,142	0,106	0,108
	0,444	0,421	0,387	0,261	0,209	0,164	0,155	0,113	0,111
	0,406	0,393	0,348	0,261	0,205	0,157	0,146	0,116	0,108
20 - 30	0,483	0,477	0,444	0,257	0,197	0,153	0,146	0,105	0,091
	0,452	0,431	0,405	0,278	0,228	0,171	0,165	0,119	0,109
	0,478	0,455	0,397	0,229	0,175	0,137	0,122	0,079	0,080
60 - 70	0,497	0,474	0,429	0,239	0,191	0,145	0,134	0,130	0,119
	0,494	0,475	0,422	0,237	0,191	0,144	0,129	0,123	0,112
	0,508	0,488	0,438	0,262	0,210	0,155	0,136	0,089	0,084



Curva característica de retenção da água no solo no terço médio da encosta em área cultivada com citros em três profundidades (médias de três determinações).

Terço inferior da encosta em áreas cultivadas com citros.

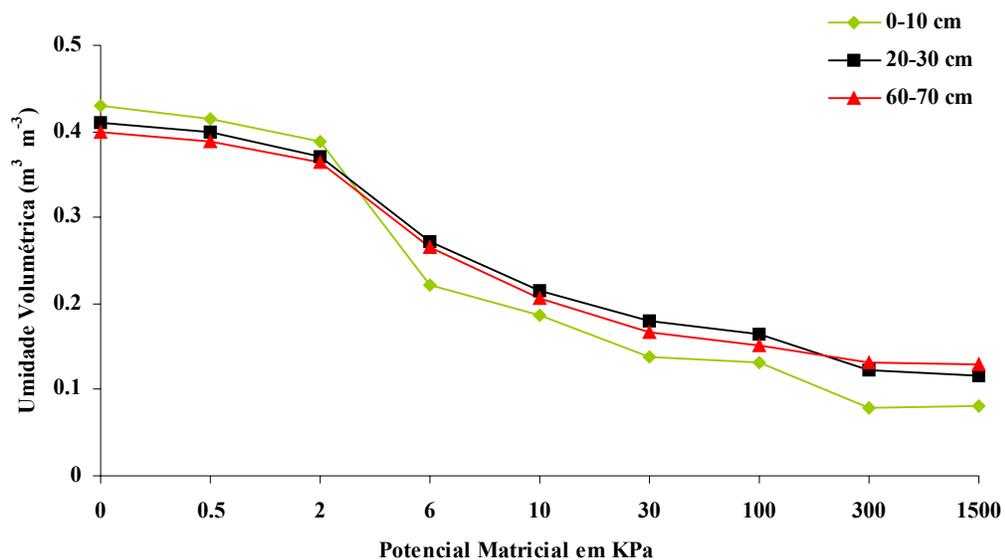
Prof. De Coleta	Amostra Saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $m^3 m^{-3}$									
0 - 10	0,431	0,415	0,394	0,293	0,244	0,188	0,174	0,155	0,143
	0,403	0,393	0,370	0,289	0,248	0,195	0,182	0,142	0,141
	0,434	0,421	0,386	0,273	0,234	0,185	0,167	0,132	0,131
20 - 30	0,526	0,510	0,477	0,331	0,285	0,232	0,210	0,186	0,180
	0,510	0,488	0,428	0,305	0,269	0,225	0,206	0,165	0,166
	0,512	0,500	0,446	0,300	0,262	0,216	0,209	0,171	0,177
60 - 70	0,530	0,506	0,466	0,318	0,262	0,195	0,171	0,145	0,145
	0,546	0,526	0,468	0,317	0,260	0,194	0,176	0,153	0,158
	0,532	0,512	0,477	0,320	0,265	0,189	0,167	0,128	0,134



Curva característica de retenção da água no solo no terço inferior da encosta em área cultivada com citros em três profundidades (médias de três determinações).

Terço superior da encosta em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

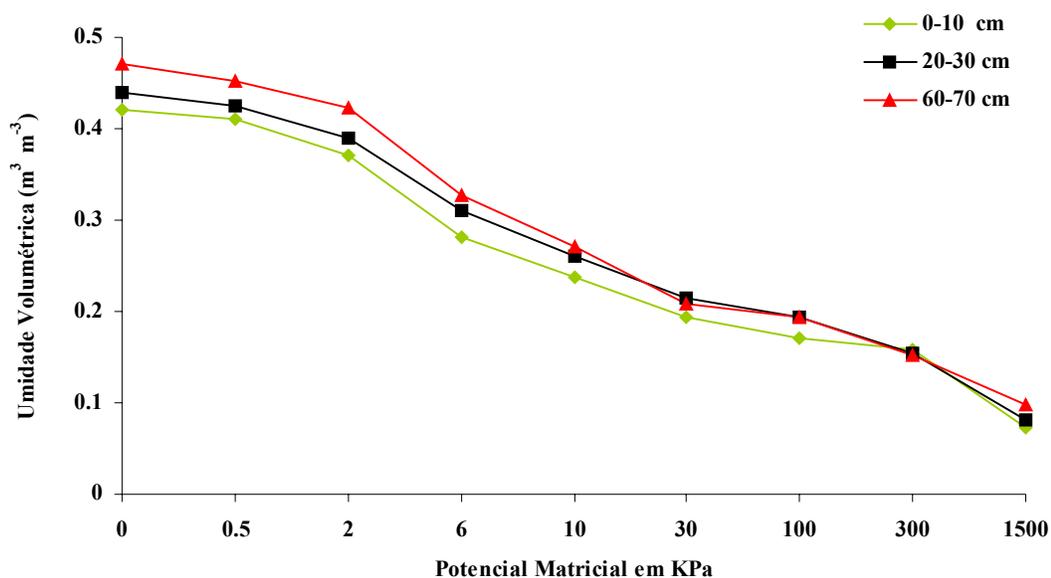
Prof. de Coleta	Amostra saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $m^3 m^{-3}$									
0 - 10	0,436	0,423	0,399	0,208	0,175	0,126	0,109	0,079	0,080
	0,437	0,426	0,396	0,206	0,174	0,124	0,117	0,081	0,074
	0,412	0,397	0,367	0,248	0,214	0,166	0,168	0,079	0,087
20 - 30	0,409	0,399	0,370	0,266	0,216	0,169	0,160	0,129	0,122
	0,428	0,418	0,386	0,264	0,207	0,162	0,148	0,118	0,109
	0,399	0,383	0,358	0,283	0,225	0,205	0,185	0,122	0,117
60 - 70	0,417	0,409	0,383	0,269	0,202	0,165	0,154	0,126	0,119
	0,367	0,356	0,330	0,269	0,216	0,174	0,162	0,141	0,142
	0,415	0,403	0,377	0,261	0,203	0,159	0,142	0,126	0,126



Curva característica de retenção da água no solo no terço superior da encosta em área cultivada com cana-de-açúcar em três profundidades (médias de três determinações).

Terço médio da encosta em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

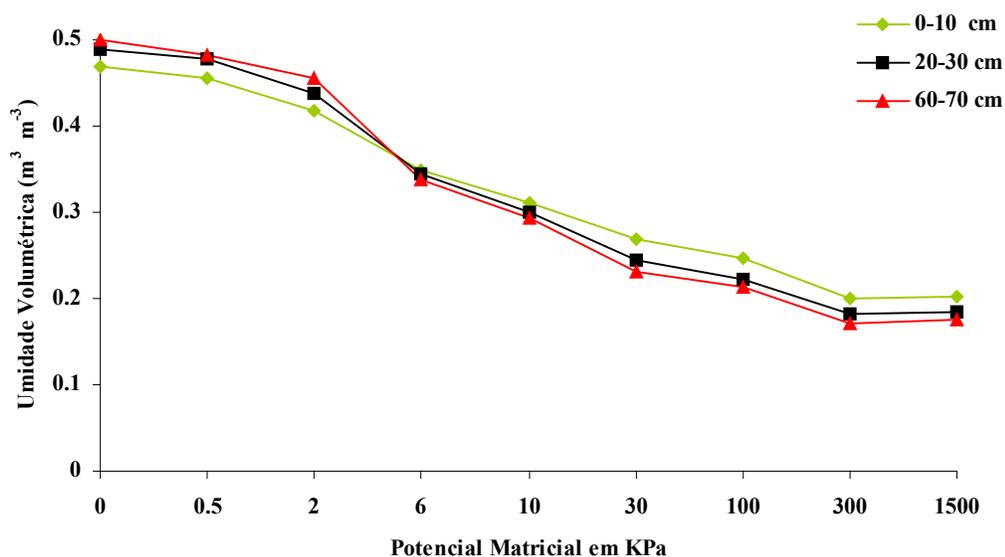
Prof. de Coleta	Amostra saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $m^3 m^{-3}$									
0 - 10	0,394	0,381	0,353	0,286	0,248	0,200	0,183	0,150	0,084
	0,430	0,413	0,377	0,303	0,257	0,206	0,185	0,213	0,083
	0,454	0,436	0,380	0,257	0,211	0,175	0,146	0,109	0,054
20 - 30	0,435	0,420	0,382	0,301	0,255	0,213	0,186	0,155	0,076
	0,453	0,442	0,402	0,314	0,262	0,210	0,190	0,149	0,075
	0,423	0,414	0,383	0,316	0,267	0,221	0,206	0,161	0,092
60 - 70	0,459	0,450	0,420	0,324	0,267	0,209	0,207	0,153	0,068
	0,458	0,440	0,411	0,323	0,267	0,208	0,184	0,146	0,068
	0,487	0,469	0,436	0,335	0,278	0,210	0,188	0,156	0,157



Curva característica de retenção da água no solo no terço médio da encosta em área cultivada com cana-de-açúcar em três profundidades (médias de três determinações).

Terço inferior da encosta em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

Prof. de Coleta	Amostra saturada	-0,5 kPa	-2 kPa	-6 kPa	-10 kPa	-30 kPa	-100 kPa	-300 kPa	-1.500 kPa
Umidade $m^3 m^{-3}$									
0 - 10	0,503	0,489	0,430	0,339	0,313	0,262	0,235	0,189	0,188
	0,429	0,417	0,395	0,358	0,323	0,287	0,266	0,228	0,223
	0,473	0,460	0,428	0,349	0,298	0,256	0,243	0,194	0,195
20 - 30	0,505	0,491	0,448	0,346	0,289	0,237	0,213	0,178	0,175
	0,495	0,479	0,442	0,356	0,300	0,249	0,224	0,191	0,192
	0,475	0,460	0,425	0,333	0,308	0,250	0,232	0,180	0,184
60 - 70	0,496	0,478	0,450	0,344	0,301	0,240	0,223	0,179	0,181
	0,514	0,499	0,467	0,320	0,279	0,221	0,205	0,162	0,170
	0,486	0,472	0,447	0,348	0,302	0,231	0,211	0,174	0,174



Curva característica de retenção da água no solo no terço inferior da encosta em área cultivada com cana-de-açúcar em três profundidades (médias de três determinações).