

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA
ESTRUTURA DE UM CAMBISSOLO SOB
DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA
NA AMAZÔNIA OCIDENTAL**

PAULA CRISTINA CARUANA MARTINS

2009

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

Martins, Paula Cristina Caruana.

Avaliação da sustentabilidade da estrutura de um Cambissolo
sob diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental /
Paula Cristina Caruana Martins. – Lavras : UFLA, 2009.
44 p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
Orientador: Moacir de Souza Dias Junior.
Bibliografia.

1. Física do solo. 2. Pressão de preconsolidação. 3.
Degradação da estrutura do solo. I. Universidade Federal de Lavras.
II. Título.

CDD – 631.43

PAULA CRISTINA CARUANA MARTINS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA ESTRUTURA DE UM
CAMBISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA OCIDENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Junior

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

PAULA CRISTINA CARUANA MARTINS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DA ESTRUTURA DE UM
CAMBISSOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA OCIDENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de “Mestre”.

Defesa em 27 de fevereiro de 2009

Professor Dr. Wellington William Rocha UFVJM

Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães EPAMIG

Professora Dr^a. Fátima Maria de Souza Moreira UFLA

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

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais Edna Caruana e Marcos Augusto Martins, ao meu irmão querido, Fernando César Caruana Martins, à minha avó Celeste Caruana e à Miriam Glogauer, pelo amor, dedicação, generosidade e exemplos de vida.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de crescimento profissional e ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao professor Dr. Moacir de Souza Dias Junior, pela valiosa orientação, ensinamentos, apoio e amizade.

À professora Dr^a Fátima Maria de Souza Moreira, pela co-orientação, incentivo, apoio e amizade.

Ao Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães e ao Professor Dr. Wellington William Rocha, pela disponibilidade dispensada em participar da banca examinadora e pelas sugestões e críticas dadas.

A todos os professores do Departamento de Ciência do Solo, pelos ensinamentos transmitidos.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo que auxiliaram na realização deste trabalho, especialmente à Dulce Claret Monteiro Moraes e Dorotheo de Abreu, pela amizade e dedicação ao trabalho. À Daniela Aparecida Andrade, pela paciência, dedicação e amizade.

Aos queridos amigos Anna Hoffman, Eduardo Severiano, Ayeska Hubner, Waldete Japiaussu, Glaucia Silva Alves, pelo apoio e companheirismo e amizade.

Às queridas amigas, Amanda e Ariane Nascimento, sempre presentes, por todo apoio, muita paciência e amizade verdadeira.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Estrutura do solo.....	3
2.2 Ensaio de compressão uniaxial.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Localização geográfica das áreas estudadas.....	8
3.2 Caracterização climática.....	8
3.3 Geologia e geomorfologia da região.....	9
3.4 Solos da região	9
3.5 Plano amostral.....	10
3.6 Amostragem do solo	12
3.7 Análises de laboratório	13
3.7.1 Análises de caracterização física do solo.....	13
3.7.2 Ensaio de compressibilidade.....	14
3.8 Análises estatísticas.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5 CONCLUSÕES.....	36
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

RESUMO

MARTINS, Paula Cristina Caruana. **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 - MG.¹

O uso adequado da terra é importante na preservação dos recursos naturais e na busca de uma agricultura sustentável. Entretanto, o seu uso inadequado promove degradação do solo alterando suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Para que o manejo do solo ocorra de uma forma sustentável é importante diagnosticar através de métodos eficientes quais impactos que estes manejos podem provocar na estrutura dos solos do ponto de vista de física do solo. Assim, este estudo teve como objetivos: a) avaliar a sensibilidade da densidade do solo e da porosidade total em quantificar as alterações da estrutura do Cambissolo em diferentes sistemas de uso da terra; b) desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga de um Cambissolo sob os sistemas de uso; capoeira nova, capoeira velha, floresta, pastagem, roça e agrofloresta, c) determinar, através destes modelos, a influência dos diferentes sistemas de uso na estrutura do Cambissolo em três profundidades e d) determinar através destes modelos para cada profundidade, qual ou quais sistemas de uso preservaram ou causaram degradação da estrutura do Cambissolo. As amostragens foram realizadas em três profundidades (0 – 3, 10 – 13 e 20 -23 cm), sendo 10 amostras indeformadas coletadas por profundidade em cada sistema de uso: capoeira nova, capoeira velha, floresta, pastagem, roça e agrofloresta. As amostras indeformadas foram utilizadas nos ensaios de compressibilidade uniaxial. Determinou-se também textura, densidades de partículas e do solo e porosidade total. Os modelos de capacidade de suporte de carga para o Cambissolo são função da pressão de preconsolidação e da umidade, sendo expressos pela equação $\sigma_p = 10^{(a + b U)}$. A densidade do solo e a porosidade total não foram adequadas na quantificação da degradação da estrutura do Cambissolo. Em geral, em um mesmo sistema de uso a profundidade 0-3 cm foi a que apresentou maior degradação da estrutura. A profundidade 10-13 cm foi a que sofreu menor degradação da estrutura na capoeira nova, capoeira velha, pastagem e agrofloresta (para umidades maiores do que 0,35 kg kg⁻¹). A profundidade de 20-23 cm foi a que sofreu menor degradação da estrutura na floresta (para umidades menores do que 0,46 kg kg⁻¹), roça e agrofloresta (para umidades menores do que 0,35 kg kg⁻¹). Na

¹ **Comitê Orientador:** Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Júnior, UFLA– (Orientador), Prof. Dr^a. Fátima M^ade Souza Moreira, UFLA– (Co-orientadora).

profundidade 0-3 cm, o sistema de uso que mais degradou a estrutura do Cambissolo foi a pastagem. Na profundidade 10-13 cm, em geral, a degradação da estrutura do Cambissolo decresceu na seguinte ordem: Roça > Capoeira Velha e Floresta > Agrofloresta > Capoeira Nova e Pastagem. Na profundidade 20-23 cm, ficou evidenciada apenas a maior degradação da estrutura na capoeira velha e a menor degradação na roça (para umidades maiores do que 0,40 kg kg⁻¹).

ABSTRACT

MARTINS, Paula Cristina Caruana. **Assessment of the Cambisol structure sustainability under different land uses systems in Western Amazon.** 2009. 44 p. Dissertation (Master in Soil Science) - Federal University of Lavras, Lavras - MG. ¹

The adequate use of the soil is important for the preservation of the natural resources and for a search of a sustainable agriculture. However, it's inadequate use promotes degradation of the soil altering its physical, chemical and biological properties. In order for the soil management happens in a sustainable way it is important to diagnose through efficient methods which impacts these managements can provoke in the soil structure from the soil physics view. Thus, this study had as objectives: a) assess the sensibility of the bulk density and total porosity to quantify the Cambisol structure alterations in different land uses systems; b) to develop a load support capacity models of a Cambisol under the use systems of young secondary forest, old secondary forest, forest, pasture, crop and agro forestry c) to determine, through the use of these models, the influence of the different use systems in the Cambisol structure in three depths and d) to determine through these models for each depth, which use systems preserved or cause degradation of the Cambisol structure. The samplings were accomplished in three depths (0 - 3, 10 - 13 and 20 -23 cm), being 10 undisturbed soil samples collected by depth in the following use systems: young secondary forest, old secondary forest, forest, pasture, crop and agro forestry. The undisturbed soil samples were used in the uniaxial compression test. It was also determined texture, particle and bulk densities and total porosity. The load support capacity models for the Cambisol are function of the preconsolidation pressure and moisture, being expressed by the equation $\sigma_p = 10^{(a + b U)}$. The soil bulk density and total porosity were not appropriate in the quantification of the Cambisol structure degradation. In general, in a same use system the depth 0-3 cm was the one that presented larger structure degradation. The depth of 10-13 cm was the one that suffered smaller structure degradation in the young secondary forest, old secondary forest, pasture and agro forestry (for moisture larger than 0.35 kg kg⁻¹). The depth of 20-23 cm was the one that suffered smaller structure degradation in the forest (for moisture smaller than 0.46 kg kg⁻¹), crop and agro forestry (for moisture smaller than 0.35 kg kg⁻¹). In the 0-3 cm depth the use system that more degraded the Cambisol structure was

¹ **Guidance Committee:** Prof. Dr. Moacir de Souza Dias Júnior, UFLA– (Adviser), Prof. Dr^a. Fátima M^ade Souza Moreira, UFLA– (Co-adviser).

pasture. In the 10-13 cm depth, in general the Cambisol structure degradation decreased in the following order: crop > old secondary forest and forest > agro forestry > young secondary forest and pasture. In the 20-23 cm depth, it was only evident the greater structure degradation of the old secondary forest and the smaller degradation of the crop (for moisture content greater than 0,40 kg kg⁻¹).

1 INTRODUÇÃO

Vários estudos sobre degradação da estrutura dos solos, do ponto de vista de física do solo, utilizam propriedades físicas, tais como: densidade do solo, porosidade total, resistência mecânica, condutividade hidráulica e capacidade de suporte de carga (Oliveira et. al., 2003; Silva et al., 2006; Abid & Lal, 2008; Glab & Kulig 2008; Araujo Junior et al., 2008; Severiano et al., 2008) como indicadoras de degradação. Apesar dos avanços obtidos nestes estudos, Dias Junior (1995) mostrou que nem toda variação na densidade do solo e, por conseguinte na porosidade total, poderiam ser consideradas como degradação da estrutura do solo, visto que quando estas deformações ocorrem na curva de compressão secundária, elas são elásticas e recuperáveis não sendo, portanto qualquer variação destas propriedades adequadas para caracterizar a degradação da estrutura do solo. Assim sendo, a degradação da estrutura do solo só passaria a acontecer quando as variações destas propriedades surgissem na região de deformações plásticas e não recuperáveis.

A partir de 1995, principalmente no Brasil, estudos sobre compactação do solo, que é a forma mais degenerativa da estrutura do solo (Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 1999; Miranda et al., 2003; Dias Junior et al., 2005; Silva et al., 2007; Araujo Junior et al., 2008; Severiano et al., 2008; Ajayi et al., 2009), passaram a considerar a pressão de preconsolidação para separar as deformações recuperáveis das não recuperáveis e, portanto delimitar o ponto onde a estrutura do solo passa a sofrer degradação não recuperável (Dias Junior & Pierce, 1996). Considerando que a degradação da estrutura do solo pode ocorrer em qualquer condição de umidade e que a pressão de preconsolidação é função da variação da umidade do solo (Dias Junior e Pierce, 1995) ficou evidente então, que estudos de monitoramento da degradação da estrutura do solo precisavam de uma propriedade que considerasse estas deformações. Assim

sendo, vislumbrou-se a possibilidade do uso destes modelos em estudos de monitoramento da degradação estrutural devido aos diferentes sistemas de uso da terra.

Devido a este novo enfoque no estudo da degradação da estrutura do solo, verificou-se que até os dias atuais, para as condições da Amazônia Ocidental, não existem estudos que levam em consideração os modelos de capacidade de suporte de carga para diagnosticar a degradação da estrutura do solo promovida pelos diferentes sistemas de uso da terra.

Diante destas considerações, os objetivos deste estudo foram:

- a) Avaliar a sensibilidade da densidade do solo e da porosidade total em quantificar as alterações da estrutura do Cambissolo em diferentes sistemas de uso da terra;
- b) Desenvolver modelos de capacidade de suporte de carga de um Cambissolo sob os sistemas de uso; capoeira nova, capoeira velha, floresta, pastagem, roça e Agrofloresta;
- c) Determinar, através destes modelos, a influência dos diferentes sistemas de uso da terra na estrutura do Cambissolo em três profundidades e
- d) Determinar através destes modelos para cada profundidade, qual ou quais sistemas de uso preservaram ou causaram degradação da estrutura do Cambissolo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Estrutura do solo

O problema da degradação dos solos não ocorre só no Brasil. Calcula-se que o total de solos degradados no mundo é de 2 bilhões de hectares – área do tamanho dos Estados Unidos e Canadá juntos e que o avanço desta catástrofe é de 20 milhões de hectares por ano (<http://www.agrisus.org.br/artigos.asp>)

A degradação do solo pode ser entendida como sendo proveniente das alterações das propriedades do solo a qual acarreta efeitos negativos sobre uma ou várias funções do solo e em consequência ao meio ambiente (Sánchez, 2006).

A degradação do solo altera suas propriedades químicas, biológicas e físicas. A degradação química envolve mudanças como salinização, aumento da acidez e perda de micro-nutrientes. Chuvas ácidas podem lixiviar até 50% do cálcio e magnésio dos solos de floresta cuja recuperação pode demorar décadas. A degradação biológica envolve a diminuição da população e diversidade de organismos do solo. A degradação física envolve modificações da estrutura do solo como compactação e perda do solo por erosão (http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/capacidade_terra.php).

Os principais agentes de degradação dos solos são: desmatamento, pastejo excessivo, preparo excessivo do solo, práticas de manejo inadequadas, áreas inaptas para culturas anuais e chuvas de alta intensidade.

Estudos têm relatado as alterações que o manejo tem causado nas propriedades do solo (Dias Junior et al., 2005; Silva, et al., 2006; Araujo Junior, et. al., 2008; Glab & Kulig, 2008) as quais podem ser consideradas como um indicativo da degradação da estrutura do solo. Os diferentes sistemas de uso da terra e manejo do solo podem aumentar a densidade do solo e a sua resistência mecânica (Sigh & Malhi, 2006; Glab & Kulig, 2008, Abid & Lal, 2008; Severiano et al., 2008); diminuição na porosidade total, tamanho e continuidade

de poros (Glab & Kulig, 2008; Severiano et al., 2008); redução na absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água (Arvidson, 2001; Ishaq et al., 2001; Lipiec et al., 2006); redução da condutividade hidráulica (Arvidson, 2001; Silva et al., 2006); redução das trocas gasosas (Gysi, 2001) e aumento da capacidade de suporte de carga do solo (Miranda et al., 2003; Dias Junior et al., 2007; Silva et al., 2007; Araujo Junior et al., 2008).

A partir de 1995, principalmente no Brasil, estudos sobre compactação do solo, que é a forma mais degenerativa da estrutura do solo (Dias Junior et al., 2005; Araujo Junior et al., 2008), passaram a considerar a compressibilidade do solo visando quantificar os efeitos dos diferentes sistemas de manejos sobre a estrutura do solo.

A compressibilidade do solo pode ser definida como sendo a facilidade com que o solo não saturado decresce de volume quando sujeito a pressões (Gupta & Allmaras, 1987), a qual é função de fatores externos e internos (Lebert & Horn, 1991). Os fatores externos são caracterizados pelo tipo, intensidade e frequência da carga aplicada (Koolen & Kuipers, 1983; Horn, 1988; Horn, 1989; Raghavan et al., 1990; Lebert & Horn, 1991; Dias Junior et al., 2008), enquanto os fatores internos são influenciados pela história de tensão (Reinert, 1990; Dias Junior, 1994), umidade do solo (Larson & Gupta, 1980; Larson et al., 1980; Dias Junior, 1994; Araujo Junior et al., 2008; Severiano et al., 2008), textura do solo (Larson et al., 1980; Gupta et al., 1989; McBride, 1989), estrutura do solo (Horn, 1988; Ajayi et al., 2009), densidade inicial do solo (Sigh & Malhi, 2006; Glab & Kulig, 2008; Severiano et al., 2008), conteúdo de carbono do solo (Assouline et al., 1997; Etana et al., 1997) e mineralogia do solo (Ajayi et al., 2009). Para uma mesma condição, os fatores que governam a quantidade de deformação que poderá ocorrer no solo são a umidade (Dias Junior, 1994) e sua densidade inicial, a qual reflete o estado de compactação inicial do solo. Assim, quando os solos estão mais secos, a sua capacidade de suporte de carga pode ser

suficiente para suportar as pressões aplicadas e a degradação da estrutura do solo pode não ser significativa (Larson & Allmaras, 1971, Dias Junior, 1994). Entretanto em áreas com altos índices pluviométricos como é o caso da Amazônia Ocidental o solo pode apresentar durante longos períodos alta umidade tornando-os naturalmente mais suscetíveis à degradação devido a sua baixa capacidade de suporte de carga.

Na análise da compressibilidade do solo têm sido usadas as curvas de compressão do solo para estimar a suscetibilidade à compactação de diferentes sistemas de manejo (Miranda et al., 2003; Silva, et al., 2006; Araujo Junior, et al., 2008; Severiano et al., 2008; Ajayi et al., 2009) a qual é considerada a forma mais severa da degradação da estrutura do solo (Araujo Junior et al., 2008). Quando o solo não sofreu nenhuma pressão prévia, a curva de compressão do solo é linear (Larson & Gupta, 1980; Larson et al., 1980; Dias Junior et al., 2002), entretanto, quando o solo já experimentou pressões prévias ou ciclos de secagem e umedecimento, a variação das pressões atuando sobre o solo determinará a formação de duas regiões distintas na curva de compressão do solo: a curva de compressão secundária e a curva de compressão virgem (Dias Junior & Pierce, 1996; Araujo Junior et al., 2008; Severiano et al., 2008; Ajayi et al., 2009). A curva de compressão secundária representa os níveis de pressões experimentadas pelo solo no passado, enquanto que a curva de compressão virgem representa as primeiras pressões aplicadas ao solo. É na região da curva de compressão secundária, porém, que o solo deve ser cultivado ou trafegado, sem que ocorra degradação adicional de sua estrutura. Portanto, a degradação adicional da estrutura do solo só ocorre quando as deformações acontecerem na curva de compressão virgem onde se sucedem as deformações plásticas e não recuperáveis.

A pressão de preconsolidação tem sido usada para indicar o ponto de separação entre ambos os casos (Dias Junior & Pierce, 1995; Dias Junior &

Pierce, 1996). A pressão de preconsolidação divide a curva de compressão do solo em duas regiões: (a) uma região de deformações pequenas, elásticas e recuperáveis (curva de compressão secundária); e (b) uma região de deformações plásticas e não recuperáveis (curva de compressão virgem). Na agricultura, a aplicação de pressões maiores do que a maior pressão previamente aplicada ao solo deve ser evitada (Gupta et al., 1989; Lebert & Horn, 1991), para que não ocorra degradação adicional de sua estrutura. Considerando esta proposição, a pressão de preconsolidação deve ser, portanto, a máxima pressão a ser aplicada ao solo para que a degradação adicional de sua estrutura seja evitada.

Considerando estes aspectos, Dias Junior (1994) desenvolveu um modelo de compressibilidade que prediz a máxima pressão que o solo pode suportar para diferentes umidades, sem causar compactação adicional e, portanto degradação da estrutura do solo, em função da pressão de preconsolidação e da umidade. Modelos semelhantes a este, tem sido encontrados para alguns solos do Estado da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 1999; Miranda et al., 2003; Silva et al., 2006; Araujo Junior et al., 2008; Severiano et al., 2008; Ahayi et al., 2009). Espera-se que os modelos de capacidade de suporte de carga (pressão de preconsolidação versus umidade), possam ser desenvolvidos e usados como uma ferramenta preventiva da degradação adicional da estrutura do solo.

2.2 Ensaio de Compressão Uniaxial:

O ensaio de compressão uniaxial consiste basicamente em aplicar sucessiva e continuamente pressões crescentes e pré-estabelecidas (25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa) a uma amostra indeformada de material de solo na condição parcialmente saturada. Este ensaio permite obter a curva de compressão do solo a qual é representada em um gráfico composto no eixo das

abscissas pelos valores das pressões aplicadas em escala logarítmica e no eixo das ordenadas pelos valores da densidade do solo em escala natural. Da curva de compressão do solo obtém-se a pressão de preconsolidação.

A pressão de preconsolidação do solo depende de vários fatores tais como: mudanças na tensão total devido a erosão e escavações, processos de secagem e umedecimento, textura, estrutura e densidade do solo, sistema de manejo, matéria orgânica, alterações químicas devido ao intemperismo, precipitações, agentes cimentantes, pH, troca de íons, mineralogia do solo, etc. (Casagrande, 1936; Schmertmann, 1955; Crawford, 1964; Brumund et al., 1976; Holtz & Kovacs, 1981; Horn, 1988; Jose et al., 1989; Reinert, 1990; Kassa, 1992; Dias Junior & Pierce, 1995; McBride & Joosse, 1996, Veenhof & McBride, 1996; Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 1999; Miranda et al., 2003; Silva, et al., 2006; Araujo Junior, et. al., 2008; Severiano et al., 2008; Ahayi et al., 2009).

Dentre os métodos que podem ser usados para a determinação da pressão de pré-consolidação cita-se os desenvolvidos por Casagrande (1936), Burmister (1951), Schmertmann (1955), Anderson & Lukas (1981), Culley & Larson (1987), Jose et al. (1989), Lebert & Horn (1991), Dias Junior & Pierce (1995), Veenhof & McBride, (1996) e McBride & Joosse, (1996). Entretanto, os métodos proposto por Casagrande (1936) e o método proposto por Dias Junior & Pierce (1995) têm sido mais usados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo faz parte do projeto "Conservation and Sustainable Management of Below- Ground Biodiversity" é coordenado pelo "Tropical Soil Biology and Fertility Institute" (TSBF) do CIAT, financiado pelo "Global Environment Facility" (GEF), implementado pelo "United Nations Environment Programme (UNEP)" e executado em sete países: Brasil, Costa do Marfim, Índia, Indonésia, Kênia, México e Uganda tendo como objetivo promover a conscientização, o conhecimento e a compreensão da biodiversidade do solo, importante para a produção agrícola sustentável em paisagens tropicais, pela demonstração de métodos para a conservação e manejo sustentável. (Projeto GF/2715-02).

3.1 Localização geográfica das áreas estudadas

As áreas de estudo estão circunscritas pelas coordenadas geográficas de 4°26' de latitude sul e 69°36' de longitude oeste. Situam-se no município Benjamin Constant, noroeste do Estado do Amazonas. Esta região, denominada de Alto Solimões, localiza-se na tríplice fronteira Brasil, Colômbia e Peru.

3.2 Caracterização climática

O clima da região do Alto Solimões, pelos critérios de Köppen, é tropical úmido ou superúmido (Af), sem estação seca, com temperatura média anual de 25,7°C e precipitação média anual de 2.562 mm. O total das chuvas do mês mais seco é superior a 100 mm, com maiores precipitações concentradas nos meses de dezembro a abril (Coelho et al.,2005).

3.3 Geologia e geomorfologia da região

Em geral, são escassas as informações sobre os recursos naturais da Amazônia. Para a região do Alto Solimões, destaca-se o levantamento dos recursos naturais realizado em pequena escala (1:1.000.000) - pelo projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1977). Neste trabalho, o material geológico da área estudada pertence à Formação Solimões, que é caracterizada por sedimentos terciários de origem flúvio-lacustre, esta formação é composta de argilito vermelho e cinza, com camadas de conchas e de linhito, além de ser muito rica em fósseis vegetais e animais, como troncos, folhas, carófitas, ostracodes, escamas, dentes e ossos. Siltitos e arenitos são outras rochas sedimentares, também presentes na Formação Solimões (Brasil, 1977). Geomorfologicamente a área pertence à unidade morfoescultural denominada por Brasil (1977) de Depressão rio Acre-rio Javari, cuja feição geomorfológica mais característica é a de colinas com talvegues, que apresentam uma intensidade muito fraca de aprofundamento de drenagem, e os interflúvios possuem dimensões em torno de 250 m, com topos apresentando acentuada convexidade. No mapeamento fitoecológico realizado pelo projeto RADAMBRASIL, a área mapeada insere-se na região denominada de Floresta Tropical Aberta, sub-região dos Baixos Platôs da Amazônia, cujos ecossistemas se referem genericamente às terras baixas de relevo dissecado. As feições morfológicas e diferentes fisionomias florestais da região possibilitaram segundo Brasil (1977), distinguir a Floresta Aberta em dois grupos de formações.

3.4 Solos da região

Segundo Coelho et al. (2005), o material encontrado nas áreas deste estudo pertencem à Formação Solimões e está predominantemente sobre Cambissolos. De acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação

dos Solos Embrapa (2006), classificaram-se os solos deste estudo, como Cambissolos Háplicos Alumínicos (CXa).

3.5 Plano amostral

As áreas estudadas correspondem a uma superfície descontínua de aproximadamente 54.000 m² sendo divididas em seis JANELAS de acordo com o delineamento amostral estabelecido e padronizado pelo projeto Biosbrasil. Cada janela é composta por áreas com aproximadamente nove hectares, e por pontos equidistantes estaqueados a cada 100m formando uma malha de amostragem.

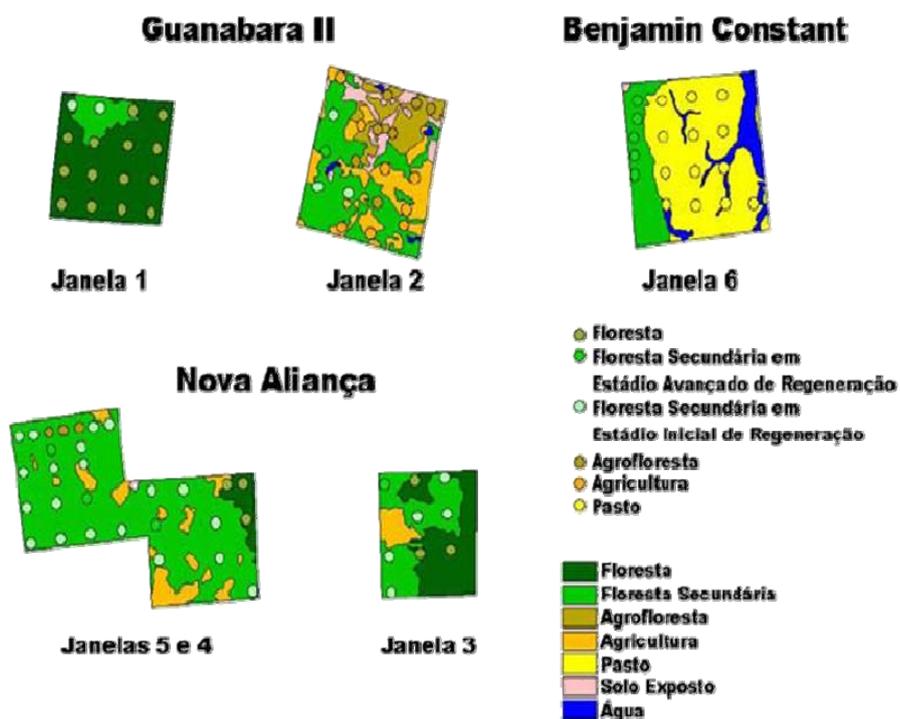
Todas as janelas localizam-se na região da Amazônia Ocidental no município de Benjamin Constant (Janela 6), na localidade denominada Guanabara II (Janelas 1 e 2) na localidade denominada Nova Aliança (Janelas 3, 4 e 5). Estas Janelas são divididas em função do uso e cobertura dos solos representativos da região (Fidalgo et al.,2005) O sistema de produção agrícola predominante na região baseia-se no ciclo desmatamento da floresta ou da vegetação secundária e queima da vegetação para cultivo por um determinado período.

Os sistemas baseados predominantemente em produtos florestais observados nas janelas amostrais podem ser classificados como sistemas de produção florestal extensiva, na forma de agroflorestas, em que grande parte da vegetação é formada pela regeneração espontânea de espécies de floresta secundária.

Segundo informações dos produtores, as áreas de agroflorestas foram desflorestadas entre os anos de 1979 e 1983 e cultivadas com banana e mandioca. A formação dos sistemas agroflorestais teve início logo após os primeiros ciclos de cultivo, entre os anos de 1980 e 1984 (Fidalgo et al.,2005).

Os sistemas de uso da terra são denominados: floresta, floresta secundária, agrofloresta, roça e pastagem. No presente estudo, porém, na

avaliação dos diferentes sistemas de uso, o uso floresta secundária foi dividido em capoeira nova e capoeira velha de acordo com o seu estágio de regeneração (Figura 1).



Fonte: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2005

FIGURA 1 Localização esquemática das Janelas em março de 2003.

A seguir é apresentada uma descrição dos sistemas de uso utilizados neste estudo com a respectiva identificação das Janelas em março de 2008:

Floresta: representa as áreas de formação florestal original, em que se desconhece a ocorrência de desflorestamento e não há evidências da retirada de material lenhoso (Janelas 1 e 4).

Capoeira Velha: compreende áreas de floresta secundária em estágio avançado de regeneração com mais de cinco anos de formação, após ter sido área de cultivo (Janela 3,4 e 5).

Capoeira Nova: compreende áreas de floresta secundária em estágio inicial de regeneração com menos de cinco anos de formação, após ter sido área de cultivo. (Janela 2,3,4 e 5).

Agrofloresta: compreende áreas em que grande parte da vegetação é formada pela regeneração espontânea de espécies de floresta secundária, sendo também, esse sistema, associado a culturas anuais no início de sua formação com interesse econômico (Janela 2 e 5).

Roça: compreende áreas de cultivos agrícolas anuais (mandioca, milho, cana de açúcar e abacaxi) e semiperene (banana) (Janela 2, 3, 4,5 e 6).

Pastagem: compreende áreas destinadas à produção animal, cobertas por gramíneas (Janela 6).

3.6 Amostragem do solo

Foram coletadas em março de 2008 em cada sistema de uso do solo e nas profundidades de 0-3, 10-13 e 20-23 cm, 10 amostras indeformadas em anéis volumétricos com dimensões de 6,4 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura, utilizando amostrador de Uhland, totalizando 180 amostras (6 sistemas de uso x 3 profundidades x 10 amostras por profundidade).

3.7 Análises de laboratório

3.7.1 Análises de caracterização física do solo

As análises de caracterização física do solo constaram de análise textural (Day, 1986) (Tabela 1), densidade de partículas (Blake & Hartge, 1986a), e densidade do solo (Blake & Hartge, 1986b) (Tabela 2).

TABELA 1 Análise textural de um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10- 13 e 20-23 cm sob diferentes sistemas de uso.

Sistemas de uso	Areia ¹ (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Classe Textural
0 - 3 cm				
Capoeira Nova	170	520	310	Franco Argilo Siltoso
Capoeira Velha	300	410	290	Franco Argiloso
Floresta	150	540	310	Franco Argilo Siltoso
Pastagem	460	320	220	Franco
Roça	270	250	480	Argila
Agrofloresta	170	470	360	Franco Argilo Siltoso
10 - 13 cm				
Capoeira Nova	240	370	390	Franco Argiloso
Capoeira Velha	180	440	380	Franco Argiloso
Floresta	200	450	350	Franco Argiloso
Pastagem	160	440	400	Argila
Roça	160	440	400	Argila
Agrofloresta	120	430	450	Argilo Siltoso
20 - 23 cm				
Capoeira Nova	160	470	370	Franco Argilo Siltoso
Capoeira Velha	160	410	430	Argila
Floresta	180	380	440	Argila
Pastagem	320	370	310	Franco Argiloso
Roça	80	440	480	Argilo siltoso
Agrofloresta	150	330	520	Argila

¹ = Média de 3 repetições.

A porosidade total foi calculada através da expressão:

$$PT = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100$$

Onde: PT = porosidade total (%), D_s = densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$) e D_p = densidade de partículas ($Mg\ m^{-3}$).

3.7.2 Ensaio de compressibilidade

Para a realização dos ensaios de compressibilidade, as amostras indeformadas foram previamente saturadas e depois secas ao ar no laboratório até se obterem as faixas de umidade variando do ponto de murcha permanente até a capacidade de campo. Após a obtenção dessas umidades, as amostras indeformadas foram submetidas ao ensaio de compressão uniaxial de acordo com Bowles (1986), modificado por Dias Junior (1994), usando um consolidômetro de marca Boart Longyear, cuja aplicação das pressões é feita através da utilização de ar comprimido. As pressões aplicadas a cada amostra indeformada obedeceram a seguinte ordem 25, 50, 120, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até 90% da deformação máxima fosse alcançada (Taylor, 1971) e somente então, foi aplicada uma nova pressão.

Após realização do ensaio, as amostras indeformadas foram secas em estufa para determinação da umidade e da densidade do solo (Blake & Hartge, 1986a). A curva de compressão do solo foi obtida, ajustando-se as pressões aplicadas no eixo das abscissas (escala logarítmica) versus as densidades do solo (D_s) correspondentes no eixo das ordenadas (escala decimal). A partir das curvas de compressão, foram obtidas as pressões de preconsolidação (σ_p) de acordo com Dias Junior & Pierce (1995).

3.8 Análise estatística

As análises de regressão foram realizadas com o uso do software Sigma Plot 8.0 (Jandel Scientific), e as comparações das regressões foram feitas utilizando o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Os resultados das análises das características físicas do solo (Tabela 2) foram submetidos à análise de variância, e a comparação das médias foi feita pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises de caracterização física estão apresentados na Tabela 2.

Os valores da densidade do solo inicial e da porosidade total não diferiram estatisticamente nos sistemas de uso do solo indicando não haver efeito destes sistemas sobre estas propriedades (Tabela 2).

Estes resultados corroboram com Dias Junior (1995) que mostrou que nem toda variação na densidade do solo e, por conseguinte na porosidade total poderiam ser consideradas como degradação da estrutura do solo, visto que quando estas deformações ocorressem na curva de compressão secundária, elas seriam elásticas e recuperáveis não sendo, portanto qualquer variação destas propriedades adequadas para caracterizar a degradação da estrutura do solo. Desse modo, a degradação da estrutura do solo só ocorrerá quando as variações destas propriedades ocorrem na região de deformações plásticas e não recuperáveis as quais são delimitadas pela pressão de preconsolidação.

Devido a isso, neste estudo, a degradação da estrutura do solo foi analisada através dos modelos de capacidade de suporte de carga apresentados a seguir.

TABELA 2 Caracterização física de um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob diferentes sistemas de uso.

Sistemas de uso	Ds ¹ (Mg m ⁻³)	Dp ² (Mg m ⁻³)	PT ¹ (%)
0-3 cm			
Capoeira Nova	1,09 a	2,44	55 a
Capoeira Velha	1,15 a	2,50	54 a
Floresta	1,06 a	2,41	56 a
Pastagem	1,04 a	2,44	57 a
Roça	1,02 a	2,44	58 a
Agrofloresta	1,07 a	2,47	57 a
10-13 cm			
Capoeira Nova	1,23 a	2,53	51 a
Capoeira Velha	1,26 a	2,53	50 a
Floresta	1,23 a	2,53	51 a
Pastagem	1,20 a	2,41	50 a
Roça	1,23 a	2,56	52 a
Agrofloresta	1,27 a	2,41	47 a
20-23 cm			
Capoeira Nova	1,30 a	2,50	48 a
Capoeira Velha	1,23 a	2,56	52 a
Floresta	1,28 a	2,60	51 a
Pastagem	1,26 a	2,50	50 a
Roça	1,28 a	2,60	51 a
Agrofloresta	1,24 a	2,50	50 a

Ds = Densidade do solo, Dp = Densidade de partícula, PT = Porosidade total, 1 = Média de 10 repetições, 2 = Média de 3 repetições. Médias nas colunas e para a mesma profundidade com a mesma letra não diferiram entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

As figuras 2 a 7 apresentam os modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob diferentes sistemas de uso.

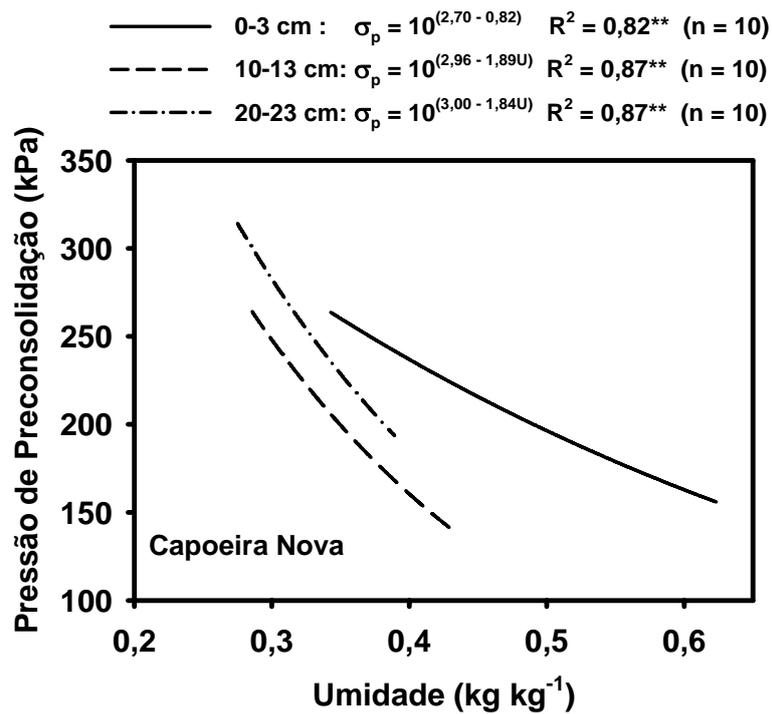


FIGURA 2 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Capoeira Nova.

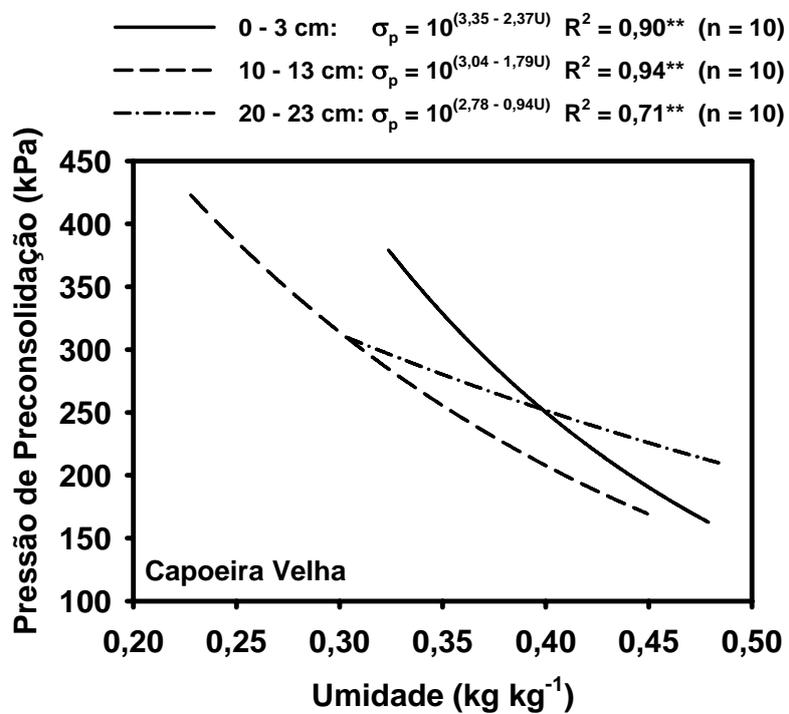


FIGURA 3 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Capoeira Velha.

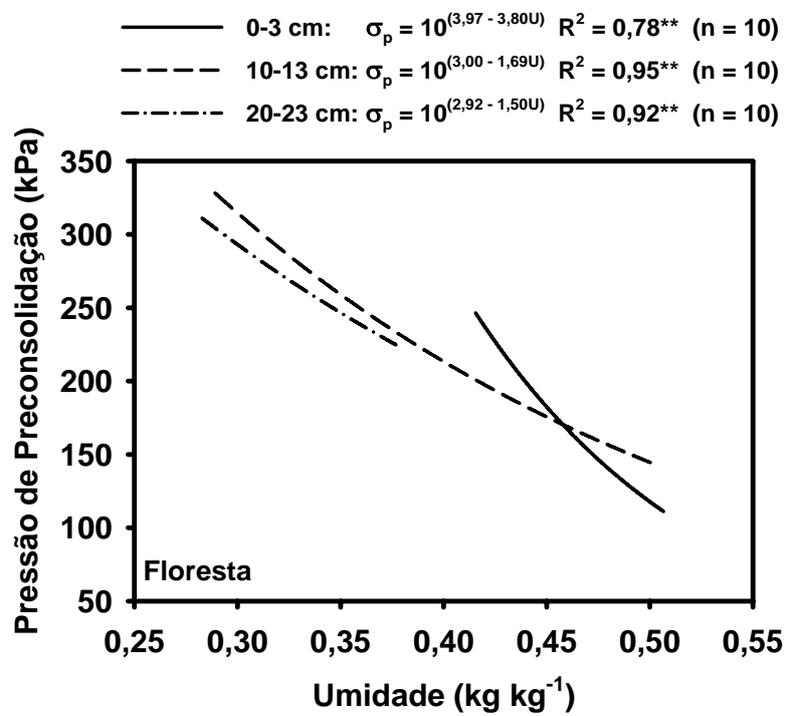


FIGURA 4 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Floresta.

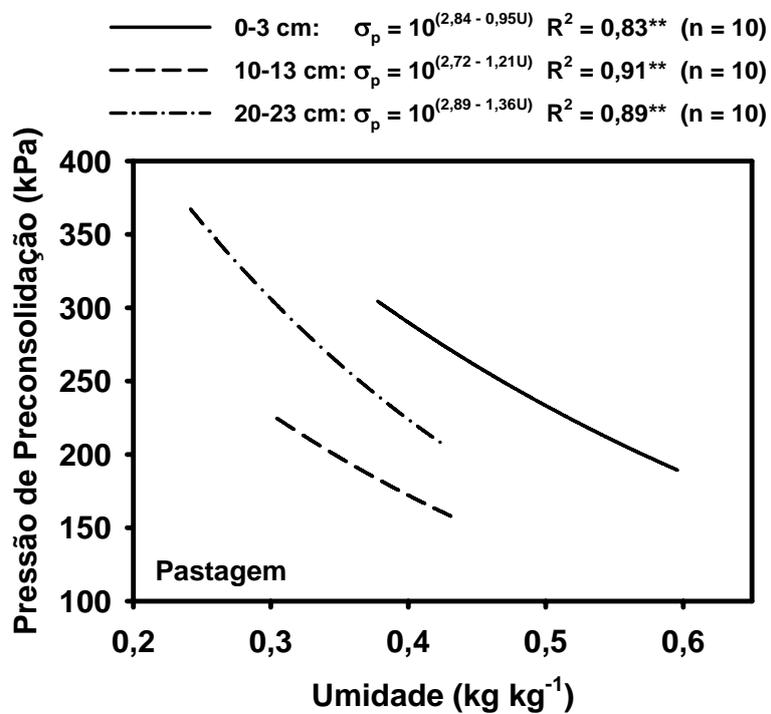


FIGURA 5 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Pastagem.

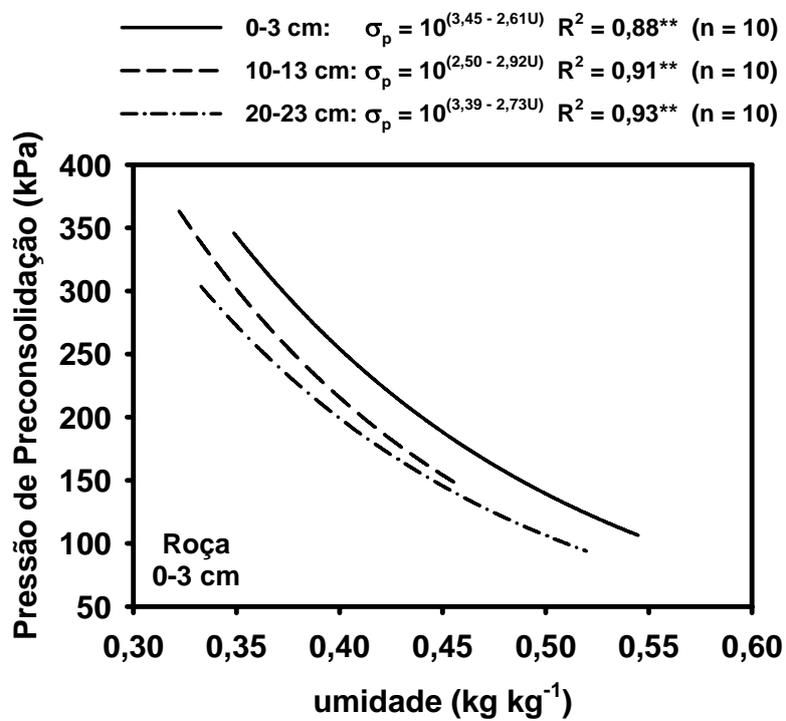


FIGURA 6 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Roça.

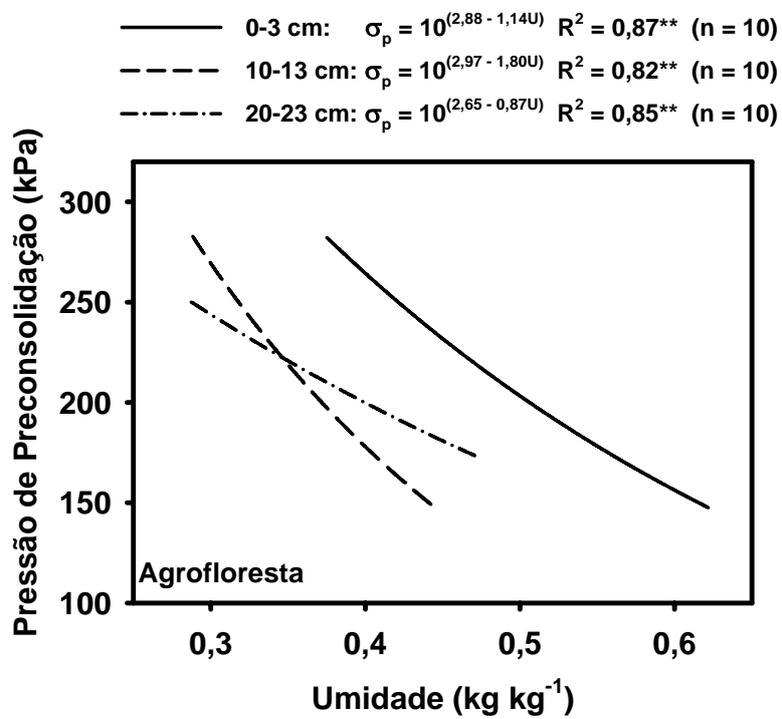


FIGURA 7 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob Agrofloresta.

Observa-se, para as três profundidades e diferentes sistemas de uso, que a pressão de preconsolidação (σ_p) decresce exponencialmente com a umidade gravimétrica (U), seguindo o modelo proposto por Dias Junior (1994), $\sigma_p = 10^{(a + bu)}$, onde σ_p é a pressão de preconsolidação (kPa), “a” (intercepto) e “b” (inclinação quando o modelo é linearizado), são parâmetros estimados e U é a umidade gravimétrica (kg kg^{-1}). Os valores de “a” variaram entre 2,70 e 3,97 e os de “b” entre - 0,82 e - 3,80. Os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 0,71 a 0,95, sendo todos significativos ao nível de 1% de probabilidade (Figuras 2 a 7).

Estes modelos foram estatisticamente diferentes, nas três profundidades em todos os sistemas de uso, exceto para as profundidades 10-13 e 20-23 cm na Floresta indicando uma mesma capacidade de suporte de carga nestas profundidades (Tabela 3).

TABELA 3 Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10(a + Bu)$] de um Cambissolo para as profundidades 0-3, 10-13 e 20-23 cm sob diferentes sistemas de uso de acordo com o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Sistemas de uso	Profundidade (cm)	Homogeneidade	Intercepto (a)	Inclinação (b)
Capoeira	0-3 x 10-13	H	**	**
Nova	0-3 x 20-23	H	**	ns
	10-13 x 20-23	H	**	ns
Capoeira	0-3 x 10-13	H	**	ns
Velha	0-3 x 20-23	H	ns	**
	10-13 x 20-23	H	**	**
Floresta	0-3 x 10-13	NH	ns	**
	0-3 x 20-23	NH	**	**
	10-13 x 20-23	H	ns	ns
Pastagem	0-3 x 10-13	H	**	ns
	0-3 x 20-23	H	**	ns
	10-13 x 20-23	H	**	ns
Roça	0-3 x 10-13	H	**	ns
	0-3 x 20-23	H	ns	**
	10-13 x 20-23	H	ns	*
Agrofloresta	0-3 x 10-13	H	**	**
	0-3 x 20-23	H	**	ns
	10-13 x 20-23	H	ns	**

H = Homogêneo, NH = Não homogêneo, * = Teste F significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns = não significativo.

A profundidade 0-3 cm foi a que apresentou maior capacidade de suporte de carga e, portanto maior degradação da estrutura em qualquer umidade para Capoeira Nova, Pastagem e Roça e para a Capoeira Velha para umidades menores do que $0,40 \text{ kg kg}^{-1}$, Floresta para umidades menores do que $0,46 \text{ kg kg}^{-1}$ e Agrofloresta para umidades menores do que $0,35 \text{ kg kg}^{-1}$ indicando uma maior degradação da estrutura em relação às profundidades de 10-13 e 20-23 cm. Já a profundidade 10-13 cm apresentou menor capacidade de suporte de carga e, portanto maior preservação da estrutura nos seguintes sistemas de uso Capoeira Nova Capoeira Velha, Floresta, Pastagem e Agrofloresta para umidades maiores do que $0,35 \text{ kg kg}^{-1}$, indicando uma maior suscetibilidade à compactação promovida pela ação direta em formar bioporos ou pela incorporação da matéria orgânica provenientes dos sistemas radiculares das plantas induzindo assim menor resistência mecânica ao solo. Nestes casos a profundidade 20-23 cm apresentou maior capacidade de suporte de carga e, portanto maior degradação da estrutura do que a profundidade 10-13 cm o que pode limitar o desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas provendo uma concentração destas na profundidade de 20-23 cm (Tabela 3).

Para comparar os efeitos dos diferentes sistemas de uso em uma mesma profundidade, os modelos de capacidade de suporte de carga foram representados nas figuras 8, 9 e 10 e foram comparados estatisticamente de acordo com o procedimento descrito em Snedecor e Cochran (1989) (Tabelas 4, 5 e 6).

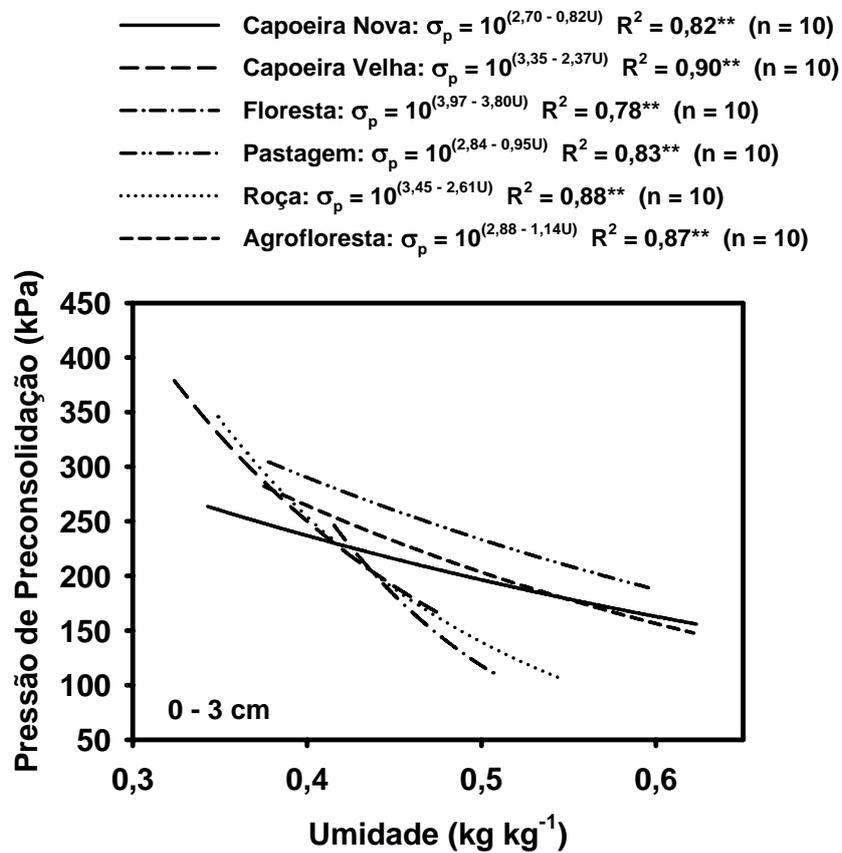


FIGURA 8 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 0-3 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

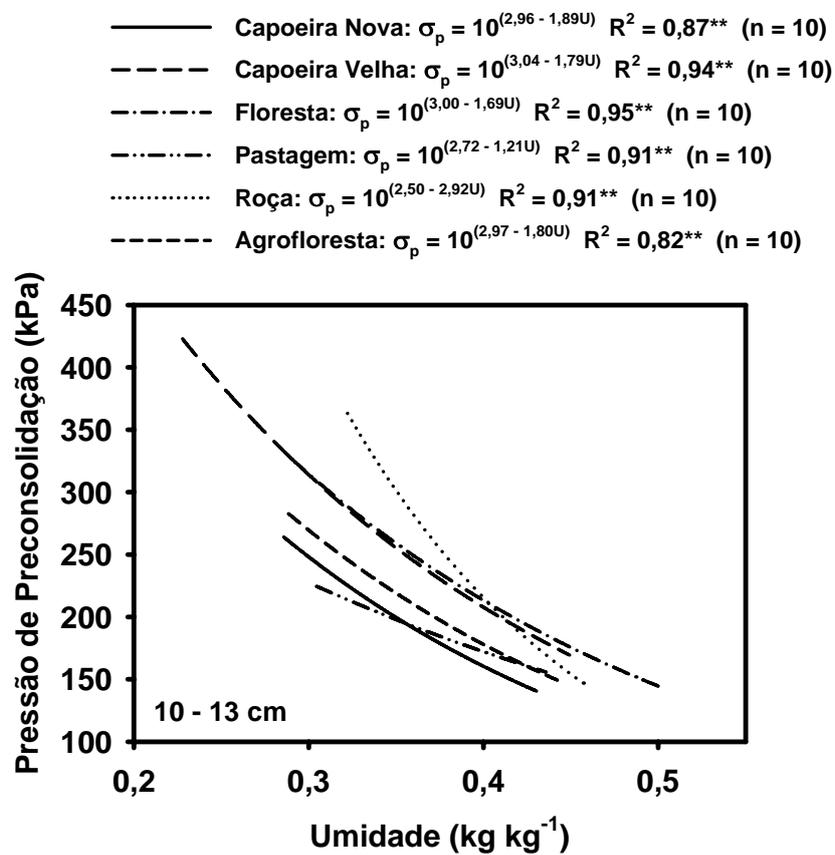


FIGURA 9 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 10-13 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

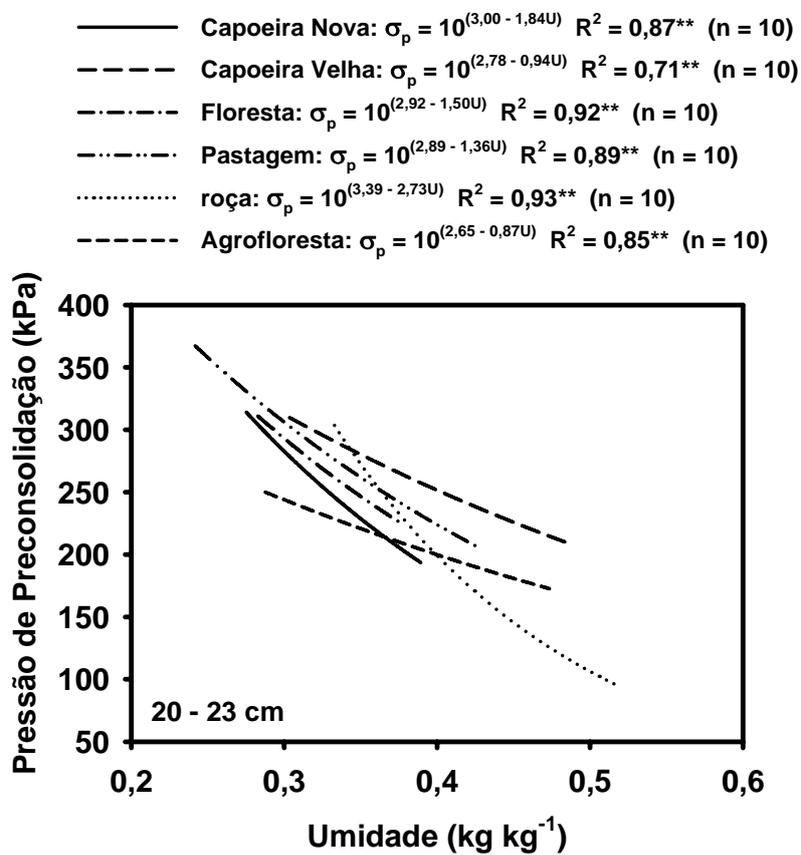


FIGURA 10 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 20-23 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

TABELA 4 Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + Bu)}$] de um Cambissolo para diferentes sistemas de uso na profundidade 0-3 cm de acordo com o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Sistemas de uso	Homogeneidade	Intercepto	Inclinação
		“a”	“b”
0 – 3 cm			
Capoeira Velha x Roça	H	ns	ns
Capoeira Velha e Roça x Floresta	H	ns	ns
Capoeira Velha, Roça e Floresta x Capoeira Nova	H	*	**
Capoeira Velha, Roça e Floresta x Agrofloresta	H	**	**
Capoeira Velha, Roça e Floresta x Pastagem	H	**	**
Capoeira Nova x Agrofloresta	H	ns	ns
Capoeira Nova e Agrofloresta x Pastagem	H	**	ns
Capoeira Nova e Agrofloresta x Capoeira Velha, Roça e Floresta	H	**	**

H = Homogêneo, NH = Não homogêneo, * = Teste F significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns = não significativo.

TABELA 5 Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + Bu)}$] de um Cambissolo para diferentes sistemas de uso na profundidade 10-13 cm de acordo com o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Sistemas de uso	Homogeneidade	Intercepto	Inclinação
		“a”	“b”
10 – 13 cm			
Capoeira Nova x Pastagem	H	ns	ns
Capoeira Nova e Pastagem x Agrofloresta	H	*	ns
Capoeira Nova e Pastagem x Capoeira Velha	H	**	ns
Capoeira Nova e Pastagem x Floresta	H	**	ns
Capoeira Nova e Pastagem x Roça	H	**	**
Capoeira Velha x Floresta	H	ns	ns
Capoeira Nova e Pastagem x Capoeira Velha e Floresta	H	**	ns
Capoeira Velha e Floresta x Roça	H	ns	**
Capoeira Velha e Floresta x Agrofloresta	H	**	ns
Roça x Agrofloresta	H	**	**

H = Homogêneo, NH = Não homogêneo, * = Teste F significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns = não significativo.

TABELA 6 Comparação dos modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a + Bu)}$] de um Cambissolo para diferentes sistemas de uso na profundidade 20-23 cm de acordo com o procedimento descrito em Snedecor & Cochran (1989).

Sistemas de uso	Homogeneidade	Intercepto	Inclinação
		“a”	“b”
20 – 23 cm			
Floresta x Pastagem	H	ns	ns
Floresta e Pastagem x Capoeira Velha	H	**	**
Floresta e Pastagem x Roça	H	ns	**
Floresta e Pastagem x Capoeira Nova	H	**	**
Agrofloresta			
Capoeira Nova x Capoeira Velha	H	**	**
Capoeira Velha x Roça	H	**	**
Capoeira Velha x Agrofloresta	H	**	ns
Capoeira Nova x Roça	H	ns	**
Capoeira Nova x Agrofloresta	H	ns	**
Roça x Agrofloresta	H	ns	**

H = Homogêneo, NH = Não homogêneo, * = Teste F significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = Teste F significativo ao nível de 1% de probabilidade e ns = não significativo.

Na profundidade 0-3 cm, os modelos de capacidade de suporte de carga para Capoeira Velha, Roça e Floresta não foram estatisticamente diferentes o que também ocorreu com Capoeira Nova e Agrofloresta. Nos sistemas de uso que não foram estatisticamente diferentes uma única equação foi ajustada a todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade gerando um único modelo de capacidade de suporte de carga para estes sistemas de uso (Figura 11).

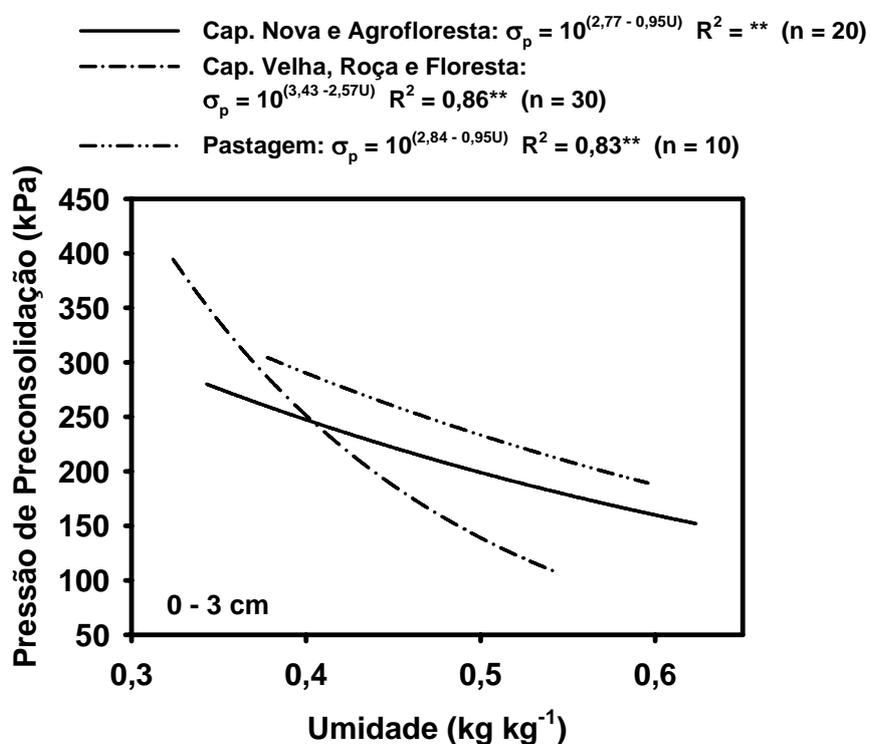


FIGURA 11 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 0-3 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

Na profundidade 0-3 cm, observa-se que, em qualquer condição de umidade, na qual foi desenvolvido o presente trabalho, a pastagem foi a que apresentou maior capacidade de suporte de carga indicando uma maior degradação da estrutura do Cambissolo nesta profundidade devido ao pisoteio animal corroborando com Kondo (1998). Para umidades menores do que 0,40 kg kg⁻¹, a Capoeira Nova e Agrofloresta foram os mais preservadores da estrutura do Cambissolo e portanto mais suscetíveis à compactação e Capoeira Velha, Roça e Floresta apresentaram um comportamento intermediário aos anteriores. Para umidades maiores do que 0,40 kg kg⁻¹, Capoeira Velha, Roça e Floresta foram mais preservadores da estrutura do solo e portanto mais suscetíveis à compactação e a Capoeira Nova e Agrofloresta apresentaram um comportamento intermediário aos anteriores. A maior suscetibilidade à compactação destes sistemas de uso pode estar relacionada à ação direta na formação de bioporos ou pela incorporação da matéria orgânica proveniente da decomposição das raízes ou devido à ação antrópica induzida pelo sistema de uso Agrofloresta.

Na profundidade 10-13 cm, os modelos de capacidade de suporte de carga para Capoeira Nova e Pastagem não foram estatisticamente diferentes o que também ocorreu com Capoeira Velha e Floresta. Nos sistemas de uso que não foram estatisticamente diferentes uma única equação foi ajustada a todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade gerando um único modelo de capacidade de suporte de carga para estes sistemas de uso (Figura 12).

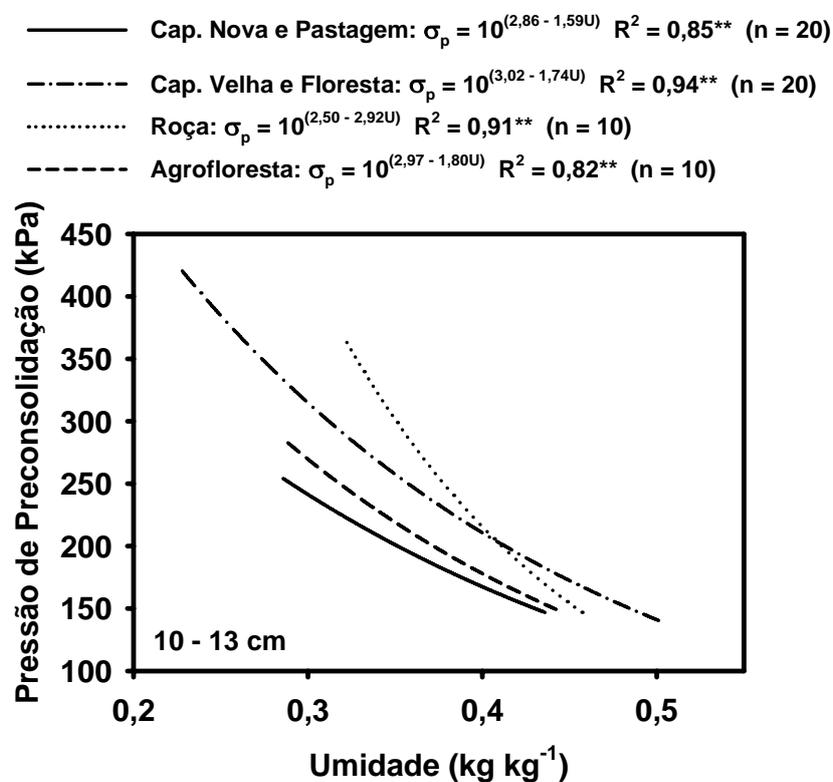


FIGURA 12 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 10-13 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

Na profundidade 10-13 cm, observou-se que para umidades menores do que $0,41 \text{ kg kg}^{-1}$, as quais representam a maior faixa de umidade dos diferentes sistemas de uso, a capacidade de suporte de carga e portanto a degradação da estrutura do Cambissolo decresceu na seguinte ordem: Roça > Capoeira Velha e Floresta > Agrofloresta > Capoeira Nova e Pastagem. A maior capacidade de suporte de carga apresentada na Roça é um indicativo da degradação da estrutura do Cambissolo que pode ter sido induzida pelo preparo visando à implantação de culturas. Já a menor capacidade de suporte de carga apresentadas pela Capoeira

Nova e Pastagem pode ser um indicativo da recuperação da estrutura do Cambissolo devido à incorporação da matéria orgânica provenientes da decomposição das raízes oriundas destes sistemas de uso.

Na profundidade 20-23 cm, os modelos de capacidade de suporte de carga para Floresta e Pastagem não foram estatisticamente diferentes e devido a isso uma única equação foi ajustada a todos os valores de pressão de preconsolidação e umidade gerando um único modelo de capacidade de suporte de carga para estes sistemas de uso (Figura 13).

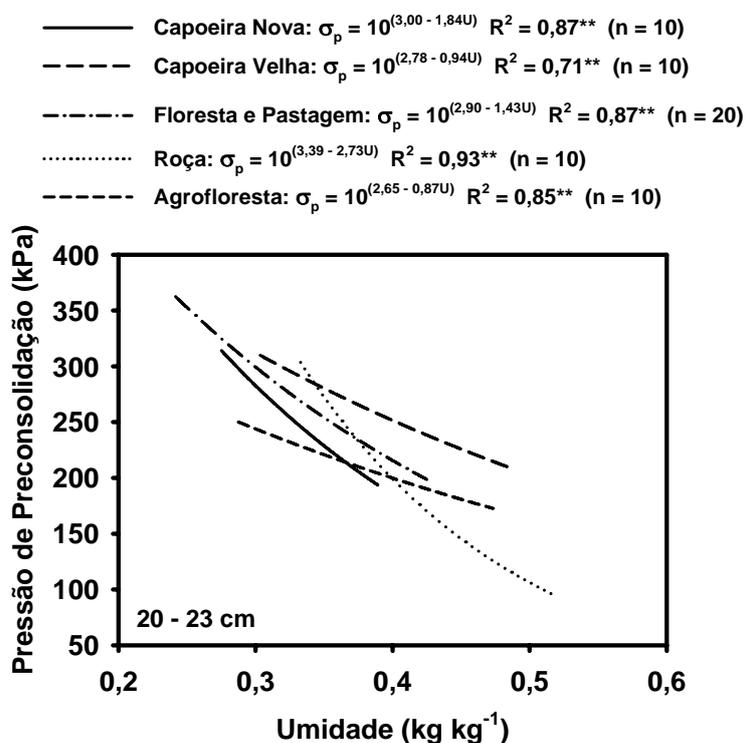


FIGURA 13 Modelos de capacidade de suporte de carga para um Cambissolo para a profundidade 20-23 cm submetido a diferentes sistemas de uso.

Na profundidade 20-23 cm, não foi observado comportamento distinto dos sistemas de uso quanto as suas capacidades de suporte de carga. Ficou evidenciado apenas a maior e menor capacidade de suporte de carga da capoeira velha e roça (para umidades maiores do que 0,40 kg kg⁻¹), sugerindo uma maior e uma menor degradação da estrutura respectivamente, sendo esta menor capacidade de suporte de carga na roça um indicativo de uma maior possibilidade de compactação em profundidade em cultivos futuros. Já maior degradação da estrutura pode estar relacionada ao adensamento natural do Cambissolo associado à compressão do solo pelas raízes grossas que ocupam os espaços que antes eram ocupados pelo solo.

5 CONCLUSÕES

Neste estudo a densidade do solo e a porosidade total não foram adequadas na quantificação da degradação da estrutura do Cambissolo.

Em geral, em um mesmo sistema de uso a profundidade 0-3 cm foi a que apresentou maior degradação da estrutura.

A profundidade 10-13 cm foi a que sofreu menor degradação da estrutura na capoeira nova, capoeira velha, pastagem e Agrofloresta (para umidades maiores do que 0,35 kg kg⁻¹).

A profundidade de 20-23 cm foi a que sofreu menor degradação da estrutura na floresta (para umidades menores do que 0,46 kg kg⁻¹), roça e Agrofloresta (para umidades menores do que 0,35 kg kg⁻¹).

Na profundidade 0-3 cm, o sistema de uso que mais degradou a estrutura do Cambissolo foi a pastagem.

Na profundidade 10-13 cm, em geral, a degradação da estrutura do Cambissolo decresceu na seguinte ordem: Roça > Capoeira Velha e Floresta > Agrofloresta > Capoeira Nova e Pastagem.

Na profundidade 20-23 cm, ficou evidenciada apenas a maior degradação da estrutura na capoeira velha e a menor degradação na roça (para umidades maiores do que $0,40 \text{ kg kg}^{-1}$).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality I: aggregate stability, carbon and nitrogen pools. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.100, n.1-2, p.89-98, Aug. 2008.
- AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; GONTIJO, I.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; VASCONCELOS JUNIOR, A. I. Relation of strength and mineralogical attributes in Brazilian latosols. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.1, p.14-18, Jan. 2009.
- ANDERSON, T.C.; LUKAS, R.G. Preconsolidation pressure predicted using S_u/p' ratio. Laboratory shear strength of soil. In: SYMPOSIUM OF THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 3., 1981, West Conshohocken. **Proceeding...** West Conshohocken: ASTM, 1981. p.502-515. (Special technical publications, 740).
- ARAUJO JUNIOR, C. F.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; PIRES, B. S. Resistência à compactação de um Latossolo cultivado com cafeeiro, sob diferentes sistemas de manejo de plantas invasoras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.23-21, jan./fev. 2008.
- ARVIDSSON, J. Subsoil compaction caused by heavy sugar beet harvesters in southern Sweden I. Soil physical properties and crop yield in six field experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.1-2, p.67-78, June 2001.
- ASSOULINE, S.; TAVARES, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.2, p.390-398, Mar./Apr. 1997.
- BARUSELLI, M. S. Erosão: um lento e contínuo processo de destruição dos solos. **Página Rural**, Porto Alegre, 5 mar. 2006. Disponível em: <<http://www.agrisus.org.br/artigos.asp?cod=21>>. Acesso em: 12 jan. 2009.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society Agronomy, 1986a. p.363-375. (Agronomy Monograph, 9).

BLAKE, G.R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: KLUTE, C. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison, American Society Agronomy, 1986b. p.377-382. (Agronomy Monograph, 9).

BOWLES, J. E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3. ed. Auckland: McGraw-Hill, 1986. 218 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radambrasil. **Folha sb. 19–Juruá: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1977. 436 p. (Levantamento de recursos minerais, 15).

BRUMUND, W.F.; JONAS, E.; LADD, C.C. Estimating in situ maximum past (preconsolidation) pressure of saturated clays from results of laboratory consolidometer test. **Transportation Research Board National Research Council**. Washington: National Academy of Science, 1976. p.4-12. (Special technical publications, 163).

BURMISTER, D. The application of controlled test methods in consolidation testing. In: ANNUAL MEETING OF THE ASTM. SYMPOSIUM ON CONSOLIDATION TESTING OF SOILS, 54., 1951, Philadelphia. **Proceedings...** Philadelphia: Soil Science of American, 1951. p.83-98. (Special technical publications., 126).

CASAGRANDE, A. The determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 3., 1936, Cambridge. **Proceedings...** Cambridge: ICSMFE 1936. p.60-64.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C. C.; ARAÚJO, F. de O.; SANTOS, H. G.; SANTOS, M. de L. M.; PÉREZ, D. V. **Solos das áreas-piloto do Projeto GEF BIOS (Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity: Phase I), Município de Benjamin Constant, Estado do Amazonas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 158 p. (Boletim de Pesquisa).

CRAWFORD, C.B. Interpretation of the consolidation tests. **Proceedings of the American Society of Civil Engineering**, New York, v.3, p.93-108, 1964.

CULLEY, J.L.B.; LARSON, W.E. Susceptibility to compression of a clay loam Haplaquoll. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, n.3, p.562-567, May 1987.

DAY, P. R. Particle fractionation and particle size analysis. In: KLUTE, C. A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2. ed. Madison: American Society Agronomy, 1986. p.545-567. (Agronomy Monograph, 9).

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic**. 1994. 114f. Tese (Doutorado em Solos e Culturas)–East Lansing State University, East Lansing.

DIAS JUNIOR, M.S.; FONSECA, S.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; SILVA, A.R. Soil compaction due to forest harvest operations. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.2, p.257-264, fev. 2007.

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

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JUNIOR, E.; ARAÚJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.3, p.248-255, maio/jun. 2005.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, n.2, p.175-192, jun. 1996.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, Amsterdam, v.8, n.8, p.139-151, Dec. 1995.

DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, S.R.; SANTOS, N.S.; ARAUJO JUNIOR, C.F. Assessment of the soil compaction of two Ultisols caused by logging operations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.6, p. 2245-2253, nov./dez. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Produção de Informação, 2006.306p.

ETANA, A.; COMIA, R. A.; HÅKANSSON, I. Effect of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.44, n.1-2, p.13-21, Dec. 1997.

GLAB, T.; KULIG, B. Effect of mulch and tillage system on soil porosity under wheat (*Triticum aestivum*). **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.99, n.2, p.169-178, June 2008.

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

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

GYSI, M. Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic Switzerland: field data and a critical state soil mechanics model approach. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.61, n.3-4, p.133-142, Sep. 2001.

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

HORN, R. Compressibility of arable land. **Catena**, Amsterdam, v.11, n.1, p.53-71, Mar. 1988.

HORN, R. Strength of structured soils to loading - a review of process on macro and microscale; European aspects. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C.(Ed.) **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1989. p.9-22.

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. Divisão de Energia Nuclear. **Capacidade da terra**. Disponível em: <http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/capacidade_terra.php>. Acesso em: 12 jan 2009.

ISHAQ, M.; IBRAHIM, M.; HASSAN, A.; SAEED, M.; LAL, R. Subsoil compaction effects on crops in Punjab, Pakistan: II. Root growth and nutrient uptake of wheat and sorghum. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.60, n.3-4, p. 153-161, July 2001.

JOSE, B. T.; SRIDHARAN, A.; ABRAHAM, B. M. Log-log method for determination of preconsolidation pressure. **Geotechnical Testing Journal**, Philadelphia, v.12, n.2, p. 230-237, June 1989.

KASSA, K. **Pore water pressure and some associated mechanical responses to uniaxial stress in structured agricultural soils**. 1992. 80p. (M.S. thesis)–University of Minnesota, Saint Paul.

KONDO, M. K. **Compressibilidade de Três latossolos sob diferentes usos**. 1998. 95 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

KONDO, M.K.; DIAS JUNIOR, M.S. Compressibilidade de três latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.211-218, fev.1999.

KOOLEN, A.J.; KUIPERS, H. **Agricultural soil mechanics**. New York: Springer, 1983. 241p.

LARSON, W. E.,; ALLMARAS, R. R. Management factors and natural forces as related to compaction. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R. I.; VANDEN BERG, G. E.(Ed.). **Compaction of agricultural soils**. Saint Joseph: ASAE, 1971. p.367-427.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C. Estimating critical stress in unsaturated soils from changes in pore water pressure during confined compression. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, n.6, p.1127-1132, Nov. 1980.

LARSON, W. E.; GUPTA, S. C.; USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n.3, 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.275-286, Feb. 1991.

LIPIEC, J.; KUŚ, J. SŁOWIŃSKA-JURKIEWICZ, A.; NOSALEWICZ, A. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.89, n.2, p.210-220, Sep. 2006.

McBRIDE, R.A. Estimation of density-moisture-stress function from uniaxial compression on unsaturated structured soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.13, n.3, p.383-397, Apr. 1989.

McBRIDE, R.A.; JOOSSE, P.J. Overconsolidation in agricultural soils: II. Pedotranfer functions for estimating preconsolidation stress. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.2, p.373-380, Mar./Apr. 1996.

MIRANDA, E. E. V.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; PINTO, J. A. O.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; LASMAR JUNIOR, E. Efeito do manejo e do tráfego nos modelos de sustentabilidade da estrutura de um Latossolo Vermelho cultivado com cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.6, p. 1506-1515, nov./dez. 2003.

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

RAIJ, B. V.; GUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 16 p. (Circular, 63)

REINERT, D.J. **Soil structural form and stability induced by tillage in a Typic Hapludalf**. 1990. 129p. Dissertation (Ph.D)–Michigan State University, East Lansing.

RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: A review toward managing the problem. **Advanced Soil Science**, Baltimore, v.11, n.1, p.1-36, Jan. 1990.

SANCHEZ, L. E. Recuperação de áreas degradadas: um campo multidisciplinar de pesquisas. Rio Claro: UNESP, 2006. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/pos/gma/Palestra.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2009.

SCHMERTMANN, J. H. The undisturbed consolidation behavior of clay. **Transaction of the American Society of Civil Engineering**, New York, v, 120, n.1, p.1201-1233, 1955.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; OLIVEIRA, L. F. C.; CASTRO, M. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e de um Cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1419-1427, set./out. 2008.

SIGMA PLOT, **Scientific Graphing Software**: versão 8.0. San Rafael: Jandel Corporation, 2002.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Atributos físicos de dois Latossolos afetados pela compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.4, p.842-847, out. 2006.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P.; Camada de resíduo e pressão de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.89-93, jan. 2007.

SINGH, B.; MALHI, S. S. Response of soil physical properties to tillage and residue management on two soils in a cool temperate environment. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.85, n.1-2, p. 143-153, Jan. 2006.

SILVA, A.R.; LIMA, J.M. & DIAS JUNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p. 219-226, maio 1999.

SNEDECOR, G. W.; COCHARAN, W. G. **Statistical methods**. 8. ed. Ames: Iowa State University, 1989. 503p.

TAYLOR, H. M. Effects of soil strength on seedling emergence, root growth and crop yield. In: BARNES, K. K.; CARLETON, W. M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R. I.; VANDEN BERG, G. E. **Compaction of agricultural soils**. Saint Joseph: ASAE, 1971. p. 292-305.

VEENHOF, D. W.; McBRIDE, R. A. Overconsolidation in agricultural soils: I. compaction and consolidation behavior of remolded and structured soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, n.2, p.362-373, Mar/Apr. 1996.

