

**IMPACTO DO USO DO SOLO EM ÁREA DE  
PROTEÇÃO PERMANENTE DA SUB-BACIA  
RIO RIBEIRA DE IGUAPE, SP**

**PIERO IORI**

**2010**

**PIERO IORI**

**IMPACTO DO USO DO SOLO EM ÁREA DE PROTEÇÃO  
PERMANENTE DA SUB-BACIA RIO RIBEIRA DE IGUAPE, SP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2010

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

Iori, Piero.

Impacto do uso do solo em área de proteção permanente da Sub-  
bacia Rio Ribeira de Iguape, SP / Piero Iori. – Lavras : UFLA, 2010.  
91 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.  
Orientador: Moacir de Souza Dias Júnior.  
Bibliografia.

1. Física do solo. 2. Qualidade do solo. 3. Pressão de  
preconsolidação. 4. Erodibilidade. 5. Cambissolo. 6. Vale do  
Ribeira. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.43

**PIERO IORI**

**IMPACTO DO USO DO SOLO EM ÁREA DE PROTEÇÃO  
PERMANENTE DA SUB-BACIA RIO RIBEIRA DE IGUAPE, SP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 18 de fevereiro de 2010.

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

UFLA

Prof. Dr. Reginaldo Barboza da Silva

UNESP

Prof. Dr. José Maria de Lima

UFLA

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior  
UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

*Aos meus pais, João Ferreira da Silva e Auzana Rodrigues Villar da Silva (in memoriam), pela educação e ensinamentos sobre a vida.*

## **DEDICO**

*A minha namorada, Cecilia Armesto, por sempre estar ao meu lado e me apoiar em todas as decisões. Aos meus tios, Doralice Villar e Euclides Sigüero, pelo incentivo e apoio e aos meus dois irmãos, João Guilherme e Janaina.*

## **OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade de realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus Experimental de Registro, pelo apoio e disponibilização de laboratório, equipamentos e mão-de-obra, fundamentais para a conclusão deste trabalho.

Ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos (Fehidro) – Comitê de Bacia Hidrográfica do Ribeira de Iguape e Litoral Sul (CBH-RB), pelo financiamento de alguns equipamentos.

Ao professor Moacir de Souza Dias Junior, pela oportunidade de trabalhar ao seu lado e pela amizade, ensinamentos e orientação, indispensável na conclusão deste trabalho.

Ao professor Reginaldo Barboza da Silva, como meu primeiro e até hoje orientador e parceiro, pela amizade, orientação, apoio, dedicação e ensinamentos, os quais muito contribuíram para o andamento e a finalização deste trabalho. Também à sua esposa, professora Alcivânia, pelos muitos conselhos.

Ao professor José Maria de Lima, pela coorientação, por participar da banca examinadora e pelas críticas e sugestões apresentadas, fundamentais para a realização deste trabalho.

A minha namorada, companheira e parceira, Cecilia, pelo apoio, dedicação, conselhos, ensinamentos, carinho, motivação e, principalmente, me fazer feliz e por estar ao meu lado, sempre.

Aos meus pais, João Ferreira da Silva e Auzana Rodrigues Villar da Silva (*in memoriam*) e meus tios Doralice Villar e Euclides Sigüero.

A minha família por parte da Cecília, Juan, Joana, Mariana e Bráulio, por todo auxílio.

A todos os professores do DCS/UFLA, especialmente Geraldo César de Oliveira e Mozart Martins Ferreira, pelo conhecimento transmitido e conversas agradáveis.

A todos os professores da UNESP – Campus Experimental de Registro, pela contribuição na minha formação acadêmica e profissional.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo, Dulce, Delanne e Doroteo, pela amizade e auxílio na realização das análises.

Às amigas Ayeska e Carla, pela ajuda e parceria ao longo do curso.

Aos amigos Cezar, Bruno, Eduardo e Vico, pela ajuda e ótima convivência ao longo do curso.

A todos os meus colegas de Departamento e de pós-graduação, Milson, Karina, Paula, Anna, Diego, Fabrício, Guilherme e pessoal do futebol.

Ao meu grande amigo Everton Pires Soliman, pelas ótimas conversas desde a graduação.

Aos colegas Pedro, Fernando, Edison e Erick, pela ajuda na condução deste trabalho.

Ao meu grande amigo Woody.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	i
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Qualidade do solo.....	4
2.2 Alteração estrutural - compactação.....	5
2.3 Comportamento compressivo dos solos.....	8
2.4 Resistência dos solos à penetração.....	11
2.5 Resistência ao cisalhamento dos solos.....	13
2.6 Erosão e erodibilidade.....	18
2.7 Vale do Ribeira.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Caracterização da área experimental.....	25
3.2 Arranjo experimental, amostragem e coleta de dados.....	26
3.3 Atributos caracterizados.....	28
3.3.1 Atributos físico-hídricos.....	28
3.3.2 Atributos mecânicos.....	30
3.3.3 Atributos Hídricos.....	35



3.3.4 Atributos de perda de solo.....	36
3.3.5 Atributos químicos.....	37
3.4 Sistematização e forma de análise dos resultados.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 Atributos Físicos.....	39
4.2 Atributos Mecânicos.....	48
4.3 Atributos Hídricos.....	57
4.4 Atributos de Perdas do Solo.....	60
5 CONCLUSÕES.....	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	78

## LISTAS DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Argila
AD	Água disponível
ADA	Argila dispersa em água
AF	Areia fina
Af	Clima tropical úmido, de acordo com Köppen
AG	Areia grossa
Al	Teor de alumínio
APP	Área de proteção permanente
AT	Areia total
C'	Fator de uso e manejo
Ca	Teor de cálcio
CBAN	Cultivo com banana
CC	Capacidade de campo
Cfa	Clima temperado úmido com verão quente, de acordo com Köppen
CO	Carbono orgânico
DMG	Diâmetro médio geométrico
DMP	Diâmetro médio ponderado
Dp	Densidade de partículas
Ds	Densidade do solo
E	Coefficiente de estrutura
EUPS	Equação universal de perda de solos
h	Altura, em centímetros, de coluna de água
H+Al	Teor de hidrogênio + alumínio
IE	Índice estrutural
IF	Índice de floculação

K	Teor de potássio
K'	Fator de erodibilidade do solo
K <sub>1</sub>	Fator de erodibilidade do solo
K <sub>2</sub>	Fator de erodibilidade do solo
K <sub>3</sub>	Fator de erodibilidade do solo
K <sub>i</sub>	Índice de intemperismo do solo
K <sub>r</sub>	Índice de intemperismo do solo
L'	Fator comprimento do declive
M	NS x (NS + NA)
m	Índice de compressão
m*	Índice de saturação de alumínio
m'	Parâmetro de ajuste do modelo de van Genuchten
M1	Método 1
M3	Método 3
Ma	Macroporosidade
Mg	Teor de magnésio
Mi	Microporosidade
Mn	S x (S + AF)
MNAT	Mata nativa
MO	Teor de matéria orgânica
MPIS	Uso silvipastoril
n	Número de observações
n'	Parâmetro de ajuste do modelo de van Genuchten
NA	Nova areia
NDVI	Índice de vegetação da diferença normalizada
NS	Novo silte
P	Teor de fósforo

p	Probabilidade
P'	Fator de práticas conservacionistas
Pb	Poros bloqueados
PDEG	Pastagem degradada
Pe	Coefficiente de permeabilidade
pH	Acidez ativa do solo
PMP	Ponto de murcha permanente
$\sigma_pA$	Pressão de preconsolidação em alta umidade
$\sigma_pB$	Pressão de preconsolidação em baixa umidade
PR	Estado do Paraná
P-rem	Teor de fósforo remanescente
PTc	Porosidade total calculada
PTd	Porosidade total determinada
R	NA x MO/100
r	Coefficiente de correlação de Pearson
R'	Fator erosividade
RC	Resistência ao cisalhamento do solo
RP	Resistência do solo à penetração
S	Silte
S'	Fator grau de declive
SB	Soma de bases trocáveis
SP	Estado de São Paulo
t	Capacidade de troca catiônica efetiva
T	Capacidade de troca catiônica a pH 7,0
Tb	Argila de atividade baixa
U	Umidade gravimétrica
UFLA	Universidade Federal de Lavras

UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNESP	Universidade Estadual Paulista
V	Índice de saturação de bases
$\alpha$	Parâmetro de ajuste do modelo de van Genuchten
$\theta$	Umidade volumétrica
$\sigma_n$	Tensão normal
$\sigma_p$	Pressão de preconsolidação
$\theta_r$	Umidade residual
$\theta_s$	Umidade de saturação
$\tau$	Tensão cisalhante
$\Psi_m$	Potencial matricial

## RESUMO

IORI, Piero. **Impacto do uso do solo em área de proteção permanente da Sub-bacia Rio Ribeira de Iguape, SP**. 2010. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

As áreas laterais aos cursos d'água são consideradas áreas de preservação permanente que, segundo o Código Florestal (Lei n.º 4.771/65), devem ser mantidas intocadas e, caso estejam degradadas, deve-se prever a sua imediata recuperação. O uso indevido dos solos e a falta de tecnologias e manejos apropriados aos pedoambientes agrícolas e naturais, em especial nessas áreas de preservação permanente (APPs), têm alterado os atributos físicos, hídricos e mecânicos do solo e, por conseguinte, causando degradação de sua estrutura. Este trabalho foi realizado com o objetivo de, a partir da prospecção (quantificação e modelagem) de atributos físicos, hídricos e mecânicos do solo, avaliar a sustentabilidade da estrutura e identificar a influência do uso na resistência do solo à erosão em APPs, na sub-bacia rio Ribeira de Iguape, no estado de São Paulo. Foram delimitados quatro tratamentos, contendo os seguintes usos: a) cultivo de banana, b) pastagem degradada, c) uso silvipastoril, e d) área de mata nativa. O uso do solo modificou suas propriedades físicas, hídricas e mecânicas, conforme indicado pela relação de massa e volume dos constituintes do solo, resistência mecânica do solo, disponibilidade hídrica e pelo complexo sortivo do solo. Os altos valores de pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) apresentados no solo sob o cultivo de banana propiciou maior capacidade de suporte de carga. A resistência do solo ao cisalhamento e à penetração possibilitou distinguir o impacto dos distintos usos do solo. Os modelos de Wischmeier et al. (1971) e Roloff & Dernadin (1994) foram mais sensíveis na avaliação da erodibilidade do solo, os quais identificaram, de maneira geral, o uso do solo sob cultivo de banana como o de menor resistência à erosão.

---

<sup>1</sup>**Comitê Orientador:** Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior – DCS/UFLA (orientador), Prof. Dr. Reginaldo Barboza da Silva – UNESP/Registro e Prof. Dr. José Maria de Lima – DCS/UFLA.

## ABSTRACT

IORI, Piero. **Impact of land use in areas of permanent protection of the Sub-basin of the Ribeira Iguape, SP**. 2010. 91 p. Dissertation (Master Science in soil Science) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.<sup>1</sup>

The lateral areas of water courses are considered permanent preservation areas identified by the Forest Code (Law N° 4771/65), should be kept untouched and, if degraded, there should be an immediate recovery. The misuse of land, lack of appropriate technologies and management systems to detailed studies agricultural and natural resources, particularly in those areas of permanent preservation (APP), have changed the physical, water and soil mechanics, and therefore causing its structure degradation. The objectives of this study was from the survey (measurement and modeling) of physical attributes, water and soil mechanics, to assess the structure sustainability and identify the influence of soil resistance to erosion in APP, the sub-basin of the Ribeira Iguape River State of São Paulo. Four treatments were defined, containing the following uses: a) cultivation of bananas, b) degraded pasture, c) use silvopastoral, and d) area of native forest. Land use has changed its physical properties, hydraulic and mechanical, as indicated by the relationship of mass and volume of the constituents of soil, soil strength, water availability and the exchangeable cations in soil. The high values of precompression stress ( $\sigma_p$ ) given in the soil under banana cultivation has provided greater load support capacity. The soil resistance to shearing and penetration possible to distinguish the impact of different land uses. Models of Wischmeier et al. (1971) and Roloff & Dernadin (1994) were more sensitive in the assessment of soil erodibility, which identified a general land use in banana cultivation as the least resistance to erosion.

---

<sup>1</sup>**Guidance Committee:** Prof. Moacir de Souza Dias Junior – DCS/UFLA (adviser), Prof. Reginaldo Barboza da Silva – UNESP/Registro and Prof. José Maria de Lima – DCS/UFLA.

## **1 INTRODUÇÃO**

O solo, um recurso natural básico, é renovável, se conservado ou utilizado corretamente (Primavesi, 2002). Entretanto, a falta de conhecimentos tecnológicos para a utilização adequada por parte dos agricultores e pecuaristas, entre outros, tem provocado sua degradação estrutural, acelerando o processo da erosão, uma das mais nefastas consequências que comprometem diretamente os recursos hídricos.

As áreas laterais aos cursos d'água são consideradas áreas de preservação permanente (APP) que, segundo o Código Florestal (Lei n.º 4.771/65), devem se manter intocadas e, caso estejam degradadas, deve-se prover a imediata recuperação. O uso indevido dos solos, a falta de tecnologias e os manejos apropriados nos pedoambientes agrícolas e naturais, em especial, nessas áreas de preservação permanentes (APPs), têm alterado os atributos físicos, hídricos e mecânicos do solo, por conseguinte, tem causado sua degradação estrutural. Na estação das chuvas, devido à altíssima erosividade na região do Vale do Ribeira, a queda de barrancos e a excessiva erosão dos solos tornam este quadro ainda mais crítico. A falta de boas práticas agrícolas tem induzido à compactação que, além de acelerar o processo erosivo (laminar, sulcos e voçorocas), induz ao depauperamento contínuo do solo e ao assoreamento dos rios.

Estudos que forneçam informações sobre o real estado de degradação dessas áreas de proteção no Vale do Ribeira ainda são escassos. Pesquisas que objetivem a avaliar a qualidade desses solos podem detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período relativamente longo e elucidar alternativas de correção desta degradação dos solos das APPs. Contudo, ainda é incerto o impacto dos usos e manejos agrícolas utilizados nas áreas de preservação permanente, especialmente, na região do Vale do Ribeira.



Araújo et al. (2007) ressaltam que o estabelecimento de índices de qualidade do solo é ainda útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais, quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva. Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental. As práticas de manejo e conservação do solo e da água devem ser planejadas e executadas procurando manter-se ou melhorar seus atributos, de modo a aumentar a capacidade do solo em sustentar uma produtividade biológica competitiva, sem comprometer a qualidade da água.

Parte da região do Vale do Ribeira localizada no estado de São Paulo, por falta de uma melhor definição da capacidade de uso e aptidão de suas terras e do constante desmatamento das áreas elevadas, enfrenta sérios problemas, como a erosão do solo, tendo como consequência o assoreamento dos seus rios e, por conseguinte, comprometimento do transporte fluvial e agravamento das enchentes. A falta de tecnologias e manejos apropriados aos pedoambientes agrícolas e naturais, associada ao constante desmatamento, constitui o principal fator de impacto ambiental que coloca em risco a sustentabilidade das terras e dos recursos hídricos da sub-bacia Ribeira do Iguape.

Todo este contexto cobra a tomada de decisões voltadas para investimentos e a adoção de ações e políticas públicas que proponham alternativas agrossocioambientais sustentáveis que respeitem as peculiaridades edáficas e climáticas da sub-bacia do rio Ribeira de Iguape. A hipótese deste trabalho é que a quantificação e a modelagem de atributos físicos, mecânicos e hídricos dos solos das áreas de preservação ambiental (APPs) podem auxiliar no planejamento conservacionista que objetive a redução da degradação estrutural e, conseqüentemente, o processo erosivo em áreas de influência da sub-bacia rio Ribeira de Iguape.

Portanto, este trabalho foi realizado com o objetivo de, a partir da prospecção (quantificação e modelagem) de atributos físicos, hídricos e mecânicos do solo, avaliar a sustentabilidade estrutural e identificar a influência do uso na resistência do solo à erosão em APPs, na sub-bacia rio Ribeira de Iguape, SP.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Qualidade do solo**

A qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou ser manejado para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e animais (Doran, 1997). Vezzani & Mielniczuk (2009) reforçam, ainda, que a qualidade do solo é a integração das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, que o habilitam a exercer suas funções na plenitude. Portanto, essa qualidade pode ser avaliada considerando-se a capacidade do solo em suprir nutrientes para as plantas, suportar o crescimento e o desenvolvimento de raízes e proporcionar atividade biológica, com adequada estabilidade estrutural, para resistir à erosão e reter água para as plantas, entre outros (Casalinho et al., 2007).

Nessa perspectiva, é fundamental a seleção de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (Doran et al., 1996).

A utilização de indicadores físicos, químicos e biológicos, coletados em solo de uma área de floresta natural não perturbada, é considerada como referência para montagem de um índice geral da qualidade do solo (Islam & Weil, 2000). Santana & Bahia Filho (2002) também ressaltam que o solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente, pode representar uma referência para avaliações dos mais diversos tipos de manejo.

Em trabalho sobre a qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas, Casalinho et al. (2007) ressaltam que o

manejo do solo é um componente fundamental do sistema de produção e um valioso instrumento na busca de uma atividade agrícola sustentável. Os autores concluíram que o sistema de manejo utilizado pelos agricultores, pelo uso integrado das diferentes práticas agrícolas, influencia positivamente a qualidade do solo, contribuindo, conseqüentemente, para uma atividade agrícola sustentável. Portanto, a avaliação das práticas de uso e manejo empregadas em áreas próximas a cursos d'água é de vital importância para a continuidade e a preservação do meio físico das APPs.

O uso dos atributos do solo, como indicadores da qualidade, devem estar relacionados com as seguintes funções: regular e compartimentalizar o fluxo de água e o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um hábitat biológico adequado e responder ao manejo, resistindo à degradação (Doran, 1997).

Comumente, são utilizados como indicadores do solo de ordem física, química e biológica: densidade do solo (Canarache et al., 2000), diâmetro médio geométrico de agregados (Silva et al., 1998), porosidade (Silva et al., 2004) do solo, matéria orgânica (Reynolds et al., 2007), capacidade de troca catiônica (Araújo et al., 2007) e carbono na biomassa microbiana (Araújo et al., 2007). Vale ressaltar, ainda, que atributos mecânicos do solo que avaliem a compactação, como, por exemplo, a pressão de preconsolidação (Dias Júnior et al., 2002; Silva, A. et al., 2003) e parâmetros de resistência do cisalhamento, coesão aparente e ângulo de atrito interno (Silva, 2002) são necessários em estudos desta natureza.

## **2.2 Alteração estrutural - compactação**

A compactação do solo ocorre quando o solo perde sua porosidade, em razão do rearranjo de suas partículas e agregados, como pode ser visto na Figura 1. Esta compactação tem origem na compressão do solo não saturado. Os

solos sofrem redução de volume, em decorrência da deformação e do rearranjo das partículas sólidas e do deslocamento do ar presente nos poros (Hillel, 1998). Para Lambe (1958), a mudança no estado de compactação resulta de uma variação no volume do solo quando este é submetido a uma força de compressão, atribuindo-lhe um comportamento plástico. Esta plasticidade se deve à reorganização das partículas e às demais alterações que ocorrem no solo durante a compressão são reversíveis.

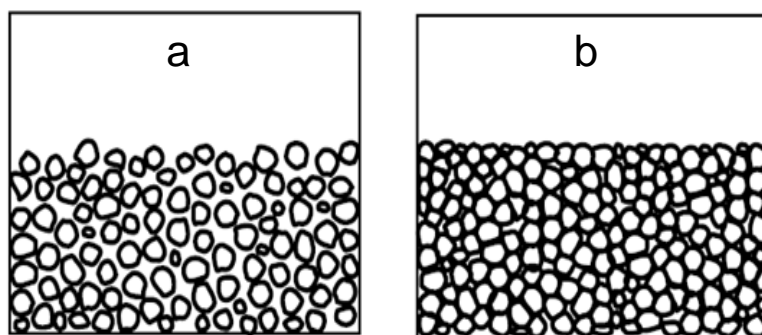


FIGURA 1 Representação esquemática de um solo descompactado (a) e um solo compactado (b).

Fonte: Multiquip do Brasil (2010)

A compactação no solo pode resultar em: aumento da sua densidade e da resistência mecânica e diminuição da porosidade total, tamanho e continuidade dos poros (Dias Junior, 2000). Por essa razão, a infiltração e o movimento interno de água são mais lentos, podendo levar a um forte escoamento superficial, menor desenvolvimento de plantas, pelo impedimento físico à propagação de raízes, baixa aeração, pouca disponibilidade hídrica e, em alguns casos, menor fertilidade do solo.

A aeração do solo depende, primariamente, dos macroporos que drenam a água rapidamente após uma chuva ou irrigação. A compactação do solo pode destruir quantidades significativas de macroporos, com redução do tamanho dos

agregados ou o incremento da densidade do solo, afetando, portanto, a difusão de gases. Resultados de pesquisas indicam que a difusão de gases é quase nula quando os macroporos representam menos de 10% do volume do solo (Baver et al., 1972). A presença de uma camada compactada próximo à superfície do solo pode restringir a infiltração de água no solo (Seixas, 1988).

A erodibilidade é fortemente influenciada pela infiltração de água no solo, como a compactação pode reduzir drasticamente a infiltração. Há, dessa maneira, um incremento na erodibilidade do solo. Sabe-se que a compactação pode aumentar as taxas de movimentação dos nutrientes para as raízes por difusão e osmose. Por outro lado, isso ocasionará uma diminuição do fluxo interno e, em consequência, um menor transporte de nutrientes, resultando em decréscimo na quantidade de nutrientes mineralizados da matéria orgânica do solo.

A compactação máxima do solo pode ocorrer quando estes estão com umidade próxima à capacidade de campo, ou seja, quando os microporos estão preenchidos com água e os macroporos com ar (Baver et al., 1972). Trabalhando a umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo, Figueiredo et al. (2000), considerando a capacidade de campo como a água retida a 10 kPa, notaram que a umidade crítica de compactação estava próxima de 90% da água retida na capacidade de campo. Esta condição causa baixa coesão e elevada lubrificação entre as partículas do solo. Como resultado, o solo torna-se fluido o suficiente para facilitar a compactação (Baver et al., 1972). Segundo Bodman & Constantin (1965), os solos mais susceptíveis à compactação são os de textura média a moderadamente grosseira (francos, franco-arenosos e franco siltosos), pela maior facilidade de reorganização de suas partículas. Os solos altamente porosos são mais susceptíveis ao processo de compactação que os solos menos porosos.

### **2.3 Comportamento compressivo dos solos**

A facilidade com que um solo não saturado decresce de volume, quando sujeito a pressões, é chamada de compressibilidade (Gupta & Allmaras, 1987). Para Lebert & Horn (1991), a compressibilidade depende de fatores externos e internos. Os fatores externos são a energia de compactação aplicada ao solo, que pode ser natural, pela ação do impacto das gotas de chuva, ou artificial, por meio do pisoteio de animais ou humanos e pelo tráfego agrícola (Bennie & Krynauw, 1985; Silva, 2002). Os fatores internos são: história de tensão (Gupta et al., 1989; Dias Júnior, 1994), umidade do solo (Silva, 2002; Oliveira et al., 2003), textura do solo (McBride & Joosse, 1996), estrutura do solo (Lima et al., 2006), densidade inicial do solo (Oliveira et al., 2003), teor de argila, adsorção de P (Silva et al., 1999), potencial de água e ligações entre as partículas e agregados (Larson et al., 1980; Gupta et al., 1989; Dias Júnior, 1994).

De acordo com Rocca et al. (1993), nos solos de textura fina, a resistência à compressibilidade é mais elevada do que nos solos de textura grossa. Quando um solo de textura fina é submetido à compressão, a água contida no mesmo tem dificuldade de sair dos poros para fora da massa de solo, devido à baixa permeabilidade; assim, parte da pressão aplicada é absorvida pela pelo líquido. Logo, com a drenagem da água, os vazios irão diminuindo. Solos argilosos, solos com alto teor de areia fina e solos com baixo teor de matéria orgânica são mais susceptíveis à compactação (Bennie & krynauw, 1985).

Estudando os parâmetros físicos de voçorocas no interior paulista, Larios (2008) associou a erodibilidade dos solos com a compressibilidade. Os autores citam que os solos estudados tinham comportamento colapsível. Como, entretanto, tratava-se de solo arenoso, a propriedade que mais se destacou, neste caso, foi a textura. Em seu trabalho, Oliveira et al. (2003) relatam a importância da utilização de informações sobre a pressão de preconsolidação para um

manejo racional, por permitir a predição do comportamento compressivo do solo.

Objetivando a avaliar e os efeitos da compactação, Dias Júnior & Pierce (1995), Silva (2002), Araújo Júnior et al. (2008), Martins (2009) e Severiano (2010) empregaram o ensaio de compressão uniaxial. Este consiste na aplicação de pressões sucessivas e contínuas, previamente estabelecidas, a uma amostra indeformada de material de solo na condição parcialmente saturada.

O ensaio de compressibilidade permite a obtenção da curva de compressão do solo (Figura 2), que representa graficamente a relação entre o logaritmo da pressão aplicada e a densidade do solo (Dias Júnior, 1994). Esta curva obtida em laboratório tem sido utilizada para simular as reduções do volume do solo (Larson et al., 1980; Dias Júnior, 1994; Dias Júnior & Pierce, 1995; Kondo & Dias Júnior, 1999; Silva, 2002).

A pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) pode ser estimada por vários métodos. Um dos mais utilizados no Brasil é o que emprega uma planilha eletrônica de fluxo livre, construída a partir de um software, como, por exemplo, o Excel (Planilha do Microsoft Office Excel 97-2003) (Dias Júnior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1995). O índice de compressão ( $m$ ) é estimado como sendo a inclinação da reta de compressão virgem (Bradford & Gupta, 1986). Dessa forma, quanto maior a inclinação da reta de compressão virgem, maior será o seu valor e maior a suscetibilidade do solo à compactação.



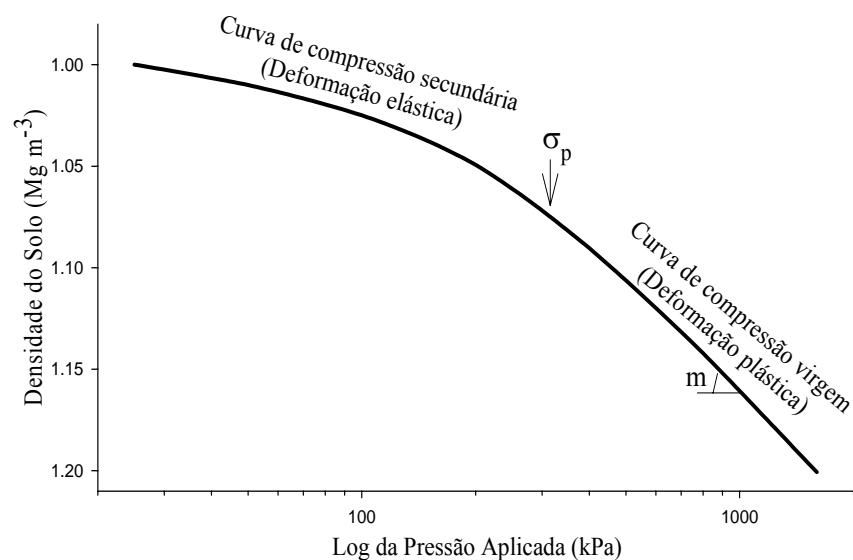


FIGURA 2 Curva de compressão do solo mostrando a curva de compressão secundária, a curva de compressão virgem, a pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) e o índice de compressão ( $m$ ).  
Fonte: Dias Junior (1994)

Quando este ensaio é realizado com solos que não sofreram nenhuma pressão prévia, a relação entre a pressão aplicada e a densidade do solo será linear (reta de compressão virgem) e qualquer pressão aplicada resultará em deformações não recuperáveis (Dias Junior & Pierce, 1996). Porém, quando estes ensaios são realizados em solos com um histórico de tensão, as deformações resultantes poderão ser recuperáveis ou não recuperáveis (Gupta et al., 1989; Lebert & Horn, 1991; Dias Junior & Pierce, 1996). Portanto, o uso da pressão de preconsolidação como um indicador da sustentabilidade da estrutura do solo se baseia no fato de que esta divide a curva de compressão do solo em duas regiões: uma de deformações elásticas e recuperáveis (portanto, não degradando a estrutura do solo) e uma região de deformações plásticas e não recuperáveis (região em que ocorre degradação estrutural) (Holtz & Kovacs, 1981; Dias Junior & Pierce, 1996).

De acordo com Römken & Miller (1971), a importância do conhecimento da pressão de preconsolidação é amplamente reconhecida por auxiliar na implementação de sistemas conservacionistas de manejo e por estar relacionada com a resistência do solo à penetração das raízes.

#### **2.4 Resistência dos solos à penetração**

A dependência entre a resistência do solo à penetração e a umidade tem sido estudada por diversos autores e vários modelos têm sido sugeridos e utilizados. Busscher et al. (1997) testaram diversos modelos e concluíram que funções exponenciais e de potência são as que melhor expressam as relações entre resistência do solo à penetração e umidade. Além da umidade, outros parâmetros, como a densidade do solo, a textura e o teor de matéria orgânica podem influenciar na resistência do solo à penetração (Vaz & Miranda, 2002). Dias Júnior et al. (2000) também recomendam que estudos dessa natureza devam vir acompanhados de uma modelagem matemática em que se relacione umidade do solo e resistência à penetração.

A resistência do solo à penetração pode ser avaliada pelo Índice de Cone, que é definido como a resistência do solo à penetração de uma ponta cônica, sendo expressa como força por unidade de área da base do cone até uma determinada profundidade. A análise de dados de Índice de Cone, em função do teor de água e da densidade do solo, permite equacionar a influência dessas variáveis sobre a resistência do solo à penetração. O incremento na densidade do solo e a diminuição no teor de água provocam aumento linear da resistência à penetração (Cunha et al., 2002).

Avaliando a relação entre a susceptibilidade à compactação e o suporte de carga com propriedades físicas de seis solos do sul do Brasil, Suzuki et al. (2008) encontraram que os valores de resistência à penetração ajustados pelo modelo que considera a umidade e a densidade do solo apresentaram relação

significativa com os valores obtidos em campo e que quanto maior a resistência do solo à penetração, menor sua deformação e maior capacidade de suporte de carga, embora isso não indique solos com qualidade física adequada para as culturas.

A utilização do ensaio de penetração ao cone para determinar a erodibilidade de solos foi proposta por Alcântara (1997). Segundo esse autor, a diferença de penetração em amostras saturadas e não saturadas apresentaria boa correlação com a erodibilidade. Bacellar (2000) demonstrou que a penetração na condição saturada mostrou-se mais eficaz que a diferença de penetração, para distinguir solos mais erodíveis. Conforme Bacellar (2000), a penetração saturada no ensaio penetrométrico constituiu um bom índice para caracterizar tênues diferenças na erodibilidade de solos de mesma natureza.

Em seu trabalho, Morais et al. (2004) indicaram haver uma tendência de os solos mais erodíveis serem mais expansíveis e menos resistentes à penetração saturada, confirmando resultados de trabalhos anteriores, como, por exemplo, Bacellar (2000). Alguns autores categorizaram a resistência à penetração de um solo, como pode ser visto na Tabela 1. Esta tabela apresenta as classes de resistência com sua respectiva resistência à penetração em kPa.

TABELA 1 Classes de resistência à penetração.

Classe	Resistência à penetração (kPa)
Extremamente baixa	<10
Muito baixa	10-100
Baixa	100-1000
Moderada	1000-2000
Alta	2000-4000
Muito alta	4000-8000
Extremamente alta	>8000

Fonte: Soil Survey Staff (1993)

A resistência à penetração do solo pode ser uma importante variável para determinar problemas de compactação do solo (Zisa et al., 1980). Ao analisar os dados da Tabela 2, observa-se que, com o aumento da densidade do solo aumenta a resistência à penetração do solo. De maneira semelhante, à medida que diminui a percentagem de macroporos há um incremento na resistência à penetração do solo.

TABELA 2 Distribuição de tamanhos de poros e resistência à penetração em tipos de solos com diferentes densidades naturais.

Densidade natural (g m <sup>3</sup> )	Tamanho de poro		Resistência à penetração (kPa)
	Macroporos (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Microporos (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
Franco-siltoso			
1,2	0,242	0,305	140
1,4	0,190	0,282	250
1,6	0,168	0,228	470
1,8	0,146	0,175	940
Franco-arenoso			
1,2	0,412	0,135	60
1,4	0,289	0,183	120
1,6	0,237	0,159	240
1,8	0,186	0,135	370

Fonte: Zisa et al. (1980).

## 2.5 Resistência ao cisalhamento dos solos

Nos solos, o cisalhamento é uma ruptura caracterizada por deslocamentos relativos entre partículas e a resistência dos solos a essa ruptura é chamada de resistência ao cisalhamento dos solos. Portanto, em solos nos quais as tensões cisalhantes superam a resistência ao cisalhamento ocorre a ruptura. Esforços devido ao peso próprio desse solo mais as forças externas aplicadas geram tensões em pontos no interior do solo. Os componentes dessas tensões podem ser normais ( $\sigma_n$ ), quando as tensões ocorrem na direção perpendicular ao

plano do solo ou cisalhantes ( $\tau$ ), quando a tensão ocorre nas direções paralelas ao plano do solo (Bastos, 2008), o que pode ser verificado na Figura 3.

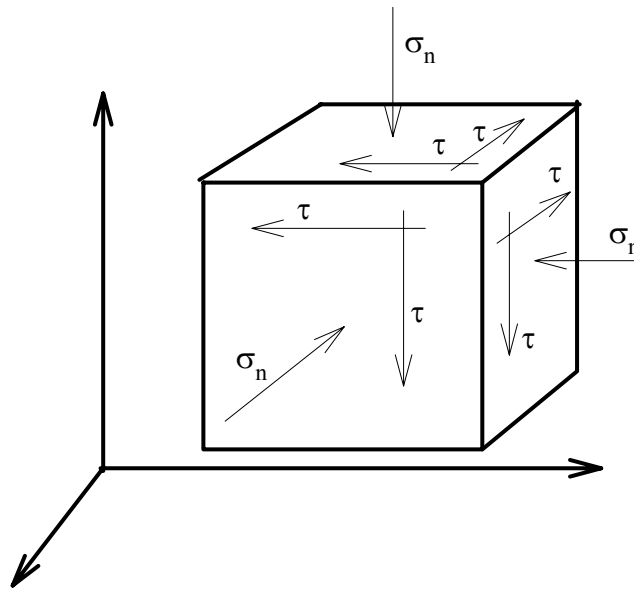


FIGURA 3 Componentes das tensões atuantes no solo, tensão normal ( $\sigma_n$ ) e tensão cisalhante ( $\tau$ ).  
Fonte: Bastos (2008)

O estudo geotécnico da erosão do solo deve, necessariamente, considerar a resistência ao cisalhamento do solo (Larios, 2008). O desprendimento das partículas está relacionado à superação da resistência pelo impacto da gota de chuva ou pela força de escoamento das enxurradas.

Para Griebeler et al. (2005), para se ter o correto dimensionamento do sistema de drenagem e do estabelecimento de medidas para o controle da erosão, é fundamental o conhecimento da capacidade resistiva do solo ao escoamento superficial, bem como as características deste escoamento. A tensão cisalhante é o principal fator, no que diz respeito ao escoamento, pois esta é provocada pelo escoamento. Bastos (1999) também considera que a tensão crítica de

cisalhamento dos solos pode ser entendida como a máxima tensão que pode ser aplicada ao solo sem que haja desprendimento de suas partículas, estando esta associada diretamente ao escoamento da água.

Portanto, os fatores de maior importância para a resistência do solo à erosão são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento. Bender (1985) pondera que a erosão é encarada como um problema de resistência ao cisalhamento, dada em função da coesão do solo na superfície, alterada durante a infiltração da água da chuva. Esta coesão depende do estado de tensões e da umidade no início da erosão. A grande vantagem na definição da resistência à erosão baseada na resistência ao cisalhamento é atribuída ao fato de que esta definição é correta, do ponto de vista físico e mecânico e é baseada em ensaios de mecânica dos solos.

Em seu trabalho, Misra & Teixeira (2001) verificaram que a concentração de sedimentos erodidos foi maior para solos com menores resistências ao cisalhamento. Entretanto, Rocha (2003) considera que este trabalho não elucidou bem quando os autores tentaram comparar a resistência ao cisalhamento do solo com os parâmetros de erodibilidade. A falha neste trabalho se deu pelo fato de os autores terem realizado o estudo da resistência ao cisalhamento do solo com diversas umidades, não tendo ocorrido o mesmo para o estudo da erodibilidade.

Trabalhando com a resistência ao cisalhamento em voçorocas em solos com diferentes graus de intemperismo na região de Lavras, MG, Rocha (2003) verificou que há um aumento da resistência ao cisalhamento com o aumento da quantidade de areia e isso é devido à capacidade dessas partículas de se rearranjarem de maneira mais densa, quando submetidas a esforços externos, conferindo maiores densidades aos solos (Dias Júnior & Miranda, 2000), e isso gera maior atrito entre as partículas e aumenta a resistência ao cisalhamento do solo. Rocha (2003) também concluiu que as envoltórias de resistência ao

cisalhamento é uma característica intrínseca de cada classe de solo, pois estas envoltórias foram estatisticamente diferentes entre os solos estudados. O autor também observou que, para uma condição de solo em estado mais jovem de desenvolvimento, como é o caso do Cambissolo, a resistência ao cisalhamento dos solos é baixa, e solos que apresentam maiores valores de  $K_i$  e  $K_r$  e maiores teores de silte, podem apresentar menor grau de estruturação, com consequente redução do contato entre as partículas e menores forças de atrito atuantes sobre este solo. Já para os Latossolos, que são solos mais intemperizados, o contrário foi observado, ou seja, à medida que há redução de  $K_i$  e  $K_r$ , há também redução nos valores de resistência ao cisalhamento. E finalizou ressaltando que estruturas em blocos condicionam maior resistência ao cisalhamento aos solos, em condições iguais de umidade, do que aqueles solos de estrutura granular.

A umidade e o teor de matéria orgânica podem influenciar na resistência ao cisalhamento do solo, de forma que, para determinados valores de umidade, a matéria orgânica tende a reduzir a resistência ao cisalhamento, em função da menor densidade do solo conferida por esta, reduzindo, com isso, o contato entre as partículas (Sidorchuk, 2002). Foi observado por Silva (2002) que as envoltórias de resistência ao cisalhamento diferiram conforme a umidade. De uma maneira geral, a resistência ao cisalhamento aumentou com a tensão normal e diminuiu com o aumento na umidade.

Segundo Gusmão & Pfeiffer (2008), dependendo do ambiente, o solo com alto teor de matéria orgânica possui baixa resistência ao cisalhamento e elevada compressibilidade, pois está sujeito à redução de volume devido ao rápido processo de degradação da matéria orgânica. Por outro lado, a matéria orgânica, dependendo da umidade, poderá promover melhor ambiente para um elevado desenvolvimento radicular das plantas, devido a uma melhor estruturação do solo, o que certamente influenciará no aumento da resistência deste solo ao cisalhamento. Silva (2002) também relata que, em ambiente com

maiores teores de matéria orgânica associados a um modelo de agregação do solo e ao mecanismo de emaranhamento, ocasionado pelo excesso de raízes e pela presença de ligações físico-químicas presentes, ocorre maior agregação e, por conseguinte, maior resistência mecânica do solo. Desse modo, a resistência ao cisalhamento dos solos é importante na caracterização das alterações da estrutura do solo (Servadio et al., 2001).

Bastos (1999) propôs que a erodibilidade e a resistência ao cisalhamento, em particular para solos tropicais, estão intimamente relacionadas. Muitas vezes, esta relação não é expressa diretamente, mas sim por meio de diferentes fatores (cimentação, macroestrutura de origem pedológica ou geológica e potencial de água) que governam a resistência ao cisalhamento dos solos de clima tropical e subtropical não saturado (lateríticos e saprolíticos); que são os mesmos que influenciam na erodibilidade desses materiais. A estrutura e o potencial de água não só influenciam a erodibilidade dos solos tropicais como também governam a condutividade hidráulica destes solos e, assim, os fatores hidrológicos da erosão.

A resistência ao cisalhamento do solo pode também ser utilizada como um indicador de compactação do solo (Schjonning, 1991). Em geral, os solos mais compactados apresentam maior resistência ao cisalhamento (Azevedo, 1999) devido à maior proximidade entre as partículas, o que confere, conseqüentemente, menor índice de vazios. Portanto, modelos baseados na resistência ao cisalhamento do solo podem ser elaborados na previsão da capacidade suporte de cargas do solo, uma vez que análises de tensões/deformações podem ser obtidas com este tipo de estudo.

Trabalhando na estimativa e na avaliação de propriedades dinâmicas como indicador de mudanças na estrutura do solo no cultivo de cana-de-açúcar, Silva et al. (2009) verificaram que as pressões de preconsolidação e a resistência ao cisalhamento mostraram ser eficientes para avaliar as alterações da estrutura



do solo, evidenciando que estas propriedades dinâmicas do solo podem ser utilizadas como indicadores do impacto do manejo sobre a estrutura.

## **2.6 Erosão e erodibilidade**

A erosão acentuada do solo consiste em um dos principais problemas ambientais causados pela atividade agrícola. Em regiões tropicais, a erosão hídrica tem grande importância, contribuindo para a degradação dos solos, ocasionando a perda de sua camada mais fértil (Bertoni & Lombardi Neto, 1990), transportando partículas através das encostas até os cursos d'água e causando assoreamento dos mesmos (Correchel, 2003). Vale ressaltar, ainda, que a habilidade em prever os impactos da erosão devido aos vários usos do solo e práticas de manejo permite aos agricultores selecionar e adotar alternativas de manejo que possibilitem diminuir ou amenizar a erosão do solo (Correchel, 2003).

Para Salomão (2006), as queimadas, quando praticadas em larga escala, retiram os nutrientes do solo, desprotegendo e diminuindo sua fertilidade e predispondo à erosão. Para Gomes (2006), a erosão do solo constitui uma das principais causas visíveis de degradação, com grande distribuição espacial em todo o planeta, tornando-se, assim, um dos mais sérios problemas ecológicos da atualidade.

A erosão acelerada dos solos é um problema global e, apesar da dificuldade de se calcular com precisão as perdas de solo, sabe-se que a magnitude dessas perdas tem causado sérias consequências econômicas e ambientais (Lal, 2003). A determinação do risco de erosão e a previsão da perda de solo são subsídios importantes para o planejamento ambiental e agrícola de uma região (Lima et al., 1992).

Para Silva (1990), o Brasil tem necessidade urgente de pesquisas que possam fornecer maiores informações sobre o tema, como início de uma

tentativa de reverter, ou ao menos estabilizar, o processo de degradação dos solos. Particularmente, são necessários estudos sobre a erodibilidade do solo que viabilizem a implantação de práticas de conservação, mapeamento hidrográfico das microbacias, eliminação e/ ou substituição das práticas extrativistas de exploração do solo por sistemas de produção sustentáveis, que tenham como meta o correto manejo e a conservação do solo. As pesquisas sobre erosão têm a finalidade de medir a influência dos diferentes fatores determinantes desse processo, possibilitando estimar as perdas de solo e selecionar práticas que reduzam essas perdas ao mínimo. Porém, a determinação das perdas de solo por erosão por meio de métodos diretos é onerosa e requer um longo tempo, sendo as principais causas do crescente interesse dos pesquisadores pelos métodos de predição da erosão (Foster et al., 1985).

Dentre os métodos de predição, tem-se a equação universal de perdas de solo (EUPS), proposta por Wischmeier & Smith (1978), que leva em consideração a ação os principais fatores que influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, a qual trata o assunto de modo mais dinâmico, por superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter aplicação generalizada (Silva, R. et al., 2003):

$$PS = R' \times K' \times L' \times S' \times C' \times P' \quad (1)$$

em que

PS = perda de solo, em  $t \text{ ha}^{-1}$ ;

R' = erosividade: Índice de erosão causada pela chuva,  $\text{MJ mm (h ha)}^{-1}$ ;

K' = erodibilidade: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em  $t (\text{ha MJ mm})^{-1}$ ;

L' = comprimento do declive: relação de perdas de solo entre o comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S' = (grau de declive) relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C' = uso e manejo: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto;

P' = práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas, quando se planta morro abaixo. São utilizadas tabelas referentes às práticas conservacionistas.

Os fatores R', K', L' e S' dependem das características naturais, enquanto o C' e o P' estão relacionados com as formas de ocupação e uso da terra. Portanto, as mudanças na forma de atuação dos primeiros dependem de alterações ambientais, como mudanças climáticas ou erosões importantes que possam alterar a topografia, por exemplo. Porém, C' e P' podem ser alterados por ações de uso e de conservação dos solos (São Paulo, 1989).

A erodibilidade, conforme Bastos (1999), pode ser definida como a propriedade do solo que expressa a maior ou a menor facilidade com que suas partículas são desprendidas por um agente erosivo, correspondendo à quantidade de solo desprendido por unidade de área, tempo e tensão aplicada. Continua afirmando que a erodibilidade é uma das características mais complexas do solo, em virtude do grande número de fatores físicos, químicos, biológicos e mecânicos envolvidos.

As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, bem como as que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento. Portanto, fatores como permeabilidade, infiltração e grau de cisalhamento condicionam o grau de erodibilidade (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A tensão crítica de cisalhamento é um parâmetro importante na resistência do solo à erosão e, portanto, diretamente relacionado com a erodibilidade do solo. Os fatores de maior importância para a resistência do solo à erosão são a erodibilidade e a tensão crítica de cisalhamento. A resistência à

penetração ou a compactação do solo também constituem fatores de muita relevância. A grande vantagem na definição da resistência à erosão baseada na resistência ao cisalhamento é atribuída ao fato de que ela é correta, do ponto de vista físico e mecânico e baseada em ensaios de mecânica dos solos. O agente de erosão mais importante é a água e a ação do homem que mais contribui para a ocorrência desse processo é o desmatamento. A água, ao escoar pela superfície do solo sem cobertura, arrasta sua camada superficial. O vento também causa erosão, por meio da abrasão provocada pelas partículas de areia que carrega (Mota, 1997). Rocha (2003) afirma que estudos mais completos de avaliação dos parâmetros da resistência ao cisalhamento do solo ainda necessitam ser realizados. Esforços no entendimento e na quantificação do potencial à erosão por meio de propriedades do comportamento estabelecidas pela mecânica dos solos ainda são insuficientes (Bastos et al., 1998).

Os índices de resistência têm sido empregados na caracterização da erodibilidade dos solos porque são mais facilmente e rapidamente obtidos do que os próprios parâmetros da erodibilidade. Além disso, esses parâmetros podem ser medidos em profundidade e estão intimamente relacionados à grande maioria dos fatores que afetam a erodibilidade (Hanson, 1996). Segundo o autor, como a resistência à erosão é oferecida pelas forças de ligação entre as partículas do solo e outros materiais na sua matriz, manifestada na sua resistência ao cisalhamento, esta última propriedade pode, em teoria, caracterizar diretamente a erodibilidade dos solos. Entretanto, alerta que evidências experimentais neste sentido são limitadas. Segundo Denardin (1990), no Brasil, a erodibilidade do solo é o parâmetro de maior custo e morosidade para determinação, tendo em vista a extensão do território e a diversidade de solos no país.

## **2.7 Vale do Ribeira**

O Vale do Ribeira é patrimônio natural, socioambiental e cultural da humanidade, título conferido, em 1999, pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO). Esta região detém a maior parcela remanescente contínua da Mata Atlântica e de ecossistemas associados do país, concentrando 40% das unidades de conservação do estado de São Paulo e reconhecida, pela UNESCO, como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Porém, trata-se de uma região cujos índices de desenvolvimento humano contrastam com a exuberância natural. Apresenta elevado índice de mortalidade infantil, é área de incidência endêmica de doenças, como a leishmaniose, apresenta alto índice de desemprego e a mais baixa renda per capita do estado de São Paulo (Romão, 2006).

O Vale do Ribeira localiza-se no sudeste do estado de São Paulo, fazendo fronteira com o estado do Paraná, entre as latitudes 23°30' e 25°30' S e longitudes 46°50' e 50°00' O. Sua extensão é de 260 km e tem 140 km de costa para o oceano Atlântico. Abrange 32 municípios e abriga mais de 2,1 milhões de hectares de florestas, 150 mil de restingas e 17 mil de manguezais.

Conforme dados da SOS Mata Atlântica, a bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape e o complexo estuarino lagunar de Iguape, Cananeia e Paranaguá, denominada Vale do Ribeira, possui área de 2.830.666 hectares (28.306 km<sup>2</sup>), sendo 1.119.133 hectares no estado do Paraná e 1.711.533 hectares no estado de São Paulo. Treze sub-bacias formam a bacia hidrográfica do rio Ribeira.

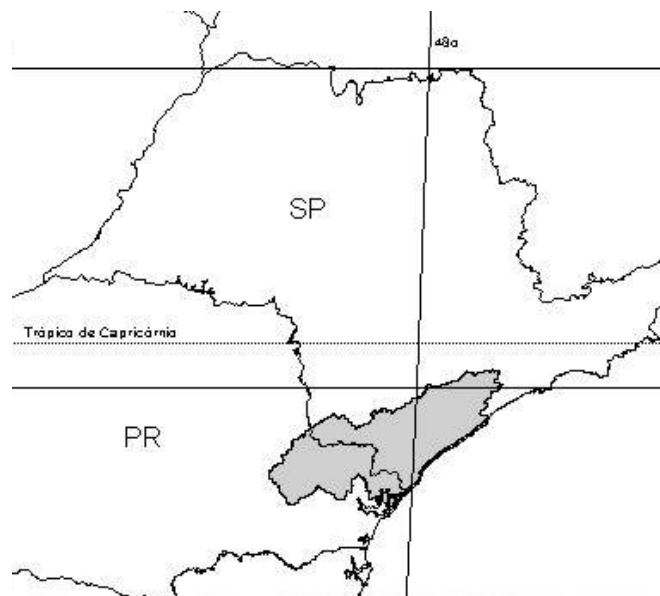


FIGURA 4 Mapa da região do Vale do Ribeira nos estados de São Paulo e Paraná.  
 Fonte: Socioambiental (2010)

Esta região pertence ao domínio de duas unidades geotectônicas, o Maciço Mediano de Joinville e a Faixa de Dobramentos Apiaí (Hasui et al., 1980), as quais correspondem à parte dos blocos São Paulo e Vitória (Hasui, 1986), respectivamente. O Maciço Mediano de Joinville representa as rochas da base e constitui o Complexo Costeiro (Hasui, 1981) e o Complexo Apiaí-Mirim (Hasui, 1986), enquanto a Faixa de Dobramentos Apiaí contém as rochas supracrustais, sobrepondo-se este segundo complexo (Silva, R., 1997).

A região do Vale do Ribeira encontra-se sobre o flanco sudeste da serra de Paranapiacaba e é dividida em três partes: alto, médio e baixo vale. O Alto Ribeira caracteriza-se por ser uma região de planaltos e corredeiras, desenvolvendo grande capacidade erosiva e de transporte. São frequentes as quebras verticais nos cursos d'água (cachoeiras) em zonas de contato entre litologias de diferentes resistências à erosão (Camargo et al., 1987). Segundo

Ross & Moroz (1997), o Alto Ribeira é considerado um dos relevos mais complexos do Brasil, em virtude de sua grande diversidade lito-estrutural. Os ciclos erosivos mais recentes entalharam profundamente a região, formando vales encaixados, profundos e estreitos, com vertentes íngremes.

O Médio Vale do Ribeira caracteriza-se pela presença de planaltos e vales. Por ser uma unidade de relevo com formas muito dissecadas, os vales são bem entalhados e a drenagem é de alta densidade. Apresenta alto nível de fragilidade, estando, portanto, sujeita aos processos erosivos lineares e com grande probabilidade de ocorrência de movimentos de massas.

A Depressão do Baixo Ribeira pertence à Bacia Sedimentar do Baixo Ribeira (Formação Pariquera-Açu). Localiza-se entre o Planalto do Rio Ribeira, a Escarpa/Serra do Mar e a Planície Litorânea de Iguape-Cananeia. Nesta unidade predominam formas de relevo denudacionais, cujo modelado constituiu-se, basicamente, por colinas e patamares aplainados, com entalhamento dos vales variando de 20 a 40m e dimensão interfluvial, oscilando de menos de 250 até 3.750 m. Segundo Ross & Moroz (1997), a litologia dessa unidade morfológica é basicamente constituída por sedimentos semiconsolidados da Formação Pariquera-Açu, destacando-se areias finas, argilas e cascalhos.

De acordo com Karmann (1994), no levantamento de reconhecimento e detalhes dos solos da região, predominam latossolos, argissolos, cambissolos, solos orgânicos, gleisados e aluvias. Nas porções de relevo intermediário predominam os solos bruno-não-cálcicos. Na região leste, os solos são bastante diversificados, encontrando-se solos bruno-não-cálcicos, litólicos e solos salinos; porém, no litoral, ocorrem latossolos e argissolos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape, onde está localizado o rio Ribeira de Iguape e afluentes, incluso no município de Registro, latitude de 24°26' Sul, longitude 47°49' Oeste e altitude em torno de 25 m (Figura 5). Definiu-se, como área experimental, a área de proteção permanente (APP) localizada lateralmente ao rio Ribeira de Iguape, definida com o auxílio de imagens de fotografias aéreas e de satélites, mapa de solos e o uso da ferramenta do índice de vegetação da diferença normalizada NDVI (Bendini & Silva, 2009).



FIGURA 5 Parte da sub-bacia Ribeira de Iguape, com aproximação para a área de estudo, município de Registro, SP.



O solo da área experimental, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2006), é classificado como Cambissolo Tb Eutrófico A moderado. O clima da região, de acordo Köppen, é o Af, tropical úmido, com transição para o Cfa, sem estação seca definida, com temperatura média anual de 21°C, aproximadamente e precipitação pluvial média anual de 1.700 mm.

### **3.2 Arranjo experimental, amostragem e coleta de dados**

Foram delimitados na área experimental, para efeito de comparação (Figura 6), quatro tratamentos, com os seguintes usos: a) cultivo de banana (CBAN), b) pastagem degradada (PDEG), c) uso silvipastoril (MPIS) e d) mata nativa (MNAT) como referencial, sobre o mesmo solo, próximo à área experimental. Em cada uso a amostragem foi realizada em malha irregular, totalizando 20 pontos. Portanto, cada uso apresentou 20 repetições, com exceção da mata nativa, onde se coletou apenas em 3 pontos.

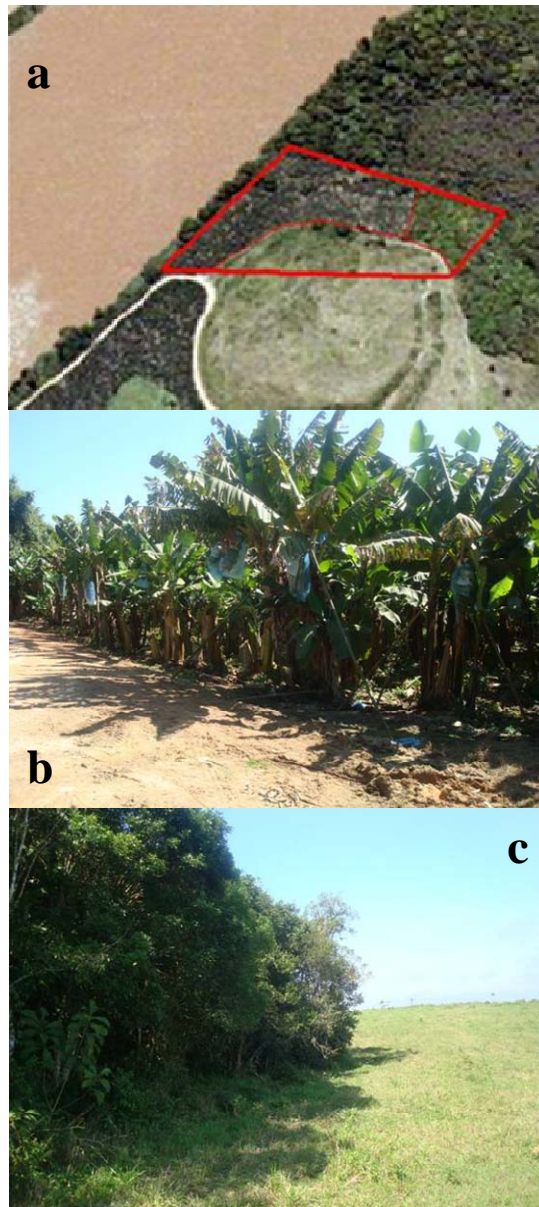


FIGURA 6 Vista aérea da área experimental (a), área de cultivo de banana (b) e a área de pastagem e uso silvipastoril (c).

Dependendo do atributo, a coleta em cada ponto foi deformada e ou indeformada. As avaliações *in situ*, como o ensaio de resistência do solo à penetração, de resistência ao cisalhamento e do teor de água atual, foram realizadas de forma expedita.

Para a coleta das amostras indeformadas, isto é, não perturbadas, foi utilizado o amostrador Uhland com anel volumétrico (69,7 mm de diâmetro e 25 mm de altura). Depois de cravados e extraídos do solo, as amostras foram devidamente embaladas com papel filme e parafina e encaminhadas ao laboratório. As amostras deformadas foram coletadas com o auxílio de um trado holandês e acondicionadas em sacos plásticos. As análises foram realizadas no Laboratório de Física e Mecânica do Solo da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus experimental de Registro e no Laboratório de Física do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

### **3.3 Atributos caracterizados**

#### **3.3.1 Atributos físico-hídricos**

A textura foi determinada pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se solução de NaOH como dispersante químico e agitação rápida de 6.000 rpm, por 20 minutos. A argila dispersa em água (ADA) foi determinada também pelo método da pipeta, sem o acréscimo da solução de NaOH, determinando-se o índice de floculação (IF) com base na seguinte expressão (EMBRAPA, 1997):

$$IF = ((A - ADA) A^{-1}) 100 \quad (2)$$

em que

IF: índice de floculação (%);

A: argila total ( $g\ kg^{-1}$ );

ADA: argila dispersa em água ( $g\ kg^{-1}$ ).

A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento em água, com um jogo de peneiras de 2, 1, 0,5, 0,25 e 0,105 mm, sendo determinados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados. O DMP foi obtido segundo proposições de Castro Filho et al. (1998) e o DMG, de acordo com Shaller & Stockinger (1953). A densidade do solo (Ds) foi determinada de acordo com a EMBRAPA (1997), pelo método do anel volumétrico.

A porosidade total (PT), bem como a macroporosidade, a microporosidade e o total de poros bloqueados, foi determinada conforme os procedimentos da EMBRAPA (1997). A umidade do solo atual foi determinada a cada coleta, *in situ*, utilizando-se um sensor o umidade ML2X da Delta-T Devices Ltda. (Figura 7).



FIGURA 7 Sensor o umidade ML2X da Delta-T Devices Ltda.

O índice de estabilidade (IE) indica o nível de matéria orgânica requerido para manter a estrutura e é obtido com base na expressão de Pieri (1992):

$$IE = (1,72 CO (A + S)^{-1}) 100 \quad (3)$$

em que

IE: índice de estabilidade (%);

A: teor de argila (%);

S: teor de silte (%);

CO: teor de carbono orgânico (%).

### 3.3.2 Atributos mecânicos

A avaliação da sustentabilidade estrutural do solo foi feita por meio do ensaio de compressão uniaxial em quatro etapas distintas: coleta de amostras de corpo-de-prova indeformada, ensaio de compressão uniaxial da amostra em laboratório, determinação da pressão de preconsolidação e ajuste dos modelos. Em laboratório, as amostras foram saturadas por capilaridade com água destilada e equilibradas a 13% de umidade (baixa umidade) e na tensão de 4 kPa (alta umidade). Estas umidades foram escolhidas buscando simular o comportamento do solo nas épocas mais secas e nas épocas mais úmidas, comuns na região de estudo. Posteriormente, as amostras foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial em um consolidômetro automático com interação homem máquina (IHM), modelo CNTA-IHM/BR-001/07 (Figura 8), desenvolvido por Silva et al. (2007). Os níveis de pressão aplicados ao corpo-de-prova foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa, observando-se a pressuposição de Taylor (1948), que define a deformação máxima de até 90% do corpo-de-prova, para cada nível de pressão. Esta operação foi feita automaticamente pelo equipamento, previamente configurado pelo usuário, permitiu a programação do tempo, níveis de pressão e a deformação máxima a ser alcançada pelo corpo-de-prova (Silva et al., 2007) (Figura 9).

Por meio do software CA LINKER, desenvolvido por Silva & Masquetto (2009), os valores de pressão e deformação foram devidamente tratados e plotados em um gráfico, obtendo-se, assim, a curva de compressão do solo (densidade do solo em função do logaritmo das pressões aplicadas). A partir da curva de compressão, foi estimada a  $\sigma_p$ , observando a sugestão dos métodos M1 e M3, propostos por Dias Júnior & Pierce (1995) (Figura 10).

Para a elaboração dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo, os valores de  $\sigma_p$  foram plotados em função da umidade volumétrica ( $\theta$ ) a que cada amostra foi submetida e, posteriormente, ajustados ao modelo  $\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$ , proposto por Dias Júnior (1994). A partir desse modelo foi possível prever a pressão máxima que o solo pode suportar em função da umidade, sem que o mesmo venha a sofrer compactação adicional. Para a elaboração deste modelo, foram utilizadas 15 amostras de solo, coletadas na área de mata nativa.

A pressão de preconsolidação é considerada, por Dias Júnior (1994), como um indicativo da máxima pressão aplicada ao solo no passado e um indicador de suscetibilidade do solo à compactação. Para isso, o modelo obtido foi dividido em três “regiões”, para se analisar a eventual compactação. Pontos na região “a” indicam que há compactação adicional; na região “b”, indicam que não ocorreu compactação adicional do solo, porém, há uma tendência de que venha a ocorrer se não for respeitada a capacidade de suporte de carga do solo, e na região “c” indicam ausência de compactação do solo (Figura 11).



FIGURA 8 Consolidômetro automático com IHM Modelo CNTA-IHM/BR-001/07.  
 Fonte: Silva & Masquetto (2009)

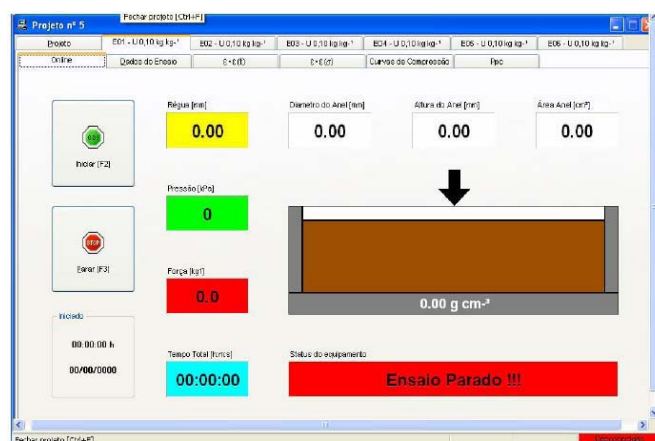


FIGURA 9 Informações do ensaio online, permitindo o monitoramento dos parâmetros deslocamento vertical, pressão e força aplicadas na amostra, tempo de consolidação e a densidade referente a  $\sigma_p$ , todos em tempo real.  
 Fonte: Silva & Masquetto (2009)

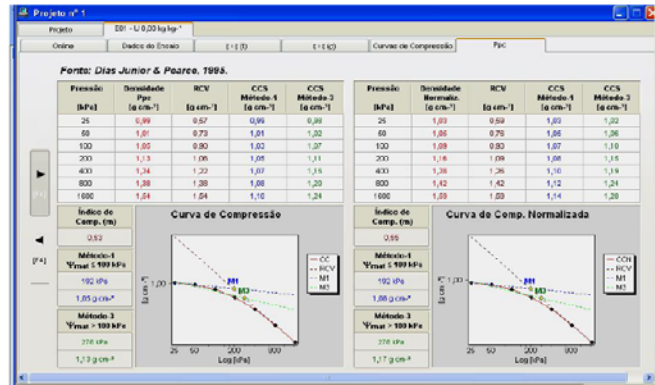


FIGURA 10 Informações de um ensaio, exibindo a curva de compressão do solo e estimativas da  $\sigma_p$ , densidade do solo ( $D_s$ ) referente a  $\sigma_p$  e o índice de compressão ( $m$ ), conforme sugestão de Dias Júnior & Pierce (1995).

Fonte: Silva & Masquetto (2009)

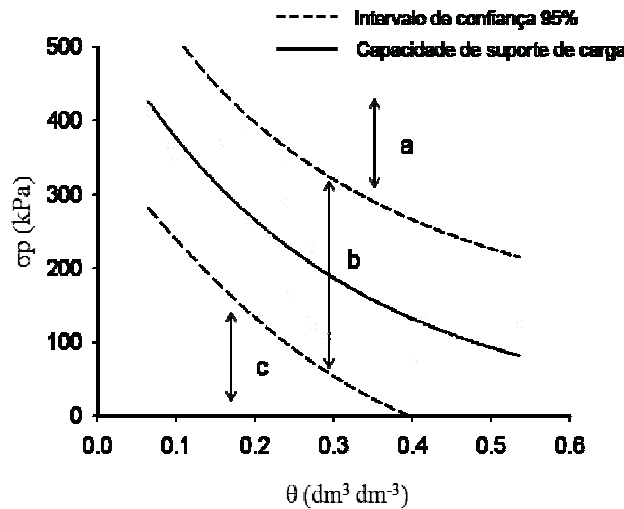


FIGURA 11 Modelo de capacidade de suporte de carga do solo, com as três “regiões” de análise da compactação. Região “a”: com compactação, “b”: sem compactação, mas com tendência a compactar e “c”: sem compactação.

Fonte: Dias Júnior et al. (2005).

A resistência ao cisalhamento do solo foi determinada pelo ensaio de palheta (Vane Test). Utilizou-se uma palheta de seção cruciforme, a qual foi



cravada no solo e submetida ao torque necessário para cisalhar o solo por rotação (Figura 12). Este ensaio possui metodologia normatizada pela NBR 10905/89 - Solo - Ensaio de palheta *in situ* (VT). Após a introdução da palheta no solo, na profundidade entre 0 e 5 cm, posicionou-se a unidade de torque e medição, zerou-se o instrumento e aplicou-se imediatamente o torque, com velocidade de 0,1 a 0,2 graus/segundo.



FIGURA 12 Resistência ao cisalhamento do solo pelo ensaio de palheta.

O ensaio de resistência do solo à penetração (RP) foi realizado com um medidor eletrônico de compactação do solo de esforço manual (Figura 13), denominado PLG1020, da Falker Automação Agrícola. O ensaio foi realizado até a profundidade de 40 cm, com o cone Tipo 2 – 12,83 mm (American Society of Agricultural Engineers - ASAE, 2000).



FIGURA 13 Ensaio de resistência do solo à penetração (RP), realizado com o penetroLOG – medidor eletrônico de compactação do solo.

### 3.3.3 Atributos hídricos

As curvas de retenção de água do solo para cada uso foram obtidas com base na metodologia de Freitas Júnior & Silva (1984), por meio de secagem. As amostras, depois de saturadas por 48 horas em água destilada, foram submetidas às tensões de 2, 4, 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa, até equilíbrio do teor de água. Os valores de umidade e potencial de água observados foram ajustados pela Equação 4 (Genuchten, 1980), por meio do programa SWRC (Soil Water Retention Curves), versão 3.0, para ajuste da curva de retenção de água proposto por Dourado Neto et al. (2001).

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [(1 + (\alpha' \cdot h)^n)]^{m'} \quad (4)$$

em que

$\theta$  = umidade volumétrica;

$\theta_s$  e  $\theta_r$  = umidade de saturação e residual;

$h$  = tensão, em cm, de coluna de água;

$\alpha'$ ,  $m'$  e  $n'$  = parâmetros de ajuste do modelo.

A capacidade de água disponível (CAD) foi determinada pela diferença do conteúdo de água referente aos potenciais matricial da capacidade de campo

(CC = 10 kPa) e o ponto de murcha permanente (PMP = 1500 kPa) (Reichardt, 1988).

### 3.3.4 Atributos de perda de solo

A susceptibilidade à erosão (erodibilidade), fator K' da EUPS, foi determinada utilizando-se das seguintes equações Wischmeier et al. (1971)

$$K_1 = \{[2,1 (10^{-4}) (12 - MO) M^{1,14} + 3,25 (E - 2) + 2,5 (Pe - 3)] / 100\} 0,1317(5)$$

Denardin (1990)

$$K_2 = 0,00000748 M + 0,00448059 Pe - 0,0631175 DMP + 0,010396 R \quad (6)$$

Roloff & Denardin (1994)

$$K_3 = 0,0049 Pe + 0,0331 Mm^{0,5} \quad (7)$$

em que

$$M = NS \times (NS + NA)$$

$$NS = S (\%) + AF (\%)$$

$$NA = AG (\%)$$

Pe = coeficiente de permeabilidade

Muito rápida = 1

Rápida = 2

Moderada = 3

Lenta = 4

Muito lenta = 5

Imperfeitamente drenado = 6

E = coeficiente de estrutura

Muito pequena = 1

Pequena granular = 2

Média a grande granular = 3

DMP = diâmetro médio ponderado dos agregados do solo

$$DMP = [(0,65 \times AG) + (0,15 \times AF) + (0,0117 \times S) + (0,00024 \times A)]/100$$

AG = teor de areia grossa (%)

AF = teor de areia fina (%)

S = teor de silte (%)

A = teor de argila (%)

$$R = NA \times MO/100$$

NA = teor de areia grossa (%)

$$MO = 1,724 \times CO$$

$$\text{CO} = \text{teor de carbono em \%}$$

$$\text{Mm} = \text{S (g g}^{-1}\text{)} \times (\text{S (g g}^{-1}\text{)} + \text{AF (g g}^{-1}\text{)})$$

### 3.3.5 Atributos químicos

Foram avaliados (Tabela 3) os teores de fósforo (P) – extrator Mehlich 1, potássio (K) – extrator Mehlich 1, magnésio (Mg), cálcio (Ca), soma de bases trocáveis (SB), índice de saturação de bases (V), fósforo remanescente (P-rem), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), pH em água, alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H+Al), índice de saturação de alumínio (m\*) e matéria orgânica do solo (MO), seguindo metodologia da EMBRAPA (1997).

TABELA 3 Complexo sortivo para mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm.

Variáveis	Usos			
	MNAT	MPIS	PDEG	CBAN
P (mg dm <sup>-3</sup> )	27,6 b <sup>[4]</sup>	5,9 b <sup>[1]</sup>	5,3 b <sup>[1]</sup>	320,6 a <sup>[5]</sup>
K (mg dm <sup>-3</sup> )	49,0 b <sup>[3]</sup>	47,4 b <sup>[3]</sup>	36,3 b <sup>[2]</sup>	142,3 a <sup>[5]</sup>
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,4 b <sup>[5]</sup>	2,7 b <sup>[5]</sup>	1,3 c <sup>[4]</sup>	5,3 a <sup>[5]</sup>
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,4 b <sup>[5]</sup>	2,1 c <sup>[3]</sup>	2,0 c <sup>[3]</sup>	10,0 a <sup>[5]</sup>
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,9 b <sup>[5]</sup>	4,8 c <sup>[4]</sup>	3,5 c <sup>[3]</sup>	15,7 a <sup>[5]</sup>
V (%)	86,5 a <sup>[5]</sup>	38,5 b <sup>[2]</sup>	36,0 b <sup>[2]</sup>	92,2 a <sup>[5]</sup>
P-rem (mg L <sup>-1</sup> )	34,8 b	30,7 b	31,6 b	43,8 a
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,9 b <sup>[5]</sup>	5,5 c <sup>[4]</sup>	4,2 c <sup>[3]</sup>	15,7 a <sup>[5]</sup>
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,6 b <sup>[4]</sup>	12,6 b <sup>[4]</sup>	10,1 b <sup>[4]</sup>	17,0 a <sup>[5]</sup>
pH	6,7 b <sup>[4]</sup>	5,2 c <sup>[3]</sup>	5,2 c <sup>[3]</sup>	7,4 a <sup>[5]</sup>
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,0 b <sup>[1]</sup>	0,7 a <sup>[3]</sup>	0,6 a <sup>[3]</sup>	0,0 b <sup>[1]</sup>
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,7 b <sup>[2]</sup>	7,8 a <sup>[4]</sup>	6,6 a <sup>[4]</sup>	1,3 b <sup>[2]</sup>
m* (%)	0,0 b <sup>[1]</sup>	15,3 a <sup>[2]</sup>	19,4 a <sup>[2]</sup>	0,0 b <sup>[1]</sup>

P: fósforo, K: potássio, Mg: magnésio, Ca: cálcio, SB: soma de bases trocáveis, V: índice de saturação de bases, P-rem: fósforo remanescente, t: capacidade de troca catiônica efetiva, T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0, Al: alumínio, H+Al: hidrogênio + alumínio e m\*: Índice de saturação de alumínio. Médias seguidas por mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Scott & Knott (1974), P<0,05. Médias de 20 repetições. Critérios para interpretação de

análises de solo para fins de avaliação da fertilidade do solo: <sup>[1]</sup> muito baixo, <sup>[2]</sup> baixo, <sup>[3]</sup> médio, <sup>[4]</sup> bom e <sup>[5]</sup> muito bom. Critérios de interpretação para a acidez ativa do solo – pH: <sup>[1]</sup> muito baixo, <sup>[2]</sup> baixo, <sup>[3]</sup> médio, <sup>[4]</sup> alto e <sup>[5]</sup> muito alto. Fonte: Ribeiro et al. (1999)

### **3.4 Sistematização e forma de análise dos resultados**

A sistematização dos dados foi feita por planilhas eletrônicas desenvolvidas especificamente para o estudo, as quais são compatíveis com softwares e sistemas operacionais existentes no mercado. Utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2000), os dados foram inicialmente avaliados pela análise de variância e teste F, considerando os tratamentos de uso do solo como fatores de variação. A comparação entre as médias, quando o valor de F foi significativo, foi feita pelo teste de Scott & Knott (1974), a 5%. Além do teste de Scott & Knott (1974), nos gráficos, optou-se por colocar a barra de erros do intervalo de confiança de 95%, por ser a mais adequada, segundo Paes (2008), quando se trata de fazer inferências sobre as médias. A construção de gráficos, diagramas e da estimativa da correlação de Pearson entre as variáveis (tabelas em anexo) foi realizada por meio da versão demonstrativa do aplicativo Sigma Plot 11.0 (Systat Software Inc).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos físicos

As médias de densidade de partículas (Dp), textura, argila dispersa em água (ADA) e índice de floculação (IF) para um Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN) estão apresentadas na Tabela 4. Não houve diferença entre os valores de Dp para os usos aqui estudados. Isso se deve ao fato de a Dp ser o resultado da relação entre a quantidade de massa de solo seco por unidade de volume de sólido do solo; portanto, não inclui a porosidade do solo e não varia com o uso ou manejo do solo. O solo estudado apresentou classe textural média.

TABELA 4 Médias de densidade de partículas, textura, argila dispersa em água e índice de floculação para um Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), no município de Registro, SP.

Variáveis	Usos			
	MNAT	MPIS	PDEG	CBAN
Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	2,68	2,56	2,60	2,65
A (g kg <sup>-1</sup> )	154	237	216	294
S (g kg <sup>-1</sup> )	345	122	146	317
AF (g kg <sup>-1</sup> )	496	186	212	232
AG (g kg <sup>-1</sup> )	5	455	426	157
AT (g kg <sup>-1</sup> )	501	641	638	389
ADA (g kg <sup>-1</sup> )	51 b	22 b	27 b	121 a
IF (%)	67 b	91a	88 a	59 b

Dp: densidade de partículas; A: argila; S: silte, AT: areia total; AG: areia grossa; AF: areia fina; ADA: argila dispersa em água e IF: índice de floculação. Médias seguidas por mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, P<0,05. Média de 20 repetições.

Com relação a ADA e IF, houve diferenças significativas entre os usos estudados. O CBAN apresentou o maior valor de ADA, sendo superior ao dos

outros três usos avaliados, que não diferiram entre si. Os maiores valores de ADA no CBAN indicam que esse uso predispõe mais o solo à compactação, devido ao melhor arranjo da massa do solo (Silva, A., 1997). Os maiores valores de IF foram encontrados no uso PDEG e MPIS, sugerindo que estas áreas estão em processo mais avançado de manutenção da estrutura dos solos, já que a flocculação é a primeira condição para a formação dos agregados.

Na Figura 14 estão apresentados os valores médios de macroporosidade e microporosidade, numa profundidade de 0 a 5 cm. Na Figura 15 estão apresentados os valores médios de porosidade total (PT) calculada e determinada e poros bloqueados à profundidade de 0 a 5 cm. A macroporosidade dos solos nos usos MNAT e MPIS diferiu dos usos PDEG e CBAN. O valor da macroporosidade na MNAT ficou entre os valores considerados críticos por Cocroft & Olsson (1997) de 0,10 a 0,15 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e nos outros usos ficaram inferiores a estes valores, podendo, segundo os mesmos autores, este solo apresentar problemas de aeração do solo. Esses baixos valores de macroporosidade podem representar maior resistência do solo à penetração, bem como uma menor infiltração de água no solo.

Para a microporosidade, a MNAT e o CBAN apresentaram os maiores valores, em comparação a MPIS e PDEG. Os valores altos de microporosidade e baixos para macroporosidade indicam haver problema de compactação. Isso ocorre sempre que há um aumento da microporosidade em detrimento da redução da macroporosidade. A quantidade de microporos diminui com o aumento do IF ( $r = - 0,52$ ,  $p < 0,01$ ), areia total ( $r = - 0,63$ ,  $p < 0,01$ ) e areia grossa ( $r = - 0,63$ ,  $p < 0,01$ ). Porém, com ADA ( $r = 0,50$ ,  $p < 0,01$ ), argila ( $r = 0,32$ ,  $p < 0,01$ ) e o silte ( $r = - 0,35$ ,  $p < 0,01$ ), o contrário foi observado, tendo o aumento desses atributos condicionado o aumento da microporosidade.

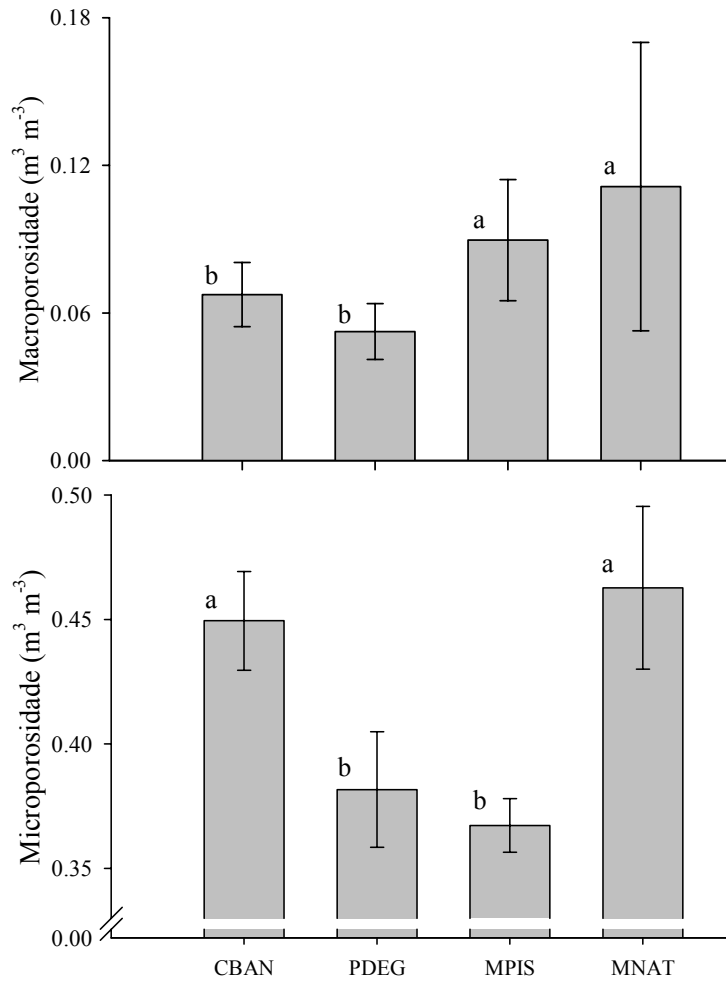


FIGURA 14 Macroporosidade e microporosidade para mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN) à profundidade de 0 a 5 cm. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.



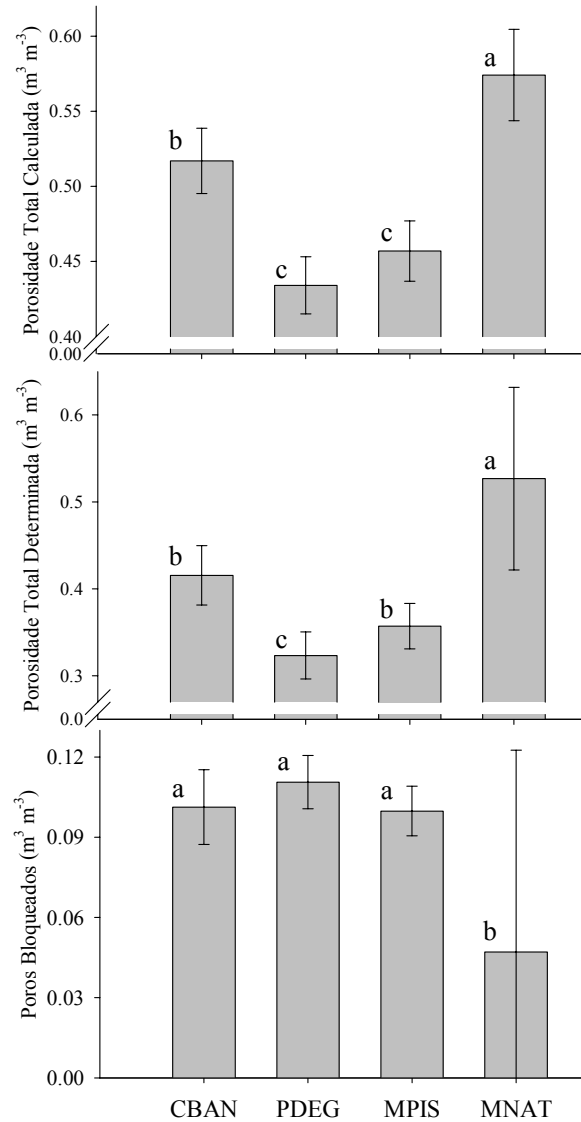


FIGURA 15 Porosidade total – calculada e determinada e poros bloqueados para mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN) à profundidade de 0 a 5 cm. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

Na Figura 16 são apresentados os valores médios da densidade do solo para a área de mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm. A área I da figura (valores  $<0,9 \text{ Mg m}^{-3}$ ) representa a densidade que indica contato insuficiente entre o sistema radicular e o solo e baixa retenção de água. A densidade na região III (valores  $>1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ ) pode indicar impedimento radicular e reduzida aeração no solo (Reynolds et al., 2007). A faixa II (valores entre  $0,9$  e  $1,2 \text{ Mg m}^{-3}$ ) pode ser considerada como de valores ótimos para a densidade do solo (Reynolds et al., 2007).

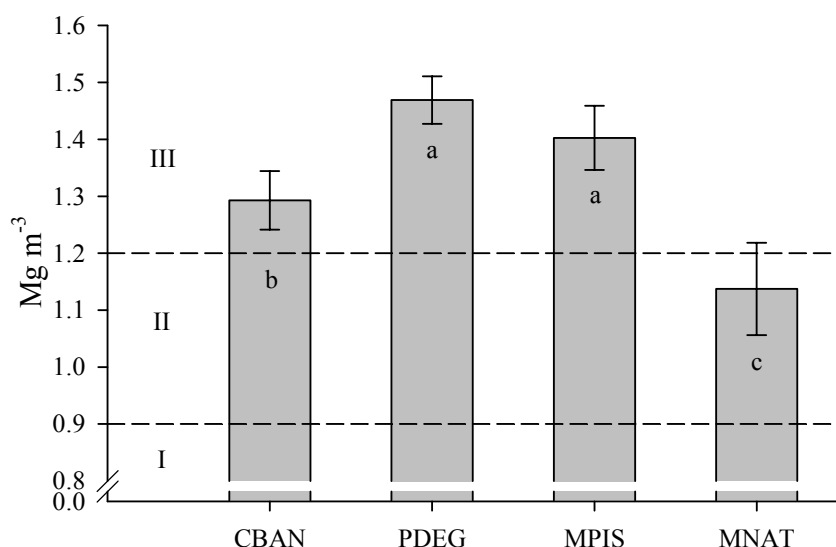


FIGURA 16 Densidade do solo inicial para mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

A porosidade total (Figura 15) e a densidade do solo (Figura 16) demonstram haver variação significativa entre as áreas avaliadas, na

profundidade de 0 a 5 cm. Tendo como referência o solo sob MNAT, verifica-se que os valores mais altos para a Ds e, conseqüentemente, mais baixos para PT foram registrados nas áreas sob PDEG e MPIS. Os valores mais elevados de Ds registrados nessas áreas (PDEG e MPIS) são resultantes do intenso pisoteio dos animais. Estes resultados estão de acordo com Kondo & Dias Júnior (1999), que demonstraram que o efeito do pisoteio do gado em pastagens ocorre, principalmente, nos primeiros centímetros do solo, cerca de 0–3 cm. Os valores de Ds para o CBAN, apesar de serem estatisticamente diferentes a PDEG e MPIS, também estão compreendidos na faixa III, a qual é considerada de alta Ds, podendo promover impedimentos físicos ao sistema radicular das plantas (Reynolds et al., 2007). Observou-se correlação entre a Ds e todas as frações granulométricas do solo, sendo positiva com areia ( $r = 0,65$ ,  $p < 0,01$ ), areia grossa ( $r = 0,69$ ,  $p < 0,01$ ) e IF ( $r = 0,46$ ,  $p < 0,01$ ) e negativa com argila ( $r = -0,45$ ,  $p < 0,01$ ), silte ( $r = -0,63$ ,  $p < 0,01$ ), areia fina ( $r = -0,33$ ,  $p < 0,01$ ) e ADA ( $r = -0,46$ ,  $p < 0,01$ ).

Nas Figuras 17 e 18 estão apresentados, respectivamente, os teores médios de matéria orgânica do solo (MO) e do índice de estabilidade (IE). O intervalo compreendido entre as linhas tracejadas de 30 a 50 g kg<sup>-1</sup> (Figura 17) é citado, na literatura, como sendo uma faixa ótima para a MO no solo (Craul, 1999). Somente o solo sob MNAT ficou abaixo desse intervalo, provavelmente devido ao equilíbrio em que este sistema se encontra. A MO é um dos atributos do solo que mais influenciam os indicadores do solo, sejam eles mecânicos, físicos e/ou hídricos. Porém, observou-se correlação apenas para alguns atributos do solo neste trabalho, sendo: ADA ( $r = -0,28$ ,  $p < 0,01$ ), IF ( $r = 0,40$ ,  $p < 0,01$ ), umidade de campo ( $r = -0,35$ ,  $p < 0,01$ ) e cisalhamento ( $r = 0,33$ ,  $p < 0,01$ ). O pH altera o balanço de cargas do solo, influenciando a agregação.

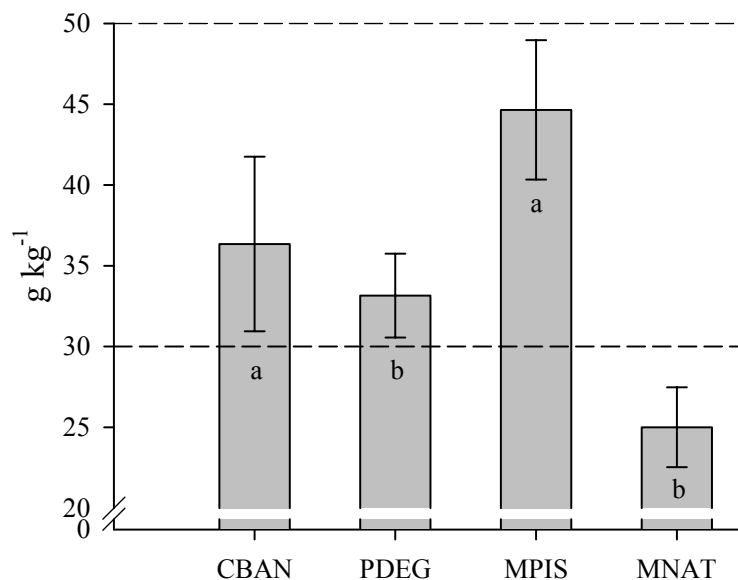


FIGURA 17 Teores de matéria orgânica num solo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

Para a Figura 18, a região (I) indica um solo estruturalmente degradado devido à sua intensa perda de matéria orgânica, (II) indica alto risco de degradação estrutural devido à quantidade insuficiente de matéria orgânica, (III) indica baixo risco de degradação estrutural e (IV) indica quantidade suficiente de matéria orgânica para manter o solo estruturalmente estável, adaptado de Pieri (1992). Igualmente ao teor de MO, o IE foi maior nos solos sob MPIS e isso se deve ao elevado teor de MO. O IE para o MPIS foi diferente da PDEG, porém, esses dois usos ficaram na faixa IV, indicando uma quantidade suficiente de matéria orgânica mantendo o solo estruturalmente estável. Os usos CBAN e MNAT não diferiram estatisticamente, embora o primeiro tenha ficado na faixa II e o segundo permanecendo na faixa I, em que o solo se apresenta

estruturalmente degradado, devido à sua intensa perda de matéria orgânica, conforme pode ser visto na Figura 17. Estes resultados também são explicados pelo fato de, no cálculo de IE, levar em consideração os teores de argila e silte, sendo, portanto, devido à variação granulométrica, além da MO, entre os usos. A ADA e o IF influenciaram o IE. Estes parâmetros apresentaram coeficientes de correlação classificados de moderados, segundo Santos (2007), sendo positiva entre IE e IF ( $r = 0,74$ ,  $p < 0,01$ ) e negativa entre IE e ADA ( $r = - 0,71$ ,  $p < 0,01$ ). O aumento da Ds também proporcionou o incremento do IE ( $r = 0,39$ ,  $p < 0,01$ ). Estes resultados de IE indicam que a mata está sendo mantida no lugar correto, já que este solo sob a mata está, de certa forma, sendo preservado.

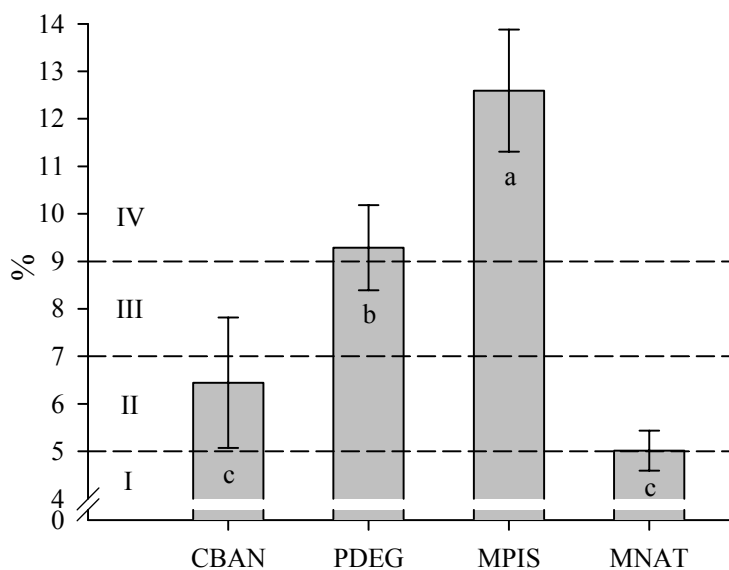


FIGURA 18 Índice de estabilidade num Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

Os valores médios do diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) são apresentados na Figura 19. Foram observados altos valores, tanto para DMG quanto para DMP, em todos os usos (CBAN, PDEG e MPIS), analisados em comparação à MNAT. Essa maior estabilidade de agregados em água para os usos se deve ao alto teor de matéria orgânica encontrado (Figura 17). Todos os usos ficaram compreendidos na faixa ótima para a MO no solo (Craul, 1999), menos os solos da MNAT. O IF (Tabela 4) encontrado de 91% e 88%, para MPIS e PDEG, respectivamente, pode explicar os altos valores na estabilidade de agregados encontrados e também o baixo valor de DMG e DMP, para a MNAT (IF = 67%), porém, para o CBAN, que apresentou elevado valor de DMG e DMP, o grau de floculação (IF = 59%) não explicaria o fenômeno. Albuquerque et al. (2005) explicam que os processos envolvidos na floculação de partículas e na estabilização de macroagregados podem ser diferentes, ou seja, o que beneficia o grau de floculação pode não beneficiar a estabilidade de agregados. Além do mais este menor valor no DMG e DMP, em comparação aos outros usos, se dá pelo maior teor de argila nos outros usos que propiciam maior interação com a matéria orgânica. Os solos sob MNAT apresentaram elevados teores de silte que interagem pouco com a MO, explicando essa menor estabilidade.

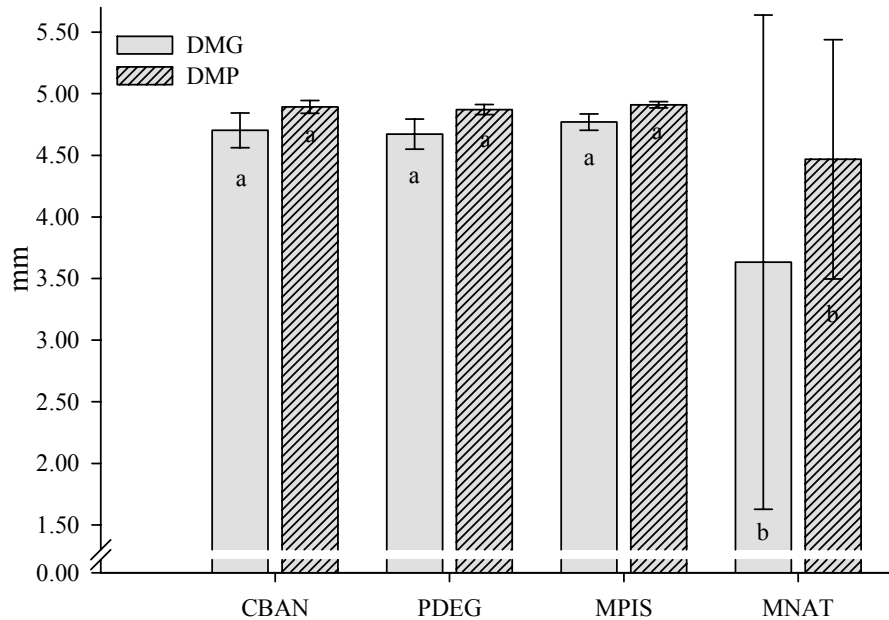


FIGURA 19 Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP), em um Cambissolo sob cultivo de banana, pasto degradado, uso silvipastoril e numa mata nativa, à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

#### 4.2 Atributos mecânicos

O modelo de capacidade de suporte de carga, na profundidade 0 a 5 cm, para o solo sob mata nativa (referência), está representado na Figura 20. Esse modelo fornece a capacidade de suporte de carga do solo, em termos de pressão de preconsolidação, em função da umidade. Portanto, trata-se de uma estimativa da pressão máxima que pode ser aplicada ao solo para evitar que a compactação adicional ocorra. Houve correlação negativa entre a  $\sigma_p$  e a umidade ( $r = -0,83$ ;  $p < 0,00014$ ), ou seja, o aumento de umidade resulta no decréscimo da pressão de preconsolidação (Figura 20).

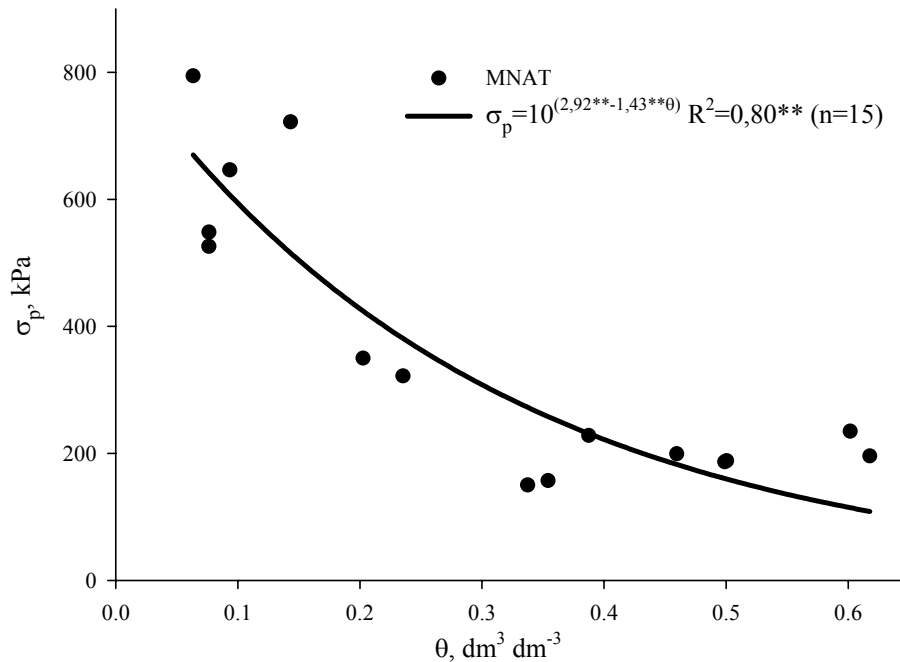


FIGURA 20 Modelo de capacidade de suporte de carga de um Cambissolo para a mata nativa (MNAT), à profundidade de 0 a 5 cm, em APP no município de Registro, SP.

Nos modelos de capacidade de suporte de carga (Figura 20) foram representados os valores das  $\sigma_p$  obtidas para os diferentes sistemas de uso estudados, segundo sugestão de Dias Junior et al. (1999). Nesta figura, além dos modelos de capacidade de suporte de carga, apresenta-se também o intervalo de confiança da população a 95%.

Atendendo sugestão de Dias Júnior et al. (1999), estão representados, na Figura 21, para MPIS, PDEG e CBAN, os valores de  $\sigma_p$  obtidos a partir de amostras indeformadas equilibradas a 4 kPa de tensão, na profundidade de 0 a 5 cm. A tensão de 4 kPa foi escolhida a fim de se conhecer o comportamento do solo nas épocas mais úmidas, comuns na região de estudo, ou seja, o teor de água está acima da capacidade de campo. Para Baver et al. (1972), a



compactação máxima ocorre quando os solos estão nessa condição de umidade, que diminui a coesão e eleva a lubrificação entre as partículas do solo. Como resultado, o solo é fluido o suficiente para facilitar a compactação.

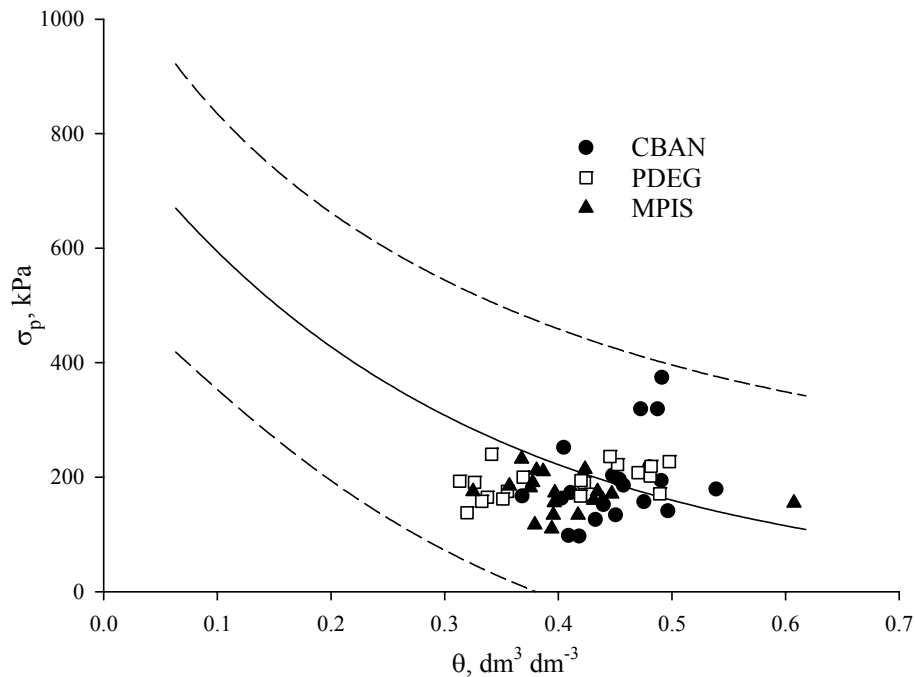


FIGURA 21 Modelo de capacidade de suporte de carga do Cambissolo, na profundidade de 0 a 5 cm. Os pontos representam as pressões de preconsolidação determinadas na área de cultivo de banana (CBAN), pastagem degradada (PDEG) e uso silvipastoril (MPIS), na tensão de 4 kPa.

Os três usos (MPIS, PDEG e CBAN) apresentaram suas amostras, equilibradas a 4 kPa, compreendidas na região b, indicando que não ocorreu compactação adicional do solo. Porém, há uma tendência de que isso ocorra, se não for respeitada a capacidade de suporte de carga do solo, juntamente com sua umidade crítica, sendo o uso CBAN ligeiramente mais crítico. Estes resultados sugerem o que ocorre em épocas de grande umidade no solo, comuns na região devido a altíssimas precipitações em determinadas épocas do ano.

Na Figura 22 estão representados para solos sob MPIS, PDEG e CBAN. Os valores de  $\sigma_p$  foram obtidos na profundidade de 0 a 5 cm, equilibradas a 13% de umidade.

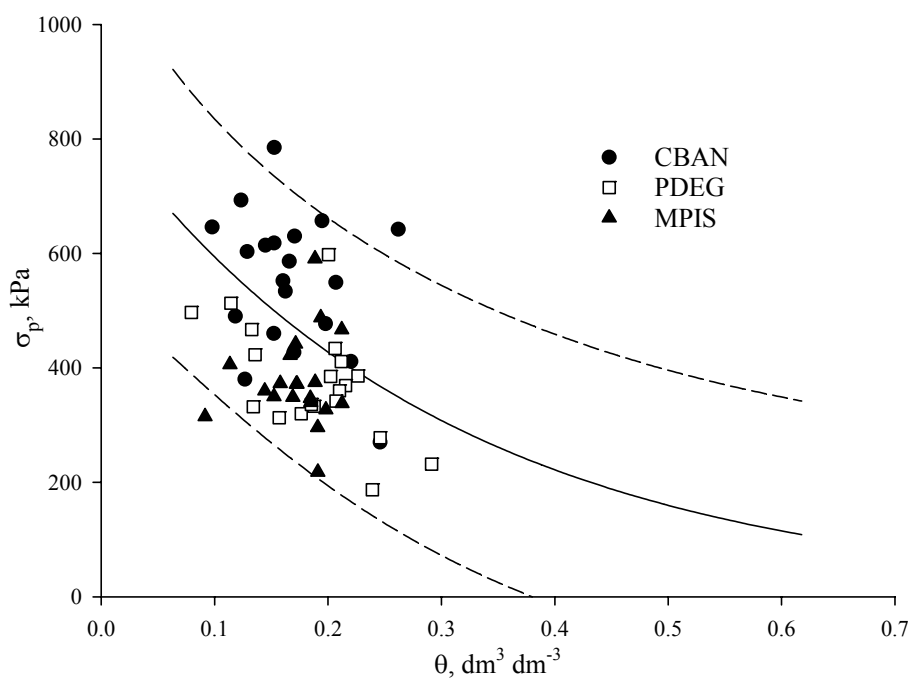


FIGURA 22 Modelo de capacidade de suporte de carga do Cambissolo, na profundidade de 0 a 5 cm. Os pontos representam as pressões de pré-consolidação determinadas na área de cultivo de banana (CBAN), pastagem degradada (PDEG) e uso silvipastoril (MPIS) equilibrado em baixa umidade.

O uso MPIS apresentou 5% de suas amostras na região c, indicando que não ocorreu compactação do solo. O uso CBAN apresentou 10% de suas amostras na região a, ou seja, a compactação adicional já ocorreu. As amostras do uso PDEG se apresentaram, em sua totalidade, compreendidas na “região b”.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) e da umidade de equilíbrio das amostras coletadas num Cambissolo sob MNAT, MPIS, PDEG e CBAN, à profundidade de 0 a 5 cm.

**TABELA 5.** Médias da pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) e da umidade de equilíbrio das amostras coletadas num Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm.

Variáveis	Usos			
	MNAT	MPIS	PDEG	CBAN
	Baixa umidade			
$\sigma_p$ (kPa)	510 a	377 b	376 b	551 a
U (kg kg <sup>-1</sup> )	0,130 a	0,122 a	0,129 a	0,131 a
	Alta Umidade (Tensão de 4 kPa)			
$\sigma_p$ (kPa)	119 a	173 a	191 a	192 a
U (kg kg <sup>-1</sup> )	0,490 a	0,316 b	0,276 b	0,350 b

Médias seguidas por mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott,  $P < 0,05$ . Médias de 20 repetições.

As amostras de solos equilibradas a 13% de umidade mostraram variações significativas quanto à pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ). O uso CBAN e a referência MNAT não foram diferentes entre si, mas foram superiores aos outros dois usos, PDEG e MPIS, ou seja, apresentaram maior capacidade de suporte de carga, em baixa umidade. Este resultado contrapõe-se aos de Bennie & Krynauw (1985), que citam que solos com alto teor de areia fina e solos com baixo teor de matéria orgânica são mais susceptíveis à compactação. Nesse estudo, MNAT e CBAN apresentaram menor suscetibilidade à compactação, mesmo apresentando elevados teores de areia fina (Tabela 4) e baixos valores de MO (Figura 17). Já para Gusmão & Pfeiffer (2008), o solo com alto teor de matéria orgânica tem elevada compressibilidade, pois está mais sujeito à redução de volume quando há degradação da matéria orgânica. Este fato foi verificado

no uso MPIS, que apresentou elevado teor de MO e maior compressibilidade que nos demais usos.

Diversas correlações foram feitas entre os principais atributos do solo, que são caracterizados como sendo os fatores internos na compressibilidade (Lebert & Horn, 1991) e a  $\sigma_p$  em baixa umidade. A textura (Mcbride & Joosse, 1996) foi um dos fatores que, comprovadamente, influenciaram a pressão de preconsolidação. Houve uma elevação da  $\sigma_p$  com o aumento do teor de argila ( $r = 0,45$ ,  $p < 0,01$ ) e silte ( $r = 0,71$ ,  $p < 0,01$ ), porém, para o aumento do teor de areia total ( $r = - 0,71$ ,  $p < 0,01$ ) e areia grossa ( $r = - 0,67$ ,  $p < 0,01$ ), houve um decréscimo na  $\sigma_p$ . A  $\sigma_p$  não apresentou correlação significativa com a MO, entretanto, foi observada correlação negativa com o índice de estabilidade ( $r = - 0,56$ ,  $p < 0,01$ ), por este indicador ser resultado dos teores de argila e silte, bem como com a MO. Houve correlação significativa ( $p < 0,01$ ) entre a  $\sigma_p$  e os principais elementos químicos analisados no complexo sortivo (Tabela 3).

Verificaram-se semelhanças ( $P < 0,05$ ) na  $\sigma_p$ , entre os usos analisados na alta umidade (amostras equilibradas a 4 kPa de tensão). Foi observada diferença entre os usos na avaliação da umidade, tendo a MNAT sido superior aos usos aqui analisados. Porém, essa maior umidade não lhe conferiu diferença com relação à  $\sigma_p$ , diante dos outros três usos (MPIS, PDEG e CBAN).

Na Figura 23 é apresentada a regressão linear entre a resistência ao cisalhamento do solo e a umidade de campo. A equação obtida permitiu corrigir a resistência ao cisalhamento do solo. São apresentados, na Figura 24, os valores de resistência ao cisalhamento do solo corrigidos MNAT, MPIS, PDEG e CBAN, à profundidade de 0 a 5 cm.

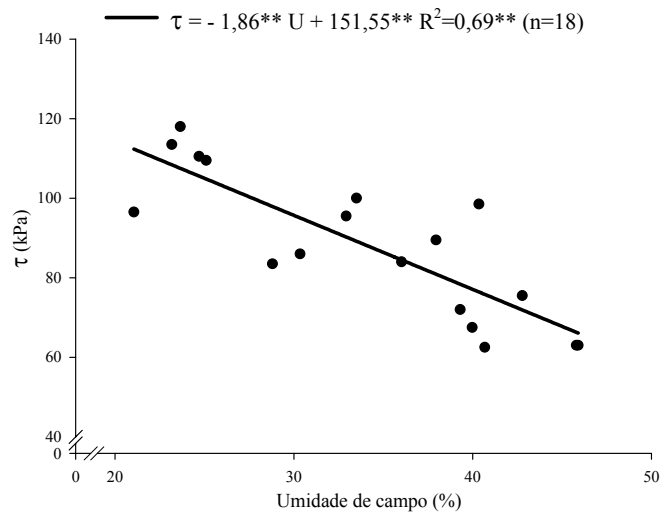


FIGURA 23 Regressão linear entre a resistência ao cisalhamento do solo média e a umidade atual, à profundidade de 0 a 5 cm.

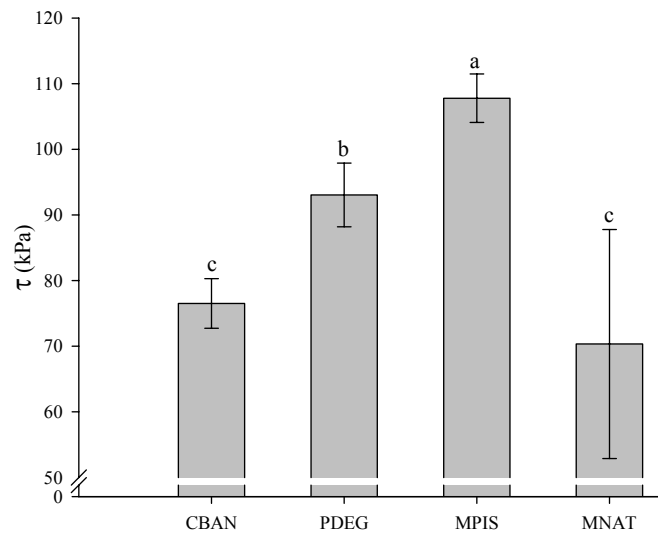


FIGURA 24 Resistência ao cisalhamento do solo média num Cambissolo para os usos mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), no município de Registro, SP, à 0 a 5 cm de profundidade. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

No gráfico da Figura 25 é apresentada a regressão linear entre a resistência média do solo à penetração e a umidade atual, na profundidade de 0 a 40 cm. Com o modelo ajustado entre a RP média e a umidade, os dados de RP foram corrigidos. São apresentados, na Figura 26, os novos valores de RP média na MNAT, MPIS, PDEG e CBAN, à profundidade de 0 a 40 cm. A região I representa a classe muito baixa; a região II, a classe baixa e a região III, a classe moderada de resistência à penetração, adaptado de Soil Survey Staff (1993).

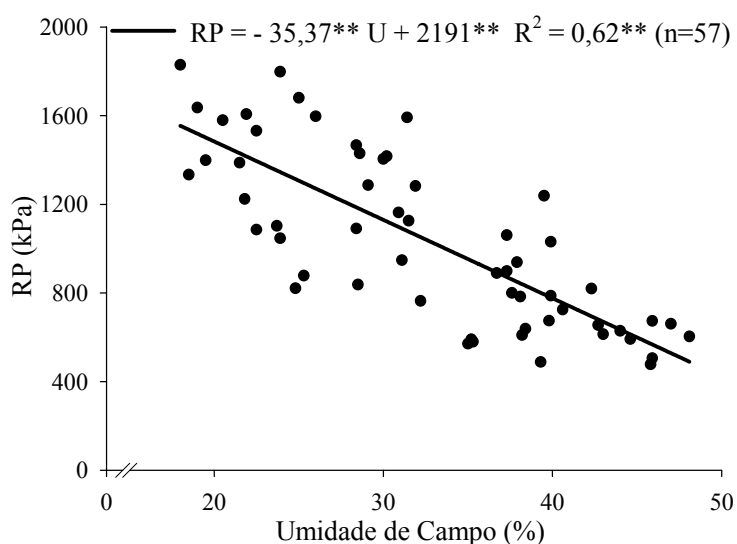


FIGURA 25 Regressão linear entre a resistência do solo à penetração média e a umidade de campo num Cambissolo, à profundidade de 0 a 40 cm de profundidade.

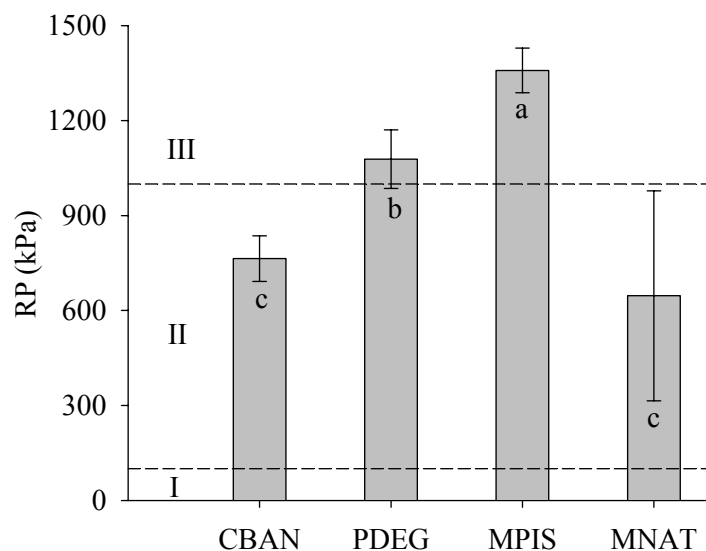


FIGURA 26 Resistência do solo à penetração média para os usos mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 40 cm. Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste Scott-Knott,  $p < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

Os resultados de resistência ao cisalhamento do solo e resistência do solo à penetração se comportaram da mesma forma. Esses resultados estão em conformidade com os valores obtidos para densidade do solo (Figura 16). Os maiores valores de resistência ao cisalhamento do solo e de resistência do solo à penetração foram encontrados nos usos PDEG e MPIS, justamente os dois usos com maiores valores de  $D_s$ , enquanto o CBAN e a MNAT apresentaram os menores valores de RP média e resistência ao cisalhamento do solo. Beltrame et al. (1981) afirmam que há relação direta entre a densidade do solo e a resistência do solo à penetração. Em relação à umidade do solo, os mesmos autores citam que o aumento da umidade do solo causa uma redução na resistência do solo à penetração, concordando com os resultados aqui obtidos (Figura 23). A resistência ao cisalhamento do solo apresentou correlação negativa com ADA ( $r$

= - 0,63,  $p < 0,01$ ), silte ( $r = - 0,73$ ,  $p < 0,01$ ), areia fina ( $r = - 0,40$ ,  $p < 0,01$ ), microporos ( $r = - 0,60$ ,  $p < 0,01$ ) e porosidade total (determinada  $r = - 0,36$ ,  $p < 0,01$ ; calculada  $r = - 0,43$ ,  $p < 0,01$ ) e positiva com IF ( $r = 0,68$ ,  $p < 0,01$ ), areia grossa ( $r = 0,73$ ,  $p < 0,01$ ), MO ( $r = 0,35$ ,  $p < 0,01$ ), areia total ( $r = 0,66$ ,  $p < 0,01$ ), IE ( $r = 0,70$ ,  $p < 0,01$ ) e Ds ( $r = 0,35$ ,  $p < 0,01$ ).

Trabalhando a resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água, Cunha et al. (2002) também verificaram que a resistência mecânica do solo à penetração mostrou-se altamente relacionada com o teor de água e a densidade do solo. Para este autor, a análise dos dados de índice de cone, em função do teor de água e da densidade do solo, permitiu equacionar a influência dessas variáveis sobre a resistência do solo à penetração e o incremento na densidade do solo e a diminuição no teor de água provocaram aumento linear da resistência à penetração. Para Vaz et al. (2002), além da umidade e da densidade do solo, outros parâmetros, como a textura e o teor de matéria orgânica, podem influenciar na medida de resistência do solo à penetração.

#### **4.3 Atributos hídricos**

Na Figura 27 são apresentadas as curvas de retenção de água na condição MNAT, MPIS, PDEG e CBAN, à profundidade de 0 a 5 cm.



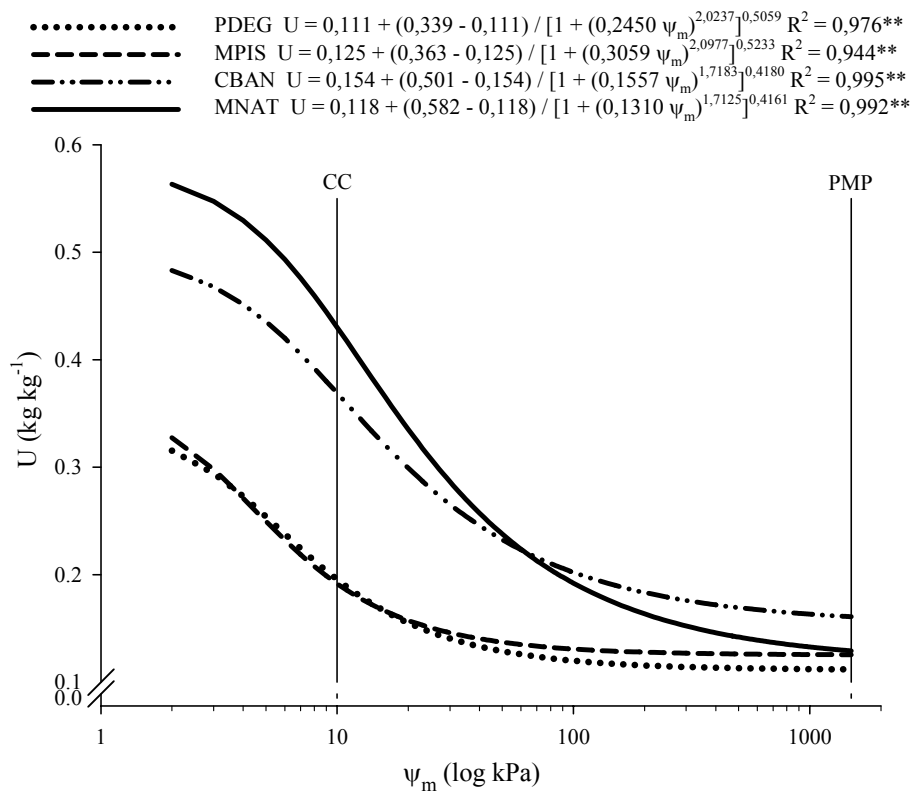


FIGURA 27 Curva de retenção de água para um Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP. CC indica o ponto de capacidade de campo (10 kPa) e PMP indica o ponto de murcha permanente (1500 kPa).

Os valores médios do conteúdo de água no solo para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para todos os usos são apresentados na Tabela 6.

**TABELA 6.** Valores médios do conteúdo de água no solo para a capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível em um Cambissolo sob mata nativa (MNAT), uso silvipastoril (MPIS), pastagem degradada (PDEG) e cultivo de banana (CBAN), à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP.

Conteúdo de água no solo *	Usos			
	MNAT	MPIS	PDEG	CBAN
CC	0,454 a	0,215 c	0,196 c	0,356 b
PMP	0,118 c	0,125 b	0,111 d	0,154 a
AD	0,335 a	0,087 c	0,085 c	0,202 b

\* Umidade, em kg kg<sup>-1</sup>. CC: capacidade de campo, PMP: ponto de murcha permanente e AD: água disponível. Médias seguidas por mesma letra nas linhas não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott, P<0,05. Médias de 20 repetições.

Houve diferença estatística ( $p < 0,05$ ) em todos os conteúdos de água no solo (CC, PMP e AD). A maior retenção de água no solo foi observada na MNAT até 60 kPa. Nesta tensão, as informações se invertem, tendo CBAN as maiores retenções de água. Essa maior retenção de água é corroborada pela informação de porosidade de retenção (Figura 14), em que os usos MNAT e CBAN apresentaram os maiores valores de microporosidade (0,46 e 0,45 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente).

Para AD, o resultado, seguiu a seguinte ordem entre os usos: MNAT>CBAN>PDEG = MPIS. Para CC, a ordem entre os usos foi a mesma: MNAT>CBAN>PDEG = MPIS. Esta coincidência se deve à densidade do solo (Figura 16), que também apresentou a mesma ordem. Isto se deve ao fato de que o fenômeno de retenção em baixas tensões está relacionado à estrutura do solo, ou seja, a dependência maior da curva de retenção de água ocorre em relação à capilaridade e à distribuição dos tamanhos dos poros, portanto, depende fortemente da estrutura do solo (Or & Wraith, 1997).

O uso CBAN apresentou a maior retenção de água a 1.500 kPa (PMP), devido, principalmente, à sua textura, pois foi o uso cujo solo apresentou maior quantidade de argila (Tabela 4), em comparação aos demais usos. Isso é

explicado ao fato de que, para valores maiores nas tensões, a dependência maior ocorre em relação à retenção, ou seja, depende mais da textura e da superfície específica do que da estrutura (Jury et al., 1991). Os solos sob CBAN e MNAT retêm mais água; logo, são, por natureza, mais úmidos e isso pode conferir menor suporte de carga, pois maior umidade no solo pode representar menor resistência ao cisalhamento, menor pressão de preconsolidação e menor resistência do solo à penetração, o que pode torná-lo mais suscetíveis à erosão do que os outros usos.

#### **4.4 Atributos de perdas do solo**

Na Figura 28 são apresentados os valores médios estimados do Fator K (erodibilidade) da equação universal de perda de solo, pelos modelos de  $K_1$ , Wischmeier et al. (1971);  $K_2$ , Denardin (1990) e  $K_3$ , Roloff & Denardin (1994). Seguindo o modelo de Wischmeier et al. (1971), o uso que apresentou a maior suscetibilidade à erosão foi o CBAN, seguido de MPIS, MNAT e PDEG. Já calculando a erodibilidade pelo modelo de Roloff & Denardin (1994), o uso MNAT apresentou as maiores taxas, seguido pelo CBAN, PDEG e MPIS. Não houve diferenças estatísticas entre os usos, quando se utilizou o modelo de Denardin (1990) para o cálculo do fator K.

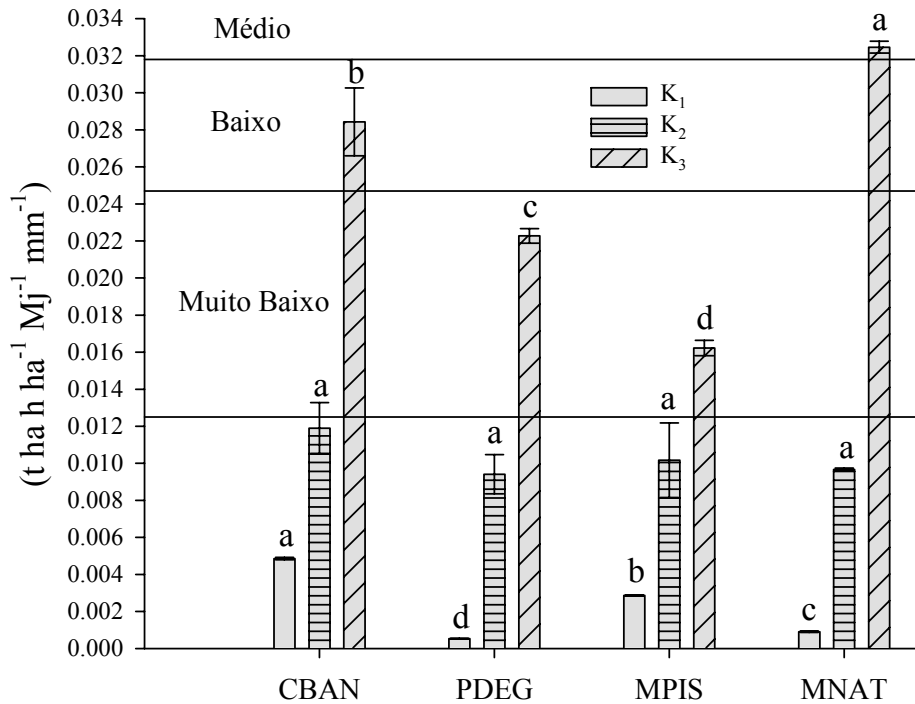


FIGURA 28 Médias da estimativa da erodibilidade ( $t\ ha\ h/ha\ Mj\ mm$ ) do solo (Fator K da equação universal de perdas de solo) num Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana à profundidade de 0 a 5 cm, no município de Registro, SP, apresentando as classes de erodibilidade proposta por Foster (1981). K<sub>1</sub>: Wischmeier et al. (1971), K<sub>2</sub>: Denardin (1990) e K<sub>3</sub>: Roloff & Dernadin (1994). Colunas seguidas de mesma letra, num mesmo método, não diferem estatisticamente pelo teste Scott-Knott,  $P < 0,05$ . A barra de erros representa o intervalo de confiança de 95%. Médias de 20 repetições.

Somente a MNAT e o CBAN, estimados pelo modelo de Roloff & Dernadin (1994), apresentaram a erodibilidade na classe média e baixa (Foster, 1981), respectivamente, sendo que os demais valores dos usos classificados em muito baixo (Foster, 1981). Portanto, esses resultados indicam, mais uma vez, que a mata está sendo mantida no lugar correto, já que este uso apresentou maiores valores de erodibilidade. Logo, a mata está atuando na preservação

deste solo. Verificou-se grande variabilidade no quesito erodibilidade, tendo os métodos (modelos) de estimação se apresentado de maneira bem distinta. Vale ressaltar, ainda, que Mannigel et al. (2002), estudando o fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de São Paulo, encontraram, para um Cambissolo Tb Eutrófico, valores da ordem de  $0,0441 \text{ t ha h}^{-1} \text{ Mj}^{-1} \text{ mm}$ , para o horizonte A, valor este bem acima dos valores encontrado neste estudo. O único modelo de cálculo para o fator K que se correlacionou com a resistência ao cisalhamento foi o de Roloff & Dernadin (1994), com  $r = - 0,82$  e  $p < 0,01$ . Essa evidência confirma a informação de Mota (1997) de que a resistência ao cisalhamento do solo pode representar uma medida de resistência ao processo erosivo. Hanson (1996) também afirma que, como a resistência à erosão é oferecida pelas forças de ligação entre as partículas do solo e outros materiais na sua matriz, manifestada na sua resistência ao cisalhamento, esta última propriedade pode, em teoria, caracterizar diretamente a erodibilidade dos solos.

Verificou-se correlação positiva entre a porosidade total determinada e calculada e a erodibilidade calculada pelos três modelos, sendo entre  $K_3$  e PTd ( $r = 0,50$ ,  $p < 0,01$ ) e  $K_3$  e PTc ( $r = 0,58$ ,  $p < 0,01$ ), a correlação segundo Santos (2007) apresentou classificação moderada. Já entre  $K_1$  e PTc ( $r = 0,47$ ,  $p < 0,01$ ),  $K_1$  e PTd ( $r = 0,36$ ,  $p < 0,01$ ),  $K_2$  e PTc ( $r = 0,33$ ,  $p < 0,01$ ),  $K_2$  e PTd ( $r = 0,32$ ,  $p < 0,01$ ), esta correlação foi fraca. O Fator K, estimado pelos modelos de Wischmeier et al. (1971) e Roloff & Dernadin (1994), apresentou correlação positiva, respectivamente  $K_1$  ( $r = 0,72$ ,  $p < 0,01$ ) e  $K_3$  ( $r = 0,80$ ,  $p < 0,01$ ), com o pH do solo.

O aumento do pH do solo pode resultar num aumento da suscetibilidade do solo à erosão. O pH proporciona a alteração das cargas do solo. Por exemplo, o aumento das cargas negativas num solo o torna mais disperso (ADA e pH,  $r = 0,83$ ,  $p < 0,01$ ; IF e pH,  $r = - 0,88$ ,  $p < 0,01$ ), estas partículas dispersas podem causar o entupimento dos poros de escoamento, aumentando os poros de

retenção (microporos e pH,  $r = 0,62$ ,  $p < 0,01$ ), além de proporcionar um melhor arranjo entre estas partículas, predispondo este solo à compactação ( $\sigma_p$  e pH,  $r = 0,61$ ,  $p < 0,01$ ; cisalhamento e pH,  $r = - 0,70$ ,  $p < 0,01$ ), diminuindo, dessa forma, sua infiltração e causando maior escoamento superficial.

## 5 CONCLUSÕES

O uso do solo modificou suas propriedades físicas, hídricas e mecânicas, conforme indicado pela relação de massa e volume dos constituintes do solo, resistência mecânica do solo, disponibilidade hídrica e pelo complexo sortivo do solo.

Atributos como a argila dispersa em água, índice de floculação, índice estrutural, macroporosidade, densidade do solo, resistência do solo ao cisalhamento, resistência do solo à penetração e curva de retenção de água foram bons indicadores para avaliar e quantificar o impacto de cada tipo de uso. Por outro lado, o diâmetro médio geométrico, o diâmetro médio ponderado e a matéria orgânica não apresentaram o mesmo desempenho, especialmente quando comparados aos impactos dos demais usos.

Os altos valores de pressão de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) apresentados no solo sob o cultivo de banana propiciou maior capacidade de suporte de carga, evidenciando o impacto deste uso, independentemente do teor de água no solo. As resistências do solo ao cisalhamento e à penetração possibilitaram distinguir o impacto dos distintos usos do solo. Dessa forma, a hierarquia dos efeitos do uso de um Cambissolo em APPs na sub-bacia Rio Ribeira de Iguape foi a seguinte: MPIS>PDEG>CBAN=MNAT.

Os modelos de Wischmeier et al. (1971), com sequência CBAN>MPIS>MNAT>PDEG e de Roloff & Dernadin (1994), com sequência MNAT>CBAN>PDEG>MPIS, foram mais sensíveis na avaliação da erodibilidade do solo, os quais identificaram, de maneira geral, o uso do solo sob cultivo de banana como o de menor resistência à erosão.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 415-424, maio/jun. 2005.

ALCÂNTARA, M. A. T. **Aspectos geotécnicos da erodibilidade dos solos**. 1997. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Soil cone penetrometer**. Saint Joseph, 2000. 833 p.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, set./out. 2007.

ARAÚJO JÚNIOR, C. F.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; PIRES, B. S. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com caféiro, sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 23-32, jan./fev. 2008.

AZEVEDO, M. A. A. **Contribuição ao estudo geotécnico de solos de Viçosa, MG**. 1999. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e dos mecanismos de voçorocamento na bacia do Rio Maracujá**. 2000. 225 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BASTOS, C. A. B. **Resistência ao cisalhamento dos solos**. Disponível em: <<http://www.dmc.furg.br/geotecnia/sccii/download/resistencia.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2008.



BASTOS, C. A. B.; GEHLING, W. Y.; DIAS, R. D. Avaliação da erodibilidade de perfis de solos residuais da grande Porto Alegre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, 1998. v. 1, p. 557-563.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1972. 498 p.

BELTRAME, L. F. S. Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 5, n. 1, p. 145-149, jan./fev. 1981.

BENDER, H. Erosion: um probleme de resistance au cisaillement em fonctio du chemin des contraintes pendant infiltration. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANIS IN TROPICA LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, 2., 1985, Brasília. **Anais...** Brasília: ABMS, 1985. p. 15-25.

BENDINI, H. N.; SILVA, R. B. Uso do NDVI e modelo linear de mistura espectral na determinação de áreas de interesse para estudos do uso e ocupação do solo na sub-bacia do rio Ribeira do Iguape. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.

BENNIE, A. T. P.; KRYNAUW, G. N. Causes, adverse effects of soil compaction. **South African Journal Plant Soil**, Pretoria, v. 2, n. 1/2, p. 109-114, May 1985.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BODMAN, G. B.; CONSTANTIN, G. K. Influence of particle size distribution in soil compaction. **Hilgardia**, Berkeley, v. 36, p. 567-591, 1965.

BRADFORD, J. M.; GUPTA, S. C. Compressibility. In: SILVA, R. B. (Ed.). **Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes intensidades e uso na região dos cerrados**. Lavras: UFLA, 2002. 142 p.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 205-217, Nov. 1997.

CAMARGO, N. M.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, jan./mar. 1987.

CANARACHE, A.; HORN, R.; COLIBAS, I. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 56, n. 3/4, p. 185-196, Aug. 2000.

CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo Distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, n. 3, p. 527-538, maio/jun. 1998.

COCKROFT, B.; OLSSON, K. A. Case study of soil quality in south-eastern Australia: management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health developments in soil science**. New York: Elsevier, 1997. p. 339-350.

CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do "Fallout" do <sup>137</sup>Cs**. 2003. 79 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CRAUL, P. J. **Urban soils: applications and practices**. Toronto: Wiley, 1999. 384 p.

CUNHA, J. P. A. R.; VIEIRA, L. B.; MAGALHÃES, A. C. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 10, n. 1/4, p. 1-7, jan./dez. 2002.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 1, p. 545-566, 1965.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DIAS JÚNIOR, M. S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Thesis (Ph.D. in Crop and Soil Sciences) - Michigan State University, East Lansing.

DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 55-94.

DIAS JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; SILVA, A. R.; FERREIRA, D. F. Avaliação da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 23, n. 1, p. 371-380, jan./fev. 1999.

DIAS JÚNIOR, M. S.; GOMES, A. N.; ANDRADE, S. C.; AZEVEDO, M. B. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de Argissolos em sistemas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 103-114, jan./jun. 2002.

DIAS JÚNIOR, M. S.; MIRANDA, E. E. V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 337-346, abr./jun. 2000.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 139-151, Nov. 1995.

DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, J. F. Revisão de literatura: o processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 20, n. 2, p. 175-182, maio/ago. 1996.

DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 56, n. 1, p. 30-31, Jan. 1996.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMAN, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Soil Water Retention Curve (SWRC)**. Version 3.0. Piracicaba: ESALQ, 2001. Software.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

FIGUEIREDO, L. H. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 3, p. 487-493, maio/jun. 2000.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Baltimore, v. 36, n. 6, p. 355-359, Sept. 1981.

FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C.; WISCHMEIER, W. H. Transferability of US technology for prediction and control of erosion in the tropics. In: SYMPOSIUM ON SOIL EROSION AND CONSERVATION IN THE TROPICS, 1., 1979, Fort Collins. **Anais...** Madison: ASA, 1985. p. 135-149.

FREITAS JÚNIOR, E.; SILVA, E. M. Uso da centrífuga para determinação da curva de retenção de água no solo, em uma única operação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 11, p. 1423-1428, nov. 1984.

GENUCHTEN, M. T. H. van. A closed: for equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 892-898, Sept. 1980.

GOMES, G. L. **Diagnóstico de áreas degradadas por voçorocas no município de Alterosa, MG**. 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MEHL, H. U.; SILVA, D.; OLIVEIRA, L. F. C. Equipamento para determinação da erodibilidade e tensão crítica de cisalhamento do solo em canais de estradas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 166-170, 2005.

GUPTA, S. C.; ALLMARAS, R. R. Models to access the susceptibility of soil to excessive compaction. **Advances in Soil Science**, New York, v. 6, n. 1, p. 65-100, 1987.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SHAFER, R. L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOOHEES, W. B.; GUPTA, S. C. (Ed.). **Mechanical and related process in structured agricultural soils**. The Netherlands: Kluwer Academic, 1989. p. 137-152.

GUSMÃO, C. A.; PFEIFFER, S. C. **Proposta de matriz de fatores que interferem na escolha de áreas destinadas a unidades de tratamento de esgotos sanitários tipo lagoas de estabilização**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsAIDIS/PuertoRico29/gusmao.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2008.

HANSON, G. J. Investigation soil strength and stress-strain indices to characterize erodibility. **Transactions of ASAE**, Amsterdam, v. 39, n. 3, p. 883-890, Mar. 1996.

HASUI, Y. **Carta geológica do Brasil e área oceânica adjacente com depósitos minerais, região VI**. Brasília: DNPM, 1981. Escala 1:2.500.000.

HASUI, Y. **Novo modelo geológico do Vale do Ribeira**: relatório 23.742. São Paulo: SICC/Pró-Minério/IPT, 1986. 68 p.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A. Estruturas e tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 61-76, 1980.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998. 771 p.

HOLTZ, R. D.; KOVACS, W. D. **An introduction to geotechnical engineering**. New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 733 p.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 9-16, June 2000.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1991. 328 p.

KARMANN, I. **Evolução e dinâmica atual do sistema cárstico do Alto Vale o Rio Ribeira de Iguape, sudeste do Estado de São Paulo**. 1994. 228 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

KONDO, M. K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 211-218, abr./jun. 1999.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: CORRECHEL, V. **Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do “Fallout” do <sup>137</sup>Cs**. 2003. 79 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

LAMBE, W. T. The engineering behavior of compacted clay. **Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division**, Ann Arbor, n. 1655, p. 1-34, 1958.

LARIOS, M. B. **Erodibilidade e erosividade**. Disponível em: <[http://www.drenagem.ufjf.br/06erosao\\_09\\_erodibilidade\\_e\\_erosividade.htm](http://www.drenagem.ufjf.br/06erosao_09_erodibilidade_e_erosividade.htm)>. Acesso em: 5 nov. 2008.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 2, p. 450-457, May 1980.

LEBERT, M.; HORN, R. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2/3, p. 274-286, Feb. 1991.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Compressibilidade de um Argissolo sob plantio direto escarificado e compactado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1765-1772, nov./dez. 2006.

LIMA, E. R. V.; KUX, H. J. H.; SAUSEN, T. M. Sistema de informações Geográficas de sensoriamento remoto na elaboração de mapas de risco de erosão no sertão da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p. 257-263, abr./jun. 1992.

MANNIGEL, A. R.; DOLORICE MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARTINS, P. C. C. **Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Cambissolo sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental**. 2009. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

McBRIDE, R. A.; JOOSSE, P. J. Overconsolidation in agricultural soil: pedotransfer functions for estimating preconsolidation stress. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 60, n. 2, p. 373-380, Mar. 1996.

MISRA, R. K.; TEIXEIRA, P. C. The sensitivity of erosion and erodibility of forest soils to structure and strength. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 59, n. 1/2, p. 81-93, Apr. 2001.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F. G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaíse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 1055-1062, nov./dez. 2004.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 262 p.

MULTIQUIP DO BRASIL. **Manual de compactação de solo**. Disponível em: <[http://www.multiquip.com.br/imagens/catalogo/Catalogo\\_Compacta%C3%A7%C2%A6odeSolo\\_20050822132416.pdf](http://www.multiquip.com.br/imagens/catalogo/Catalogo_Compacta%C3%A7%C2%A6odeSolo_20050822132416.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2010.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. de S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 291-299, fev. 2003.

OR, D.; WRAITH, J. M. **Agricultural and environmental soil physics**. Logan: USD, 1997. 218 p.

PAES, A. T. Desvio padrão ou erro padrão: qual utilizar? **Revista Educação Continuada: Saúde**, São Paulo, v. 6, n. 3, p. 107-108, 2008.

PIERI, C. J. M. G. **Fertility of soils: a future for farming in the west African Savannah**. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 348 p.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 13, p. 211-216, set./dez. 1988.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1/2, p. 316-330, Oct. 2007.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. 359 p.

ROCCA, A. C. C.; IACOVONE, A. M. M. B.; BARROTTI, A. J. **Resíduos sólidos industriais**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1993. 233 p.

ROCHA, W. W. **Resistência ao cisalhamento e estabilidade de taludes de voçorocas em solos da região de Lavras, MG**. 2003. 101 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ROLOFF, G.; DENARDIN, J. E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBCS, 1994. p. 150-151.

ROMÃO, D. A. **Vale do Ribeira**: um ensaio para o desenvolvimento das comunidades rurais. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Agrário-Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural, 2006. 212 p. (NEAD Debate, 11).

RÖMKENS, M. J. M.; MILLER, R. D. Predicting root size and frequency from one-dimensional consolidation data: a mathematical model. **Plant and Soil**, The Hague, v. 35, n. 1, p. 237-248, Aug. 1971.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**: mapas e relatório. São Paulo: FFLCH-USP; IPT/FAPESP, 1997. 63 p.



SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GOMES, G. L. **Diagnóstico de áreas degradadas por voçorocas no município de Alterosa, MG**. 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: uma visão holística. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 15-18, 2002.

SANTOS, C. **Estatística descritiva**: manual de auto aprendizagem. Lisboa: Sílabo, 2007. 264 p.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Energia e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas: diretrizes para o planejamento urbano e regional: orientação para o controle de voçorocas urbanas. São Paulo, 1989. 20 p.

SCHJONNING, P. Soil strength as influenced by texture, water content and soil management. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, n. 3, p. 277-283, Mar. 1991.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. Accounter analysis methods for grouping means in the analysis of variants. **Biometrics**, Washington, v. 30, p. 507-512, 1974.

SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal**: causas, efeitos e práticas de controle. Piracicaba: IPEF, 1988. 10 p. (IPEF. Circular Técnica, 163).

SERVADIO, P.; MARSILI, A.; PAGLIAI, M.; PELLEGRINI, N.; VIGNOZZI, N. Effects on some clay soil qualities following the passage of rubber-tracked and wheeled tractors in central Italy. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3/4, p. 43-54, Sept. 2001.

SEVERIANO, E. C. **Alterações estruturais de Latossolos representativos da região do cerrado e potencial de uso de solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SCHALLER, F. W.; STOCKINGER, K. R. A comparison of five methods for expressing aggregation data. **Soil Science of the Society American Proceeding**, Madison, v. 17, p. 310-313, 1953.

SIDORCHUK, A. Gully erosion modeling and landscape response in the Mbuluzi River catchment of Swaziland. **Catena**, Amsterdam, v. 709, n. 2/4, p. 312-328, Jan. 2002.

SILVA, A. C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG)**. 1990. 124 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 138 p.

SILVA, A. P. Distribuição de poros de Argissolo Vermelho-Amarelo sob pomares de laranja: uma abordagem multivariada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 1997. 1 CD-ROM.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEAUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 1, p. 97-103, jan. 1998.

SILVA, R. B. **Compressibilidade e resistência ao cisalhamento de um Latossolo sob diferentes intensidades e uso na região dos cerrados**. 2002. 142 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Influência do preparo inicial sobre a estrutura do solo quando da adoção do sistema plantio direto, avaliada por meio da pressão de preconsolidação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 6, p. 219-226, nov./dez. 2003.

SILVA, R. B.; DIAS JÚNIOR, M. S.; SANTOS, F. L.; FRANZ, C. A. B. Resistência ao cisalhamento de um latossolo sob diferentes uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 165-173, fev. 2004.

SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MASQUETTO, B. J. Consolidômetro: equipamento pneumático-eletrônico para avaliação do estado de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 607-615, jul./ago. 2007.

SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, F. A. M.; BAILO, H. R. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of Sao Paulo State Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, n. 2, p. 265-270, May 2009.

SILVA, R. B.; 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**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 219-226, mar./abr. 1999.

SILVA, R. B.; MASQUETTO, B. J. CA-Linker: sistema para monitoramento, aquisição e processamento de parâmetros físicos e mecânicos em tempo real, gerados em ensaios de consolidação uniaxial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD-ROM.

SILVA, R. H. P. **Geoquímica e impacto ambiental do Arsenio no Vale do Ribeira (SP-PR)**. 1997. 100 f. Tese (Doutorado em Geociência) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SOCIOAMBIENTAL. **Mapas do Vale do Ribeira**. Disponível em: <<http://www.socioambiental.org/inst/camp/tijuco/mapas/>>. Acesso em: 25 fev. 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: USDA-SCS, 1993. 437 p. (Handbook, 18).

SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 963-973, maio/jun. 2008.

TAYLOR, D. W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 770 p.

VAZ, C. M. P.; PRIMAVERESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. São Carlos: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2002. 51 p. (Comunicado Técnico, 51).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, jul./ago. 2009.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSO, C. B.; CROSS, B. W. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: Science and Education Administration-United States Department of Agriculture, 1978. 58 p. (Supersedes Agriculture Handbook, 282).

ZISA, R. P.; HALVERSON, H. G.; STOUT, B. B. **Establishment and early growth of conifers on compact soils in urban areas**. Washington: USDA, 1980. 8 p. (NE Research Paper Broomall, 451).

## **ANEXOS**

## ANEXO

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	82
TABELA 2A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	83
TABELA 3A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	84
TABELA 4A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	85
TABELA 5A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	86
TABELA 6A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	87
TABELA 7A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p)	88

	entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	
TABELA 8A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	89
TABELA 9A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	90
TABELA 10A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	91
TABELA 11A	Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.....	92

TABELA 1A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		IF	ARG	AT	S	AG	AF
ADA	r	-0,936	0,688	-0,858	0,773	-0,759	0,0893
	p	2,08E-29	4,71E-10	2,48E-19	1,11E-13	5,78E-13	0,487
IF	r		-0,439	0,759	-0,78	0,791	-0,347
	p		0,000315	5,39E-13	4,94E-14	1,16E-14	0,00539
ARG	r			-0,753	0,454	-0,45	-0,403
	p			1,07E-12	0,000183	0,000215	0,00106
AT	r				-0,928	0,896	-0,13
	p				6,95E-28	3,79E-23	0,309
S	r					-0,958	0,404
	p					6,09E-35	0,00102
AG	r						-0,557
	p						2,08E-06



TABELA 2A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		Ds	PTc	Mi	Ma	PTd	Pb
ADA	r	-0,457	0,51	0,502	0,0712	0,383	-0,0176
	p	0,000164	0,0000192	0,0000278	0,579	0,00194	0,891
IF	r	0,464	-0,531	-0,525	-0,0693	-0,4	0,0241
	p	0,00013	7,68E-06	9,83E-06	0,589	0,00115	0,851
ARG	r	-0,449	0,419	0,325	0,176	0,355	-0,133
	p	0,000222	0,000631	0,00931	0,168	0,00431	0,299
AT	r	0,652	-0,681	-0,627	-0,152	-0,595	0,271
	p	7,3E-09	8,47E-10	3,91E-08	0,233	2,63E-07	0,0317
S	r	-0,628	0,685	0,665	0,107	0,606	-0,292
	p	3,51E-08	6,13E-10	2,82E-09	0,404	1,45E-07	0,0203
AG	r	0,694	-0,72	-0,634	-0,202	-0,636	0,304
	p	2,82E-10	2,82E-11	2,48E-08	0,113	2,1E-08	0,0154
AF	r	-0,333	0,338	0,245	0,165	0,309	-0,175
	p	0,00761	0,00679	0,0531	0,196	0,0136	0,17
Ds	r		-0,96	-0,668	-0,507	-0,93	0,646
	p		1,75E-35	2,16E-09	0,0000225	2,93E-28	1,09E-08
PTc	r			0,752	0,453	0,967	-0,667
	p			1,26E-12	0,000195	6,44E-38	2,39E-09
Mi	r				-0,248	0,747	-0,559
	p				0,0503	2,16E-12	1,93E-06
Ma	r					0,411	-0,224
	p					0,000815	0,0774
PTd	r						-0,835
	p						1,85E-17

TABELA 3A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		U	RC	pH	P	K	Ca
ADA	r	0,634	-0,634	0,834	0,584	0,626	0,807
	p	2,45E-08	2,45E-08	2,15E-17	4,99E-07	4,06E-08	1,31E-15
IF	r	-0,678	0,678	-0,883	-0,538	-0,529	-0,808
	p	1,03E-09	1,03E-09	1,05E-21	5,55E-06	8,38E-06	1,21E-15
ARG	r	0,284	-0,284	0,42	0,468	0,541	0,496
	p	0,024	0,024	0,000603	0,000112	4,77E-06	0,000036
AT	r	-0,659	0,659	-0,785	-0,627	-0,732	-0,83
	p	4,29E-09	4,29E-09	2,54E-14	3,93E-08	9,06E-12	4,42E-17
S	r	0,732	-0,732	0,826	0,584	0,686	0,843
	p	9,62E-12	9,62E-12	8,32E-17	0,0000005	5,53E-10	4,44E-18
AG	r	-0,731	0,731	-0,814	-0,517	-0,565	-0,812
	p	1,05E-11	1,05E-11	5,03E-16	0,0000145	1,39E-06	6,40E-16
AF	r	0,399	-0,399	0,348	-0,0228	-0,109	0,261
	p	0,0012	0,0012	0,00516	0,859	0,393	0,0386
Ds	r	-0,348	0,348	-0,56	-0,297	-0,461	-0,577
	p	0,00514	0,00514	1,84E-06	0,0181	0,000141	7,44E-07
PTc	r	0,428	-0,428	0,624	0,339	0,518	0,618
	p	0,000473	0,000473	4,6E-08	0,00663	0,0000138	6,65E-08
Mi	r	0,603	-0,603	0,618	0,412	0,646	0,641
	p	1,69E-07	1,69E-07	6,9E-08	0,000802	1,06E-08	1,52E-08
Ma	r	-0,187	0,187	0,0818	-0,0591	-0,113	0,0418
	p	0,142	0,142	0,524	0,645	0,378	0,745
PTd	r	0,364	-0,364	0,504	0,242	0,459	0,514
	p	0,00339	0,00339	0,000025	0,0564	0,000157	0,0000166
Pb	r	-0,14	0,14	-0,126	0,0249	-0,222	-0,166
	p	0,275	0,275	0,324	0,846	0,0803	0,192
U	r		-1	0,696	0,551	0,513	0,696
	p		0	2,46E-10	2,88E-06	0,0000169	2,37E-10
RC	r			-0,696	-0,551	-0,513	-0,696
	p			2,46E-10	2,88E-06	0,0000169	2,37E-10

TABELA 4A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		U	RC	pH	P	K	Ca
pH	r				0,686	0,694	0,953
	p				5,68E-10	2,97E-10	2,97E-33
P	r					0,738	0,785
	p					5,00E-12	2,77E-14
K	r						0,772
	p						1,24E-13

TABELA 5A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		Mg	Al	H+Al	SB	t	T
ADA	r	0,72	-0,45	-0,621	0,806	0,812	0,622
	p	3,01E-11	0,000213	5,59E-08	1,72E-15	7,05E-16	5,27E-08
IF	r	-0,658	0,511	0,696	-0,783	-0,782	-0,515
	p	4,65E-09	0,0000188	2,49E-10	3,36E-14	4,01E-14	0,0000157
ARG	r	0,583	-0,03	-0,123	0,545	0,577	0,71
	p	5,21E-07	0,816	0,335	3,92E-06	7,5E-07	6,95E-11
AT	r	-0,752	0,325	0,499	-0,834	-0,855	-0,785
	p	1,23E-12	0,0094	0,0000311	2,10E-17	4,88E-19	2,76E-14
S	r	0,688	-0,423	-0,606	0,821	0,831	0,661
	p	4,59E-10	0,000555	1,39E-07	1,62E-16	3,27E-17	3,78E-09
AG	r	-0,633	0,382	0,57	-0,779	-0,79	-0,631
	p	2,58E-08	0,002	1,09E-06	5,85E-14	1,40E-14	2,96E-08
AF	r	0,00606	-0,245	-0,338	0,177	0,164	-0,06
	p	0,962	0,053	0,00668	0,164	0,199	0,64
Ds	r	-0,514	0,14	0,251	-0,575	-0,598	-0,632
	p	0,0000166	0,275	0,0472	8,24E-07	2,28E-07	2,76E-08
PTc	r	0,535	-0,197	-0,319	0,612	0,632	0,622
	p	6,21E-06	0,122	0,0107	9,67E-08	2,81E-08	5,26E-08
Mi	r	0,439	-0,289	-0,409	0,6	0,61	0,517
	p	0,000319	0,0216	0,000888	1,97E-07	1,13E-07	0,0000144
Ma	r	0,193	0,102	0,0832	0,0877	0,104	0,215
	p	0,13	0,427	0,517	0,494	0,419	0,0906
PTd	r	0,414	-0,106	-0,216	0,5	0,521	0,551
	p	0,000738	0,41	0,0888	0,0000308	0,000012	2,91E-06
Pb	r	-0,0551	-0,116	-0,0577	-0,138	-0,158	-0,267
	p	0,668	0,367	0,653	0,281	0,215	0,0347
U	r	0,387	-0,346	-0,601	0,618	0,623	0,356
	p	0,00173	0,00554	1,92E-07	6,77E-08	5,02E-08	0,0042
RC	r	-0,387	0,346	0,601	-0,618	-0,623	-0,356
	p	0,00173	0,00554	1,92E-07	6,77E-08	5,02E-08	0,0042

TABELA 6A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		Mg	Al	H+Al	SB	t	T
pH	r	0,822	-0,674	-0,817	0,94	0,933	0,637
	p	1,47E-16	1,42E-09	3,38E-16	2,92E-30	1,12E-28	2,02E-08
P	r	0,703	-0,395	-0,538	0,788	0,799	0,677
	p	1,33E-10	0,00136	0,0000055	1,72E-14	4,18E-15	1,09E-09
K	r	0,741	-0,418	-0,498	0,799	0,808	0,733
	p	3,66E-12	0,000642	0,0000332	3,98E-15	1,13E-15	8,20E-12
Ca	r	0,851	-0,645	-0,783	0,984	0,982	0,737
	p	1,11E-18	1,15E-08	3,45E-14	1,03E-47	4,47E-46	5,80E-12
Mg	r		-0,643	-0,658	0,929	0,924	0,775
	p		1,35E-08	4,66E-09	4,24E-28	3,68E-27	8,90E-14
Al	r			0,835	-0,663	-0,604	-0,196
	p			1,93E-17	3,19E-09	1,57E-07	0,123
H+Al	r				-0,765	-0,73	-0,191
	p				2,77E-13	1,14E-11	0,134
SB	r					0,997	0,778
	p					5,56E-70	6,47E-14
t	r						0,808
	p						1,21E-15

TABELA 7A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		V	m	MO	P-rem	IE	DMG
ADA	r	0,755	-0,444	-0,267	0,525	-0,711	0,0742
	p	8,39E-13	0,000271	0,0342	0,0000102	6,69E-11	0,563
IF	r	-0,815	0,497	0,398	-0,599	0,741	0,0916
	p	4,41E-16	0,0000348	0,00123	2,1E-07	3,73E-12	0,475
ARG	r	0,331	-0,0796	0,254	0,077	-0,354	0,384
	p	0,00807	0,535	0,0447	0,549	0,00447	0,00187
AT	r	-0,671	0,327	0,105	-0,351	0,717	-0,0775
	p	1,72E-09	0,00887	0,411	0,00481	3,84E-11	0,546
S	r	0,722	-0,398	-0,286	0,432	-0,771	-0,112
	p	2,43E-11	0,00124	0,0229	0,000412	1,45E-13	0,381
AG	r	-0,708	0,372	0,271	-0,353	0,781	0,167
	p	8,43E-11	0,00271	0,0314	0,00458	4,10E-14	0,189
AF	r	0,325	-0,217	-0,413	0,128	-0,406	-0,515
	p	0,00937	0,0879	0,000775	0,316	0,00095	0,0000155
Ds	r	-0,484	0,206	-0,0769	-0,0952	0,394	0,209
	p	0,0000594	0,105	0,549	0,458	0,00141	0,0997
PTc	r	0,538	-0,25	-0,00722	0,192	-0,45	-0,219
	p	0,0000055	0,048	0,955	0,132	0,000214	0,0851
Mi	r	0,531	-0,26	-0,172	0,35	-0,514	-0,215
	p	7,72E-06	0,0398	0,177	0,00496	0,0000162	0,0908
Ma	r	0,0727	-0,0163	0,222	-0,191	0,0341	-0,0307
	p	0,571	0,899	0,0803	0,134	0,791	0,811
PTd	r	0,42	-0,165	0,0222	0,0978	-0,371	-0,279
	p	0,000619	0,196	0,863	0,446	0,00276	0,027
Pb	r	-0,0652	-0,0575	-0,0805	0,129	0,112	0,342
	p	0,612	0,654	0,531	0,315	0,381	0,00601
U	r	0,587	-0,255	-0,354	0,403	-0,697	-0,143
	p	4,27E-07	0,044	0,00443	0,00107	2,24E-10	0,263
RC	r	-0,587	0,255	0,354	-0,403	0,697	0,143
	p	4,27E-07	0,044	0,00443	0,00107	2,24E-10	0,263

TABELA 8A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		V	m	MO	P-rem	IE	DMG
pH	r	0,949	-0,668	-0,197	0,708	-0,636	-0,136
	p	2,76E-32	2,2E-09	0,121	8,69E-11	2,1E-08	0,29
P	r	0,647	-0,382	0,118	0,638	-0,351	-0,0404
	p	1,03E-08	0,00199	0,355	1,92E-08	0,00484	0,753
K	r	0,634	-0,414	0,139	0,525	-0,319	0,000702
	p	2,5E-08	0,000742	0,278	9,85E-06	0,0108	0,996
Ca	r	0,925	-0,646	-0,0919	0,709	-0,592	-0,111
	p	2,27E-27	1,1E-08	0,474	7,87E-11	3,25E-07	0,386
Mg	r	0,85	-0,686	0,19	0,648	-0,319	0,132
	p	1,19E-18	5,47E-10	0,136	9,13E-09	0,0108	0,304
Al	r	-0,807	0,964	0,158	-0,727	0,249	0,132
	p	1,30E-15	1,09E-36	0,215	1,45E-11	0,0491	0,302
H+Al	r	-0,89	0,78	0,34	-0,807	0,52	0,175
	p	1,60E-22	4,94E-14	0,00645	1,40E-15	0,0000126	0,169
SB	r	0,929	-0,677	0,00179	0,713	-0,519	-0,0335
	p	5,31E-28	1,09E-09	0,989	5,72E-11	0,000013	0,794
t	r	0,907	-0,623	0,018	0,685	-0,527	-0,0223
	p	1,49E-24	4,95E-08	0,889	6,1E-10	8,97E-06	0,862
T	r	0,547	-0,271	0,335	0,299	-0,284	0,12
	p	3,47E-06	0,0315	0,00736	0,0174	0,024	0,349
V	r		-0,823	-0,143	0,808	-0,507	-0,135
	p		1,25E-16	0,265	1,29E-15	0,0000225	0,292
m	r			0,0343	-0,731	0,164	0,0962
	p			0,789	1,00E-11	0,2	0,453
MO	r				-0,126	0,716	0,245
	p				0,325	4,39E-11	0,0528
P-rem	r					-0,258	-0,129
	p					0,0413	0,314
IE	r						0,132
	p						0,301

TABELA 9A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		DMP	$\sigma_p A$	$\sigma_p B$	RP	K1	K2	K3
ADA	r	0,0971	0,144	0,651	-0,634	0,684	0,157	0,697
	p	0,449	0,259	7,44E-09	2,45E-08	6,34E-10	0,22	2,18E-10
IF	r	0,0648	-0,11	-0,615	0,678	-0,641	-0,0794	-0,768
	p	0,614	0,389	8,38E-08	1,03E-09	1,55E-08	0,536	2,00E-13
ARG	r	0,394	0,0787	0,454	-0,284	0,548	0,384	0,265
	p	0,00139	0,54	0,000187	0,024	3,29E-06	0,00188	0,0357
AT	r	-0,0979	-0,231	-0,714	0,659	-0,622	-0,311	-0,789
	p	0,445	0,0685	5,24E-11	4,29E-09	5,42E-08	0,0131	1,67E-14
S	r	-0,0905	0,268	0,71	-0,732	0,532	0,204	0,918
	p	0,481	0,0335	7,43E-11	9,62E-12	7,32E-06	0,109	3,52E-26
AG	r	0,144	-0,13	-0,669	0,731	-0,492	-0,214	-0,91
	p	0,261	0,309	2,07E-09	1,05E-11	0,0000425	0,0926	4,99E-25
AF	r	-0,501	-0,142	0,161	-0,399	-0,066	-0,107	0,558
	p	0,000029	0,268	0,208	0,0012	0,607	0,405	2,04E-06
Ds	r	0,187	0,0853	0,476	0,348	-0,422	-0,383	-0,519
	p	0,143	0,506	0,0000801	0,00514	0,000577	0,00196	0,0000131
PTc	r	-0,182	-0,0528	-0,504	-0,428	0,469	0,335	0,585
	p	0,154	0,681	0,000025	0,000473	0,000104	0,00723	4,89E-07
Mi	r	-0,165	0,112	0,534	-0,603	0,416	0,225	0,652
	p	0,196	0,384	6,64E-06	1,69E-07	0,000701	0,0759	7,01E-09
Ma	r	-0,0441	-0,228	0,0193	0,187	0,127	0,188	-0,023
	p	0,732	0,0718	0,881	0,142	0,32	0,14	0,858
PTd	r	-0,243	-0,0917	-0,441	-0,364	0,36	0,316	0,501
	p	0,0552	0,475	0,000297	0,00339	0,00376	0,0116	0,0000287
Pb	r	0,317	0,154	-0,2	0,14	-0,0384	-0,2	-0,202
	p	0,0114	0,228	0,116	0,275	0,765	0,116	0,111
U	r	-0,11	0,176	0,57	-1	0,31	0,159	0,825
	p	0,39	0,168	1,08E-06	0	0,0135	0,212	9,64E-17
RC	r	0,11	0,176	0,57	1	-0,31	-0,159	-0,825
	p	0,39	0,168	1,08E-06	0	0,0135	0,212	9,64E-17



TABELA 10A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		DMP	$\sigma_p A$	$\sigma_p B$	RP	K1	K2	K3
pH	r	-0,108	0,0744	0,609	-0,696	0,718	0,26	0,801
	p	0,399	0,562	1,17E-07	2,46E-10	3,40E-11	0,04	3,16E-15
P	r	-0,0149	0,0525	0,422	-0,551	0,635	0,331	0,522
	p	0,908	0,683	0,000569	2,88E-06	2,35E-08	0,00813	0,0000117
K	r	0,0286	0,284	0,508	-0,513	0,677	0,415	0,546
	p	0,824	0,0239	0,0000215	0,0000169	1,1E-09	0,000711	3,67E-06
Ca	r	-0,0924	0,1	0,599	-0,696	0,697	0,333	0,786
	p	0,471	0,435	2,12E-07	2,37E-10	2,29E-10	0,00765	2,39E-14
Mg	r	0,146	0,0697	0,544	-0,387	0,827	0,446	0,511
	p	0,252	0,587	4,15E-06	0,00173	6,30E-17	0,000253	0,0000184
Al	r	0,126	0,0216	-0,25	0,346	-0,394	-0,115	-0,437
	p	0,324	0,866	0,0477	0,00554	0,00138	0,369	0,000342
H+Al	r	0,16	-0,0363	-0,431	0,601	-0,486	-0,00185	-0,649
	p	0,21	0,778	0,000415	1,92E-07	0,0000536	0,989	8,56E-09
SB	r	-0,0151	0,0999	0,602	-0,618	0,766	0,384	0,721
	p	0,906	0,436	1,82E-07	6,77E-08	2,64E-13	0,00189	2,69E-11
t	r	-0,00329	0,109	0,615	-0,623	0,775	0,397	0,723
	p	0,98	0,397	8,13E-08	5,02E-08	8,90E-14	0,00127	2,21E-11
T	r	0,133	0,117	0,497	-0,356	0,693	0,584	0,465
	p	0,298	0,361	0,0000348	0,0042	3,02E-10	5,06E-07	0,000121
V	r	-0,12	0,00305	0,512	-0,587	0,675	0,256	0,697
	p	0,351	0,981	0,0000178	4,27E-07	1,34E-09	0,0427	2,29E-10
m	r	0,0941	0,0398	-0,181	0,255	-0,447	-0,208	-0,371
	p	0,463	0,757	0,156	0,044	0,000239	0,102	0,00278
MO	r	0,243	-0,137	-0,204	0,354	0,186	0,737	-0,446
	p	0,0551	0,286	0,109	0,00443	0,144	5,83E-12	0,000253
P-rem	r	-0,111	0,0343	0,266	-0,403	0,555	0,122	0,454
	p	0,387	0,789	0,0349	0,00107	2,34E-06	0,339	0,000189
IE	r	0,116	-0,163	-0,559	0,697	-0,231	0,303	-0,826
	p	0,365	0,202	0,0000019	2,24E-10	0,0688	0,0159	8,15E-17

TABELA 11A Coeficientes de correlação (r) e probabilidades (p) entre atributos físicos, mecânicos e químicos de um Cambissolo sob mata nativa, uso silvipastoril, pasto degradado e cultivo de banana.

Atributos		DMP	$\sigma_p A$	$\sigma_p B$	RP	K1	K2	K3
DMG	r	0,978	0,212	-0,0229	0,143	0,18	0,142	-0,237
	p	5,62E-43	0,0954	0,858	0,263	0,157	0,269	0,061
DMP	r		0,193	-0,034	0,11	0,205	0,15	-0,216
	p		0,13	0,791	0,39	0,108	0,24	0,0895
$\sigma_p A$	r			0,179	0,176	0,0769	0,0144	0,203
	p			0,16	0,168	0,549	0,911	0,111
$\sigma_p B$	r				0,57	0,502	0,166	0,621
	p				1,08E-06	0,0000274	0,195	5,54E-08
RP	r					-0,31	-0,159	-0,825
	p					0,0135	0,212	9,64E-17
K1	r						0,3	0,308
	p						0,0168	0,014
K2	r							0,14
	p							0,275