

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB ESPÉCIES FLORESTAIS DA
MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE**

THIAGO RODRIGUES LYRIO BARBOSA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2012**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB ESPÉCIES FLORESTAIS DA
MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE**

THIAGO RODRIGUES LYRIO BARBOSA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2012

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SOB ESPÉCIES FLORESTAIS DA
MATA ATLÂNTICA NA REGIÃO SERRANA FLUMINENSE

THIAGO RODRIGUES LYRIO BARBOSA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovado em 16 de março de 2012

Comissão Examinadora:

Prof. Gilmar Santos Costa (D.Sc., Produção Vegetal) – IFF/Campus-Guarus

Prof^a. Deborah Guerra Barroso (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Elias Fernandes de Sousa (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) – UENF
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, o Pai celestial.

Aos meus filhos, esposa, pai, mãe e familiares.

Aos amigos encarnados e desencarnados.

Ao orientador, professores e colaboradores em geral.

A UENF, INEA, CAPES e a FAPERJ.

SUMÁRIO

		Página
1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1	Qualidade física do solo	3
2.2	Índices e indicadores da qualidade física do solo.....	4
2.2.1	Densidade do solo.....	6
2.2.2	Distribuição de poros por tamanho	8
2.2.3	Infiltração e condutividade hidráulica do solo	10
2.3	Efeitos de cobertura vegetal nos atributos físicos do solo	11
2.4	Espécies florestais.....	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	Localização e clima	19
3.2	Descrição da área e escolha das espécies	19
3.3	Caracterização do solo	21
3.4	Avaliação da qualidade físico-hídrica do solo.....	25
3.4.1	Avaliações realizadas em amostras indeformadas.....	25
3.4.2	Avaliações realizadas “in situ”	32
3.5	Análise estatística.....	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	Densidade, porosidade total e atributos do solo relacionados à distribuição por tamanho de poros	35
4.2	Água disponível e intervalo hídrico ótimo	45
4.3	Infiltração e condutividade hidráulica do solo	48
4.4	Índice de qualidade físico-hídrica do solo.....	57
5	RESUMO E CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

RESUMO

BARBOSA, Thiago Rodrigues Lyrio. Eng^o Agrônomo. M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2012. Atributos físicos do solo sob espécies florestais da Mata Atlântica na Região Serrana Fluminense. Orientador: Cláudio Roberto Marciano.

As ações do homem para a utilização do solo para diversas finalidades geralmente incluem a remoção da vegetação nativa. Para a agricultura, o desmatamento é feito objetivando a abertura de novas áreas de cultivo, sendo inerente a essa atividade a modificação dos atributos do solo. Para as áreas onde a agricultura e urbanização não são indicadas, a preservação das coberturas florestais nativas é o mais indicado. Quando se utiliza qualquer área acima do limite de sua capacidade de uso, a degradação dos recursos naturais pode atingir níveis elevados e levar à ocorrência de graves desastres ambientais. A recuperação de áreas degradadas por ações antrópicas é uma necessidade, e a maneira mais lógica e natural para que isso ocorra é sua revegetação. No presente trabalho fez-se a caracterização físico-hídrica de um solo da Região Serrana Fluminense, onde, entre 1993 e 1994, talhões de espécies florestais nativas da Mata Atlântica foram implantados, em substituição à pastagem. O objetivo foi avaliar a qualidade atual do solo sob algumas dessas espécies, gerando informações para diferenciar a eficiência de plantios homogêneos, em comparação à cobertura florestal heterogênea implantada na mesma época. A área localiza-se no Horto Florestal do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), em

Trajano de Moraes, RJ, sendo o solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos). No terço médio da encosta revegetada foram selecionados seis talhões com as seguintes coberturas vegetais: (i) jatobá; (ii) araribá; (iii) guapuruvú; (iv) angico-rajado; (v) roxinho; (vi) cobertura heterogênea. Nesses talhões foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. As amostras deformadas foram utilizadas para a caracterização química, granulométrica e da densidade de partículas do solo. As amostras com estrutura natural preservada foram utilizadas para a determinação de diversos atributos físico-hídricos indicadores da qualidade do solo. Foram realizados ensaios de campo para a determinação da velocidade de infiltração básica (infiltrômetro de duplo anel) e da condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado (infiltrômetro de tensão). As espécies florestais atuaram de forma distinta sobre o solo, levando à diferenciação nos teores de matéria orgânica e nos atributos relacionados à estrutura e à dinâmica da água, destacando-se o solo sob a cobertura florestal roxinho. Os resultados indicam que as coberturas florestais podem interferir na curva de retenção da água do solo, uma vez que índices dela derivados, como água disponível e intervalo hídrico ótimo, correlacionaram-se a atributos da estrutura do solo e ao teor de matéria orgânica. De modo geral, as coberturas florestais contribuíram para a melhoria e conservação dos atributos físicos e da dinâmica da água do solo na camada superficial, onde a deposição da serapilheira eleva o teor de matéria orgânica e deixa o solo mais poroso. O solo sob a cobertura florestal heterogênea consegue reunir a maioria dos atributos físico-hídricos considerados ambientalmente favoráveis, enquanto a contribuição das espécies nas coberturas homogêneas ocorre de acordo com suas particularidades individuais.

ABSTRACT

BARBOSA, Thiago Rodrigues Lyrio. Agricultural Engineer. M.Sc. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. February, 2012. Physical Properties of the Soil under Forest Species of the Atlantic Forest in the Highland Region of the Northern Rio de Janeiro State. Adviser: Cláudio Roberto Marciano.

Humans use the soil for various purposes, including native vegetation removal. Due to agriculture, it is necessary to provide more room for planting crops, thus changing soil properties and resulting in deforestation. It is always appropriate to preserve native forests in the areas where agriculture and urbanization are inadvisable. When the exploitation of an area exceeds the limits of land use, the depletion of natural resources may reach high levels and lead to severe environmental disasters. It is therefore necessary to recover the areas that were degraded by humans, and the most natural and logical process to achieve this is revegetation. In this research, we performed a physical and hydrological characterization of the soil in the highland region of the northern Rio de Janeiro state, where forest species native of the Atlantic forest were planted between 1993 and 1994, replacing pasture. The objective was to evaluate the quality of the current soil under some of these species and obtain information so as to distinguish the efficiency of homogeneous plantation, if compared to the heterogeneous vegetation cover implemented at the same time. The area is located in the Horto Florestal, a forest garden of the Rio de Janeiro State Environmental Institute (INEA), in the city of Trajano de Moraes, in the state of Rio

de Janeiro. According to the Soil Taxonomy (USDA), the studied soil is classified as Typic Haplohumults. In the middle third of the revegetated hillside, six stands were chosen with the following vegetation covers: (i) jatobá (*Hymenaea courbaril*); (ii) araribá (*Centrolobium tomentosum*); (iii) guapuruvú (*Schizolobium parahyba*); (iv) angico-rajado (*Leucochloron incuriale*); (v) roxinho (*Peltogyne angustifolia*), and (vi) heterogenous cover. In these stands, deformed and undeformed samples were collected in layers with depths of 0-0.10 m and 0.10-0.20 m. The deformed samples were used for chemical characterization, as well as for the characterization of the soil gradation and the density of soil particles. The samples with their well-preserved natural structure were used to determine several physical and hydrological properties responsible for indicating the quality of the soil. Field tests were conducted in order to determine the basic infiltration rate (double ring infiltrometer) and the hydraulic conductivity of the saturated and unsaturated soil (tension infiltrometer). The forest species had different performances over the soil concerning the amount of organic matter and the properties related to water structure and dynamics. The soil over the roxinho vegetation forest was the highlight. The results indicate that the vegetation covers can influence the water retention curve, as the indexes derived from the curve, such as available water and optimal water interval, were related to soil structure properties and to the amount of organic matter. Generally speaking, the vegetation covers have contributed to the improvement and preservation of the physical properties and of the topsoil water dynamics, where the deposition of plant litter increases the amount of organic matter, leaving the soil more porous. The soil under the vegetation cover has almost all of the physical and hydrological properties considered to be environmentally favorable, whereas the contribution of the species in the homogeneous covers occurs according to individual circumstances.

1 INTRODUÇÃO

De forma geral, os solos brasileiros são altamente intemperizados, apresentando mineralogia caulínica ou oxídica, baixa capacidade de troca catiônica e pequena reserva de nutrientes. Esses aspectos ficam evidenciados quando ocorre a retirada de árvores para implantação de pastagens, agricultura ou até mesmo para implantação de loteamentos urbanos. A matéria orgânica, mesmo presente em reduzido teor, talvez seja a principal responsável pela estrutura da camada superficial do solo. Assim, a constante degradação dessa matéria orgânica pela intensificação do uso agrícola e não utilização de práticas conservacionistas traz consequências negativas para os cultivos e para o ambiente. Estas consequências são o aumento do escoamento superficial, deslizamento de terras, formação de voçorocas e assoreamento de corpos d'água, dentre outras.

Para minimizar esses efeitos, uma alternativa é o plantio de espécies florestais, capazes de controlar a erosão hídrica devido à redução do impacto da chuva no solo, aumento da infiltração de água, manutenção do teor adequado de matéria orgânica e efeito agregador das partículas de solo (Houghton, 1984). Além disso, a formação de serapilheira no sistema torna-se fundamental para a melhoria dos atributos químicos, físicos e biológicos desse solo.

Segundo Reichert et al. (2003), solo com boa qualidade física é aquele que permite a infiltração, retém e disponibiliza água às plantas e aos corpos d'água, e, nas camadas superficiais, responde positivamente ao manejo

empregado, resistindo à degradação, permitindo as trocas térmicas e gasosas com a atmosfera e rizosfera e a expansão das raízes. De acordo com Ingaramo (2003), para se avaliar a qualidade do solo, alguns dos fatores físicos considerados apropriados são: densidade do solo, porosidade e distribuição do tamanho de poros, condutividade hidráulica, distribuição da granulometria, resistência mecânica e a profundidade em que as raízes crescem.

Áreas de taludes e de acentuada declividade são naturalmente instáveis. No entanto, características topográficas, geológicas e pedológicas é que vão determinar sua fragilidade ou resistência, havendo sempre um aumento do risco de deslizamento de terra em áreas descobertas. As raízes propiciam resistência mecânica aos solos, e sua ausência interfere na estabilidade de taludes (Bligh, 1987; Augusto Filho, 1994). A coesão do solo é acrescida nas regiões de contato íntimo entre o solo e a raiz, reforçando a resistência ao cisalhamento (Fiori e Carmignani, 2001; Orozco, 2009).

De acordo com Tabalipa e Fiori (2008), o desmatamento de uma encosta gera uma sequência de eventos prejudiciais. A princípio há uma redução significativa da proteção realizada pela parte aérea da floresta. Em seguida ocorre a redução da proteção mecânica promovida pelo sistema radicular e a decomposição dos tecidos vegetais que recobriam o solo, permitindo que as ações climáticas ocorram diretamente sobre a área desmatada, desestabilizando o solo dessa encosta (Gray, 1995). O reforço de raízes é influenciado pelo tipo e natureza da vegetação e pelas variações das condições e da qualidade física do solo local (Van Beek et al., 2005).

Há uma gama muito rica e diversificada de espécies nativas tropicais que necessitam ser estudadas, principalmente no que diz respeito à sua contribuição para a melhoria dos atributos físicos dos solos e para a proteção e conservação de solos de encostas.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a qualidade físico-hídrica do solo em uma área da Região Serrana Fluminense, anteriormente sob pastagem, onde talhões homogêneos de espécies florestais nativas da Mata Atlântica foram implantados, buscando identificar diferenças entre os plantios homogêneos dessas espécies e o plantio florestal heterogêneo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade física do solo

A expressão “qualidade do solo” pode ter diversas definições, principalmente em função dos processos em que o solo está envolvido. Para um arquiteto a definição será uma, enquanto para um agricultor ou um engenheiro abrangerá outros apontamentos que justifiquem dada terminologia. Merece destaque a definição que consta no glossário da Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA): “a qualidade do solo é um atributo intrínseco deste, o qual pode ser inferido a partir de suas características e propriedades ou observações indiretas” (Silva et al., 2010).

Stenberg (1999) enfatiza que nenhum indicador, individualmente, conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo, devendo haver relação entre o conceito de qualidade e os atributos do solo que justifiquem a escolha de certos indicadores. Os critérios para seleção de indicadores estão estreitamente relacionados com os principais objetivos determinantes da pesquisa junto ao ecossistema. Há uma pequena quantidade de indicadores ou atributos que podem ser medidos para se definir com segurança a qualidade do solo (Jong van Lier et al., 2010).

Ingaramo (2003) cita algumas das principais propriedades e fatores físicos considerados adequados para descrever a qualidade do solo, sendo elas a densidade, porosidade, distribuição dos poros por tamanho, condutividade

hidráulica, distribuição e tamanho de partículas e profundidade em que as raízes crescem.

Para Reichert et al. (2003), em se tratando de física do solo, a condição de elevada qualidade está associada à potencialização da infiltração, à retenção e à disponibilização da água às plantas e aos corpos hídricos, além de responder aos manejos e resistir à degradação, permitindo as trocas de calor e de gases com a atmosfera e as raízes das plantas, permitindo o crescimento das raízes.

A utilização e a forma de manejo empregado ao solo, inclusive o conteúdo de material orgânico depositado pelas plantas, influenciam na estrutura do solo, pois promovem maior porosidade e estabilidade dos agregados, e, ainda, a cobertura formada, tanto pela copa como pela serapilheira, compõem um isolante térmico que reduz a amplitude de variação de temperatura (Albuquerque et al., 2001; Salton e Mielniczuk, 1995).

2.2 Índices e indicadores da qualidade física do solo

Para se obter um índice e/ou avaliar a qualidade física de determinado solo, é necessário que se escolham um número mínimo de indicadores que se relacionem ao conceito de qualidade adotado.

Preocupado com aspectos relacionados à infiltração de água e a constante recarga hídrica do solo, Alvarenga (2010) propôs um índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea ($I_{QS_{RA}}$) que inclui como indicadores a condutividade hidráulica na saturação, a porosidade drenável (assumida, naquele trabalho, como correspondente à macroporosidade), a microporosidade e a densidade do solo. Este índice seguiu a mesma metodologia proposta por Karlen e Stott (1994), onde o $I_{QS_{RA}}$ é o resultado da soma dos indicadores escolhidos para representar determinada qualidade de solo (densidade- I_{DS} , microporo- I_m , infiltração- I_{K0} e macroporo- I_M), multiplicados pelos seus respectivos pesos ($I_{QS_{RA}} = I_{DS} \cdot 0,15 + I_m \cdot 0,25 + I_{K0} \cdot 0,30 + I_M \cdot 0,30$). É necessária a aplicação de uma função de normalização desses indicadores, de forma a serem expressos em uma escala que varia de 0 a 1. Karlen e Scott (1994) utilizaram a equação de normalização desenvolvida por Wymore (1993), a qual permite a construção de curvas do tipo “mais é melhor”, “menos é melhor” e “valor máximo ou ótimo”. O tipo de curva a ser escolhida é dependente da função

que o indicador no IQS_{RA} desempenha. O somatório que constitui o IQS_{RA} deve ser igual a 1. Karlen e Scott (1994) determinaram quatro funções para desenvolvimento do IQS_{RA} em seu trabalho com erosão, sendo uma delas relacionada à infiltração de água no solo, e esta função foi composta pelos seguintes indicadores: condutividade hidráulica (0,60), porosidade total (0,15) e macroporosidade (0,25).

Com o objetivo de integrar as principais propriedades físicas do solo determinantes do crescimento das plantas, e baseado nos pressupostos de Letey (1985), Silva et al. (1994) propuseram uma metodologia para determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo. O IHO é um parâmetro físico que incorpora os efeitos do conteúdo de água sobre as variações do potencial mátrico, aeração e resistência mecânica do solo. Tais particularidades tornam o IHO um índice útil para avaliar a qualidade estrutural do solo e o impacto das práticas de manejo sobre a produtividade sustentável do solo, com a vantagem de relacionar as limitações do solo diretamente com os fatores de resposta das culturas (Tormena et al., 1998).

As condições de umidade ideais para o desenvolvimento e crescimento das plantas ocorrem entre os limites superior e inferior do IHO (Kaiser et al., 2009). As condições são limitantes quando a umidade fica acima ou abaixo desses limites, e a situação torna-se crítica quando a densidade do solo fica acima de um valor onde o IHO é nulo (Silva e Kay, 1997; Collares et al., 2006). A densidade crítica obtida por meio do IHO auxilia na tomada de decisões diante das condições de manejo adotadas, ou a serem adotadas, em determinado solo (Kaiser et al., 2009).

Outro avanço na quantificação da qualidade estrutural do solo foi proposto por Dexter (2004), introduzindo o índice S, o qual corresponde ao ponto de inflexão da curva de retenção de água no solo (CRA). Nesse sentido, um maior valor de S indica melhor qualidade física do solo. Assim, o autor sugere categorias descritivas da qualidade física do solo, em termos correspondentes de S, onde: maior ou igual a 0,050, muito boa; entre 0,050 e 0,035, boa; entre 0,035 e 0,020, pobre; e menor que 0,020, muito pobre.

A seguir serão abordados alguns desses indicadores amplamente utilizados.

2.2.1 Densidade do solo

Os solos tropicais apresentam grande diversidade de valores de densidade, variando em função de suas características mineralógicas, da textura, e do teor de matéria orgânica. Essas variações dificultam a utilização desse atributo para quantificar o verdadeiro grau de compactação do solo. Como observado na Tabela 1, valores críticos de densidade do solo são muito variáveis em função da granulometria. No entanto, para um dado solo, com variações pouco expressivas de mineralogia, granulometria e teor de matéria orgânica, a densidade é um excelente indicador de compactação e, portanto, da qualidade física do solo.

Tabela 1. Valores críticos de densidade de solo baseados na observação de restrições em experimentos de campo.

Autor	Areia	Silte (g kg ⁻¹)	Argila	D _{s,c} (Mg m ⁻³)	Restrição
De Maria et al. (1999)	50	200	750	1,21	Redução do crescimento radicular da soja
Streck (2003)	614	297	89,3	1,79	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
				1,81	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja
Secco (2003)	221	224	555	1,62	Redução da produtividade do trigo, mas não da soja e do milho
	100	290	610	1,54	Redução da produtividade do trigo e do milho, mas não da soja
Beutler et al. (2004)	687	42	271	1,63	Redução do crescimento radicular e produtividade do arroz
Collares (2005)	217	176	607	1,49 a 1,53	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
	614	297	89,3	1,76	Redução do crescimento radicular do feijoeiro
				1,84	Redução do crescimento radicular e produtividade do feijoeiro
Suzuki (2005)	291	331	278	1,66	Redução do crescimento radicular da soja
	143	457	400	1,52	
	114	341	546	1,39	Redução do crescimento radicular e produtividade da soja e redução da produtividade do milho
	85	261	654	1,36	

Fonte: Reinert et al. (2006)

Segundo Reichert (2007), dentre as propriedades utilizadas para se avaliar a compactação do solo, talvez a densidade seja a mais segura, pois apresenta menor ou nenhuma dependência de fatores como a umidade, sendo

um importante mecanismo de identificação de qualidade de solo. Os limites críticos dos atributos físicos do solo que determinam o IHO estão estreitamente relacionados à densidade.

Em seu trabalho, Alvarenga (2010), mesmo considerando que a densidade tem efeito indireto nos aspectos relacionados à dinâmica de água, devido à sua importância nas avaliações de qualidade do solo, atribuiu a essa variável o valor de 0,15 (peso de 15%) para o cálculo do índice de qualidade do solo relacionado à recarga de água subterrânea.

A densidade do solo é um atributo que reflete primariamente o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características de seu espaço poroso. Assim, qualquer ação que possa influenciar o arranjo das partículas refletirá diretamente nos valores da densidade do solo. Resumindo, a densidade, em todos os aspectos, é extremamente dependente da estrutura (Jong van Lier, 2010).

Quando se compara diferentes solos ou camadas, costuma-se encontrar valores de densidade diversos, sendo isto reflexo das diferentes estruturas morfológicas que compõem o solo. Para se ter uma ideia, somente no horizonte diagnóstico subsuperficial Bw da classe de Latossolos do território brasileiro, são encontrados valores de densidade variando de 0,90 a 1,55 Mg m⁻³. Para esses solos os valores inferiores são associados à estrutura granular, enquanto os valores superiores estão associados à estrutura do tipo em blocos ou similar (Jong van Lier, 2010).

Deve-se ressaltar que a densidade do solo é uma variável de extrema importância a ser incluída nos estudos que dizem respeito em função do manejo, uso e conservação do solo relativo ao conteúdo de água no solo. A influência no teor de água afeta a consistência dos solos, fazendo com que os diferentes tipos de solos respondam de maneira diferente a semelhantes intervenções.

Em relação ao comportamento mecânico do solo, maiores teores de argila e de matéria orgânica provocam redução na amplitude das curvas de compactação, diminuindo a densidade do solo máxima e aumentando a umidade crítica de compactação (Silva et al., 1986; Ekwue e Stone, 1997). Isto decorre do fato de a argila e da matéria orgânica influenciarem significativamente o poder de adsorção de água do solo (Silva et al., 1986; Stone e Ekwue, 1993).

De acordo com Lima et al. (2004), a uma mesma densidade do solo e a um mesmo potencial de água, o solo é menos compressivo quanto menor o conteúdo de substâncias orgânicas e maior o conteúdo de argila. A um mesmo conteúdo de argila, o solo é mais compressivo quanto menor a densidade inicial e maior umidade.

Existem diversos métodos de determinação da densidade, que podem ser separados em métodos destrutivos e não destrutivos. Os métodos destrutivos são aqueles que necessitam da retirada das amostras do solo para se efetuar a análise, sendo esta retirada realizada com o mínimo de perturbação possível, de modo que se conserve sua condição natural. Os métodos não destrutivos são realizados em campo, sem a necessidade da coleta das amostras, sendo estes métodos que utilizam técnicas especiais e onerosas, que inclusive podem exigir a aplicação de energia nuclear, absorção de raios gama e raios x. Cada método tem suas vantagens e desvantagens, que são determinantes no momento das avaliações nos trabalhos de pesquisa.

2.2.2 Distribuição de poros por tamanho

O solo é composto por partículas minerais e orgânicas intimamente associadas, preservando entre si espaços não ocupados pelas partes sólidas, que compõem a porosidade do solo. Segundo Grohmann (1960), considerando-se um solo seco, seus poros se acham ocupados por ar, ao passo que em um solo saturado, eles se encontram completos com água, que também contém ar dissolvido. Assim, as quantidades presentes de água e ar são complementares e estão intimamente ligadas aos tamanhos dos poros.

Dentre as propriedades físicas sujeitas a alterações pelo intenso uso do solo, a porosidade total merece especial atenção, visto que nesses espaços se processam os principais fenômenos que regulam o desenvolvimento e a produção vegetal (Grohman, 1972). Segundo Carvalho et al. (1999), o cultivo intensivo e a frequente exposição do solo à ação direta das gotas de chuva promovem rápida degeneração das propriedades físicas da camada superficial, com a diminuição do espaço poroso que traz reflexos ao desenvolvimento das culturas.

Os poros geralmente são classificados em microporos e macroporos (Kiehl, 1979). Richards (1965) e USDA (1972) classificam em macroporos os

poros com diâmetro maior que 0,05 mm e microporos os com diâmetro menor que 0,05 mm. Outros autores incluem na classificação os mesoporos (Klein e Libardi, 2002), sendo esta uma classe intermediária, com diâmetro entre 0,03 e 0,10 mm.

O limite entre macroporos e microporos é tradicionalmente estabelecido pela umidade de equilíbrio em mesa de tensão a uma altura de sucção (h) de 0,6 m, que leva ao esvaziamento dos poros de diâmetro (d) maior que 50 μm . A relação entre h e d é estabelecida pela equação de Kelvin:

$$h = \frac{2\sigma \cos \alpha}{\rho_a g \left(\frac{d}{2}\right)} \quad (1)$$

onde σ é a tensão superficial da água, α é o ângulo de contato entre a água e o solo, ρ_a é a densidade da água e g é a aceleração da gravidade (Libardi, 1995).

Enquanto os microporos são responsáveis pelo armazenamento e retenção de água, os macroporos são os responsáveis pela infiltração da água e pela aeração do solo. Devido à importância deste atributo para a dinâmica da água do solo, Alvarenga (2010), em seu trabalho sobre indicadores da qualidade hidrológica do solo, atribuiu peso de 30% à macroporosidade. Para a microporosidade, que armazena a água infiltrada e a libera posteriormente de forma lenta, aos corpos hídricos, como deflúvio base, Alvarenga (2010) atribuiu peso de 25%.

Os solos de textura mais fina retêm maior teor de água. Tal condição se justifica pelo fato de possuírem maior porcentagem de material coloidal, maior espaço poroso e superfície adsortiva muito maior que os solos de textura mais grossa (Brady, 1989). A influência da textura do solo é muito grande na retenção de água. Entretanto, solos da mesma classe textural podem ter curvas de retenção diferentes, pois além da granulometria diversos outros fatores também interferem como o teor de matéria orgânica, tipo de argila, microestrutura e outros atributos a elas relacionados (Costa, 1979).

De acordo com Reichardt (1988), o solo é um grande reservatório de água para os vegetais e, em agricultura, todas as práticas de manejo de água visam à manutenção da sua disponibilidade em condições ideais para o desenvolvimento das culturas. Mesmo sendo um reservatório aberto para a atmosfera e para os horizontes mais profundos do perfil, os poros retêm água

pela interação desta com a matriz do solo. A retenção da água é frequentemente avaliada como uma função do nível de energia que decorre dessa interação, obtendo-se a chamada “curva de retenção da água no solo”. A curva de retenção, além de ser básica para avaliar a disponibilidade de água para as plantas, permite visualizar de forma completa a distribuição dos poros por tamanho, e não só a proporção entre macroporos e microporos.

2.2.3 Infiltração e condutividade hidráulica do solo

Em se tratando de avaliações dos atributos físicos do solo, a condutividade hidráulica é uma das avaliações mais importantes dos estudos ligados ao movimento da água no solo (Jong van Lier e Libardi, 1999; Gubiani et al., 2008). Assim, no contexto agrônômico, a condutividade hidráulica tem especial importância em estudos que envolvam a infiltração da água no solo (Swartzendruber, 1987; Wolfe et al., 1988), o seu deslocamento e redistribuição em nível de perfil do solo e na questão da disponibilidade de água nas raízes das plantas.

De acordo com Jong van Lier e Libardi (1999), o solo agrícola revela umidade inferior à saturação e, pela existência de uma função crescente entre condutividade e umidade, o valor da condutividade hidráulica sob a condição saturada é sempre superior ao das condições não saturadas, para o mesmo solo.

A capacidade de infiltração é uma propriedade que representa a intensidade máxima com que o solo, em dada condição e tempo, pode absorver a água da chuva ou da irrigação que chega à sua superfície. Esse processo, no entanto, não é estável ao longo do tempo. Em dado período de uma chuva ou irrigação, no início do evento, a velocidade de infiltração é máxima, e tende a decrescer em seguida, em função das características do solo, até atingir um valor constante, sendo este último conhecido por velocidade de infiltração básica (VIB) (Bernardo, 1989).

Vários são os fatores do solo que interferem na magnitude da velocidade de infiltração básica. Esses fatores estão associados aos atributos físicos do solo, da própria água, e do manejo adotado (Sales et al., 1999). Alguns indicativos relevantes e responsáveis pelas alterações nos valores da VIB são a textura (Daker, 1970), a estrutura (Resende et al., 1997), a mineralogia (Ferreira, 1988), o

manejo do solo (Dickerson, 1976), e a umidade inicial, para solos com argilas expansivas (Jabro, 1996).

Atributos físicos do solo relacionados à dinâmica da água, como a VIB e a condutividade hidráulica do solo saturado e não saturado, são de extrema importância para o funcionamento ecológico do solo. Jong van Lier (2010) menciona a pertinência de se considerar valores críticos de condutividade hidráulica do solo não saturado em índices relacionados à disponibilidade de água para as plantas. Alvarenga (2010), em seu índice de qualidade do solo relacionado à recarga hídrica, atribuiu o valor 30% à condutividade hidráulica do solo saturado (K_s), dada a importância deste indicador para as propriedades hidrológicas do solo.

2.3 Efeitos de cobertura vegetal nos atributos físicos do solo

As constantes perdas de condições desejáveis do solo, relacionadas com o desenvolvimento das plantas e o meio ambiente, têm sido constantemente avaliadas como degradação do solo (Reinert, 1997). Esta degradação prejudica o desenvolvimento vegetal e predispõe o solo à erosão hídrica acelerada (Albuquerque et al., 1995).

As definições de degradação referem-se às constantes perdas de produtividade dos solos, decorrentes da diminuição de substanciais quantidades de matéria orgânica, causando mudanças em atributos físicos e outras consequências adversas (Cruz et al., 2003). A matéria orgânica é considerada por muitos pesquisadores como o principal agente de estabilização dos agregados do solo (Tisdall e Oades, 1982; Castro Filho et al., 1998; Gang et al., 1998; Llanillo et al., 2006; Salton et al., 2008).

De acordo com Souza e Resende (2003), por meio da cobertura do solo, procura-se influenciar positivamente as qualidades físicas, bem como a diminuição da erosão, criando condições ótimas para o crescimento radicular.

Diversas práticas de manejo visam à manutenção da umidade no solo e, para Baver (1956), a matéria orgânica tem papel importante, uma vez que favorece a formação de agregados, aumentando a porosidade total e, conseqüentemente, a sustentação da umidade do solo.

Segundo Castro Filho et al. (1998), o manejo de restos culturais e cobertura morta, são eficientes para o aumento da capacidade produtiva dos solos e da produção de material orgânico, minimizando o efeito da compactação e dos processos erosivos dos solos cultivados. Monreal et al. (1997), Milne e Haynes (2004) e Vasconcelos et al. (2010) observaram influência positiva da camada vegetal morta sobre a proporção de agregados estáveis do solo, comprovando o benefício dela para a estrutura do solo.

O homem cada vez mais tem causado desequilíbrio no ambiente pela retirada constante da vegetação nativa, em função da abertura de novas áreas para produção agropecuária e exploração dos recursos madeireiros. A substituição da vegetação natural causa variações nos atributos do solo, e essas variam com as condições de clima, espécie vegetal e solo, mas pouco se sabe sobre a intensidade e causas dessas variações. Assim, um estudo comparativo detalhado entre camadas do solo, nas quais os efeitos das coberturas vegetais se fazem sentir com maior intensidade, pode contribuir para o entendimento das alterações e suas influências no sistema solo/planta (Kato et al., 2010).

Centurion et al. (2000) observaram que todas as formas de uso e manejo empregadas em seu trabalho (milho, cana-de-açúcar e pastagem) induziram, em ordem crescente a degradação das propriedades físicas do solo em relação ao solo natural (mata). Esta degradação foi quantificada através de maiores valores de resistência do solo à penetração e menores valores de velocidade de infiltração de água.

Em pesquisa semelhante, Araujo et al. (2004) compararam as propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado com culturas anuais e sob mata nativa, e observaram que o solo sob cultivo apresentou maiores valores de densidade e menores valores de porosidade total e de macroporosidade. A densidade do solo afetou a retenção de água, refletindo os efeitos do uso do solo. Sob mata nativa, o intervalo hídrico ótimo (IHO) foi igual à água disponível, enquanto que no solo cultivado esse intervalo foi menor. De forma geral, os solos de mata nativa, em seu estado natural, costumam apresentar, no aspecto agrônômico, características físicas extremamente desejáveis (densidade, permeabilidade, porosidade e estrutura) (Andreola et al., 2000).

Araújo et al. (2007), em um Latossolo Vermelho Amarelo sob diversos usos, estudaram a relação entre a qualidade e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, e observaram que, de modo geral, esta relação é afetada pelos diversos manejos. A qualidade do solo das áreas sob manejo foi inferior à verificada para aquele sob cobertura vegetal de Cerrado, sendo os indicadores de natureza física os que melhor refletiram a diferença entre as áreas avaliadas.

Os impactos diretos causados nos atributos físicos são reduzidos em um solo com cobertura vegetal, conforme descrito por Oyarzún et al. (1984). Segundo esses autores, da precipitação total que entra em um ecossistema florestal, certa quantidade é retida nas partes superiores e troncos de árvores (interceptação), e é devolvida à atmosfera por evaporação. Parte da água atinge diretamente o chão da floresta ou goteja das folhas e atinge o solo (precipitação direta), enquanto o restante vem escorrendo pelos troncos. Da quantidade total de água que eventualmente atinge o solo, uma parte escoar superficialmente, enquanto o restante infiltra em velocidade proporcional as características físicas do solo, reduzindo o processo de degradação do mesmo por erosão.

Em estudos realizados por Chen (1993), para se medir o efeito de diferentes sistemas de cobertura vegetal no controle de processos erosivos e escoamento superficial de água, em relação a florestas tropicais úmidas, constatou-se que a maior eficiência foi obtida em sistemas com mais de um estrato de cobertura vegetal. No mesmo contexto, Alvarenga (2010), em seu estudo, verificou que 70% do deflúvio total na sub-bacia hidrográfica do rio estudado, consiste do deflúvio base, que ocorre em função do processo de recarga subterrânea, evidenciando que a presença da Mata Atlântica é fundamental, produzindo condições físicas ao solo que facilitam o processo de infiltração, fazendo com que essa região funcione como um reservatório de captação de água. Em contrapartida, nestes trabalhos foi observado que nas áreas onde se pratica intensamente atividades agrícolas, ocorre redução dos índices de qualidade do solo, levando ao aumento do deflúvio superficial direto, o que, em termos conservacionistas, não é desejável.

2.4 Espécies florestais

A adequação ambiental de setores produtivos em muitos casos representa ganho de mercado e maior geração de emprego e renda, que dá dimensão econômica direta importante para as práticas conservacionistas (Brancaion et al., 2010). Neste contexto, a utilização de espécies florestais nativas diversas para recomposição, preservação e recuperação são fatores benéficos que ajudam a reduzir a vulnerabilidade dos solos tropicais.

Abundantes nos trópicos, as fabáceas despertam interesse para o múltiplo uso, já que, em sua maioria, são lenhosas e perenes, capazes de fixar nitrogênio atmosférico em associação com rizobactérias, comumente conhecidas como rizóbio, além de se adaptarem aos mais diversos ecossistemas brasileiros (Sprent, 1995; Soares e Rodrigues, 2008). Existem diversas espécies Fabáceas nativas e exóticas de múltiplo uso amplamente estudadas, como as acácias, leucenas, glicídia, erytrinas e mimosideaceas.

É de extrema importância dar continuidade às pesquisas no sentido de se encontrar espécies nativas de múltiplo uso, não apenas com utilidade de conservação de solo e do meio ambiente, mas que tenha também aptidão comercial. Assim, de fato, poderia existir um incentivo por parte daqueles que exploram o solo com cultivos inadequados ao potencial uso da terra, e que ainda não se sensibilizaram com relação à importância da conservação de um bem tão lentamente renovável, que é o solo.

A seguir destacam-se alguns aspectos de espécies florestais nativas do Brasil, de interesse tanto comercial quanto de preservação ambiental.

a) Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.)

O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) é uma árvore da família Fabacea Caesalpiniaceae encontrada a partir do México, passando pela América Central, ocorrendo abundantemente da Amazônia até o norte do Paraná. Atingindo de 10 a 15 m de altura, aparece nas matas de terra firme, rara no campo e nas capoeiras. A sua madeira é usada em obras hidráulicas, carroçarias, postes, tonéis, dormentes, construções de todas as espécies, móveis, laminados, esteios, tacos, entre outras utilidades. A resina que exsuda do seu tronco serve para composição de vernizes e já foi objeto de exportação (Loureiro et al., 1979).

Segundo Lorenzi (1992), é uma espécie pouco exigente em umidade e fertilidade do solo, normalmente ocorrendo em terrenos drenados. Os frutos contêm uma farinha comestível apreciada por homens e animais silvestres, de alto valor nutricional. Gusson et al. (2009) classificam a *H. courbaril* como uma espécie de estágio sucessional ecológico secundário tardio.

b) Araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill.)

A espécie *Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth. é encontrada desde a Bahia até o Rio Grande do Sul. O gênero *Centrolobium* é limitado à América do Sul, principalmente nas florestas úmidas (Bastos, 1952).

Sendo uma espécie decídua, particularmente do estrato superior das florestas estacionais semidecíduais da Mata Atlântica, o *C. tomentosum* ocorre principalmente em áreas bem drenadas da mata ciliar (Joly et al., 2000). É uma espécie recorrente em mais da metade das áreas de florestas estacionais (Salis et al., 1995).

Em pesquisa realizada por Bastos (1952), esta espécie arbórea caracteriza-se como uma das mais importantes na estruturação do fragmento florestal, pois tem crescimento rápido, boa dispersão, formação de copa, qualidade de madeira para diversas utilizações e, com isso, grande potencial silvicultural.

Com esse conjunto de características de desenvolvimento e regeneração, pesquisadores sugerem sua classificação como espécie secundária inicial (Aidar, 1992; Gandolfi, 2000), que apresenta crescimento rápido para uma espécie de sucessão ecológica secundária. Apresenta também nodulação nas suas raízes e boa capacidade de absorção de nitrato (Aidar, 1992).

É uma espécie decídua que perde todas as suas folhas durante a estação seca, sendo reconhecida por Aidar e Joly (2003) pela sua capacidade de absorver N do solo e pela sua abundante produção de serapilheira de boa qualidade nutricional. A produção anual média por indivíduo chega a atingir 4,2 kg de serapilheira, sendo que os folíolos representaram 63,2%, as raques 19,0% (total de folhas 82,2%), as flores 10,1% e os frutos 7,7% do total da serapilheira produzida durante o período de estudo. Segundo Rodrigues e Nave (2000), em relação a outras espécies estudadas, *C. tomentosum* contribuiu com 0,37 a 12 vezes mais N; com 2,7 a 9 vezes mais P; com 2 a 3 vezes mais K, de 5 a 9 vezes mais Ca; e de 4 a 19 vezes mais Mg (Tabela 2).

Tabela 2. Produção da fração foliar de serapilheira por indivíduo de espécies arbóreas nativas, por ano ($\text{kg ind}^{-1} \text{ano}^{-1}$), e suas contribuições na transferência de nutrientes para o solo ($\text{g ind}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

Espécie	Família	kg ind ⁻¹ ano ⁻¹	g ind ⁻¹ ano ⁻¹				
			N	P	K	Ca	Mg
<i>Centrolobium tomentosum</i> Guill. ex Benth. ¹	Leguminosae	3,43	54,3	2,9	14,2	67,0	23,0
<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Brenan ²	Leguminosae	1,75	34,0	1,1	5,8	12,7	2,8
<i>Astronium urundeuva</i> (Fr. All.) Engl. ²	Anacardiaceae	0,92	13,0	1,0	5,3	9,6	2,4
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart.) Standl. ²	Bignoniaceae	0,39	4,5	0,3	4,2	7,8	1,2

¹Aidar e Joly (2003); ²Garrido e Poggiani (1982), modificado para fins de comparação; espécies ocorrentes em matas ciliares do Brasil extra-amazônico (Fonte: Rodrigues e Nave, 2000).

Aidar e Joly (2003) recomendam a espécie como uma alternativa para utilização na recuperação de matas ciliares no sudeste do Brasil, especialmente sobre solos esgotados pelo uso agrícola, pois suas características favorecem a retenção de nutrientes e sedimentos, características as quais são no mínimo interessantes aos atributos físicos do solo.

c) Guapuruvú (*Schizolobium parahyba*)

Difundida popularmente como guapuruvú ou ficeira, a *Schizolobium parahyba* (Veloso) Blake, é uma espécie nativa da Mata Atlântica de grande importância econômica e interesse científico (Pietrobon e Oliveira, 2004; Carvalho Filho, 2005). Sua madeira é bastante utilizada na confecção de objetos para o aeromodelismo e veículos aquaviários, em função de sua baixa densidade (Rizzini, 1978). De acordo com Lorenzi (1992), a madeira é bastante utilizada na confecção de diversos utensílios, como; portas, arremates, brinquedos, tábuas para assoalho e souvenirs.

Estudos tecnológicos desta espécie destacam algumas peculiaridades da madeira, como a baixa suscetibilidade ao ataque de agentes biológicos, garantindo certa durabilidade (Richter et al., 1974). No entanto (Pereira et al., 2011), em trabalho avaliando métodos de escarificação de sementes foi observado que estas apresentam dormência por impermeabilidade do tegumento, o que pode ser um entrave para a produção em larga escala.

A *S. parahyba*, devido ao seu rápido crescimento no campo, podendo atingir facilmente 10 m de altura no período de dois anos, se destaca em recuperação de áreas degradadas, plantios de reflorestamento, ou aqueles que

visam à preservação permanente. É uma espécie da família Fabaceae Caesalpinioideae, árvore pioneira natural da Mata Atlântica da Região Sudeste do país. Após a abertura dos frutos, suas sementes expõem uma parte do pericarpo, em formato de hélice, que realizam um diferenciado padrão de dispersão alado (Pietrobon e Oliveira 2004; Carvalho Filho, 2005).

Carvalho Filho (2005), testando deficiência hídrica em *S. parahyba*, concluiu que, pelas características de suas folhas (biparipenadas), seguramente apresenta maior tolerância à radiação incidente, podendo ser submetida, assim, à grande perda de água.

d) Angico-rajado (*Leucochloron incuriale* (Vell.) Barneby & J.W.Grimes / *Pithecellobium incuriale*)

Sendo uma árvore bastante difundida, a *Leucochloron incuriale*, sinonímia botânica *Pithecellobium incuriale*, é conhecida popularmente como angico-rajado, Chico-Pires e cortiça, este último em função de sua casca ser espessa, mas com aparência macia. Possui potencial apícola, sendo suas flores visitadas tanto pelo seu néctar como pelo pólen.

A *L. incuriale* é uma espécie da família das Fabaceae Mimosoideae, com poucos relatos de pesquisas, mas citada em levantamentos florísticos. Os poucos autores que a descrevem (Albuquerque e Rodrigues, 2000; Cielo Filho e Santin, 2002 e Candiani, 2006), o fazem como uma planta de sucessão ecológica classificada como secundária inicial, de floresta estacional semidecidual de mata ciliar. A literatura indica que *L. incuriale* é fixadora de nitrogênio, mas sem pesquisas que comprovem sua eficiência e a contribuição de sua serapilheira para os atributos físicos do solo.

e) Roxinho (*Peltogyne angustiflora* Ducke)

Peltogyne é um gênero neotropical, podendo ser encontrado na América central, se estendendo para América do Sul, tendo no Brasil o centro de diversidade na Amazônia Central (Silva, 1976).

Muito conhecida pela sua dureza e resistência ao ataque de insetos, a *Peltogyne angustiflora* é conhecida como roxinho ou pau-roxo, devido à sua característica singular da coloração de sua madeira, que é avermelhada a violácea (Silva et al., 2009).

Sua madeira tem propriedades que conferem durabilidade com relativa leveza, fazendo dela uma ótima opção para cabos de ferramentas de impacto, como enxada, marretas e martelos, sendo também muito utilizada nas construções rurais, em tábuas, réguas de currais e vigas.

Pesquisas na Reserva Biológica União (Rebio), realizadas por Lima (2002) e Pinto Sobrinho (2007), registraram a presença de espécies arbóreas da Mata Atlântica muito raras, atualmente destacando-se entre elas a *P. angustiflora*. Segundo Souza et al. (2003), esta espécie pertence ao grupo ecológico das secundárias tardias e à recomenda para áreas de preservação permanente, pois possui considerável taxa de regeneração natural.

Da família Fabaceae Caesalpinioideae, a *P. angustiflora* é fixadora de nitrogênio, no entanto, são poucas pesquisas sobre este gênero que comprovam sua eficiência e a contribuição da serapilheira para os atributos físicos do solo, (Gandolfi, 2000; Pinto Sobrinho, 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e clima

O presente trabalho foi realizado em talhões de plantios florestais homogêneos e heterogêneos de espécies nativas da Mata Atlântica. Os talhões estão localizados no Horto Florestal do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), antigo Instituto Estadual de Florestas (IEF), no Município de Trajano de Moraes, situado na Região Serrana Fluminense, nas coordenadas geográficas E802950 S7555800 UTM. Os talhões homogêneos foram plantados nos anos de 1992 a 1994, enquanto a área heterogênea entre 1993 e 1995.

O clima na região é subtropical (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, ocorrendo precipitações médias anuais de 1.100 mm com estações de estiagem no inverno, altitude média de 660 m, clima ameno de temperatura anual média de 20 °C (Oliveira et al., 1998).

3.2 Descrição da área e escolha das espécies

A área onde se localiza o Horto Florestal do INEA era inicialmente coberta, predominantemente, por sapê (*Imperata brasilienses*) e capim gordura (*Melinis minutiflora*), onde predominava a criação extensiva de gado e a prática comum de atear fogo como manejo de limpeza das pastagens (controle da mato-competição), ocasionando um certo grau de degradação. Entre os anos de 1992 e 1994, já em posse do Governo do Estado, a área foi reflorestada durante estabelecimento do Horto Florestal do INEA, para fins de preservação ambiental. Atualmente o horto possui talhões homogêneos com 25 espécies florestais

nativas que totalizam uma área pouco maior que 1,0 ha, além da área onde foram plantadas aleatoriamente 30 espécies florestais, formando uma área heterogênea.

Para implantação tanto dos talhões homogêneos quanto da área heterogênea, as mudas foram produzidas pelo próprio Horto, com sementes coletadas na região, que ainda possui muitos fragmentos de mata nativa conservados. O preparo inicial para a realização do plantio foi através da capina manual e abertura de covas com dimensões de 40 x 40 x 40 cm no espaçamento 3 x 3 m, que receberam adubação mineral (formulado NPK) e orgânica (esterco bovino).

No ano de 1992 foram implantados 12 talhões de espécies florestais nativas, contendo 49 indivíduos arbóreos cada um, totalizando uma área de 5.292 m². No ano seguinte, 1993, foram implantados seis talhões, contendo 42 indivíduos arbóreos cada, totalizando uma área de 3.402 m². Em 1994 foram implantados sete talhões, contendo 25 indivíduos arbóreos cada, totalizando uma área de 2.250 m². Não ocorreu ataque intenso de pragas, como coleópteros e formigas saúva, sendo esta última preventivamente controlada com iscas formicidas antes e após se efetuar os plantios. Nos dois anos seguintes, 1995 e 1996, ocorreu o replantio nos talhões.

Na área heterogênea foram plantadas diversas espécies, fixadoras ou não de nitrogênio e de diferentes grupos ecológicos, sendo elas: *Ocotea* spp., *Tibouchina granulosa*, *Cassia grandis*, *Plinia edulis*, *Caesalpinia férrea* var. *leiostachya*, *Gallesia integrifolia*, *Chorisia speciosa*, *Handroanthus albus*, *Peltophorum dubium*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Piptadenia gonoacantha*, *Dalbergia nigra*, *Campomanesia* spp., *Plathymentia foliolosa*, *Zeyheria tuberculosa*, *Trichilia hirta*, *Myroxylon peruiferum*, *Cedrela fissilis*, *Jacaranda* spp., *Nectandra* spp., *Handroanthus heptaphyllus*, *Gallesia integrifolia* e *Handroanthus chrysotrichus*.

Ao longo do tempo foi formado um sub-bosque com as espécies de plantas que ocorrem na região, de modo que, mesmo onde foram plantadas espécies homogêneas, diversas espécies com menor porte compartilham a área.

A área plantada ocupa desde a porção mais elevada do Horto até a proximidade do viveiro de mudas em sua cota inferior. Os talhões possuem declividade em torno de 15° (de 25 a 30%). As espécies escolhidas para o presente trabalho estão em mesma cota, de modo a minimizar eventuais

diferenças de solo que pudessem refletir em diferenças entre os talhões. Não se levou em consideração o grupo ecológico de cada espécie (se pioneira, secundária ou clímax), sendo escolhidas as seguintes Fabaceae: jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill.), guapuruvú (*Schizolobium parahyba*), angico-rajado (*Leucochloron incuriale* (Vell.) Barneby & J.W. Grimes) e roxinho (*Peltogyne angustiflora* Ducke). Os referidos talhões estão distribuídos no campo na sequência acima mencionada, e a área sob plantio heterogêneo, utilizada para coleta, é subsequente ao talhão sob roxinho.

3.3 Caracterização do solo

Os solos que predominam na região são os que anteriormente eram classificados como Podzólico Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo, ambos eutróficos, com argila de baixa atividade (Tb), horizonte A moderado, textura arenosa/média, em relevo suave e ondulado (Oliveira et al., 1998). Pelo atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), tais solos corresponderiam, respectivamente, ao Argissolo Vermelho e ao Argissolo Vermelho Amarelo.

Para a caracterização inicial do solo da área estudada, foram coletadas amostras compostas em cada talhão, nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, utilizando um trado tipo sonda. Tais amostras foram homogeneizadas, ensacadas e encaminhadas ao Laboratório da UFRRJ – Campus Leonel Miranda, para a caracterização química, e ao Laboratório de Solos da UENF/CCTA, para as determinações da densidade de partículas e análise granulométrica.

Para a determinação da densidade das partículas foi utilizado o método do balão volumétrico com álcool (EMBRAPA, 1997). Para a determinação da composição granulométrica, 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foram colocadas em um frasco de 800 mL, adicionando-se 200 mL de solução de hidróxido de sódio $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, sendo a dispersão mecânica feita em mesa agitadora recíprocante a 120 ciclos por minuto, pelo período de 16 horas. Após isso, a maior fração (areia) foi separada por tamisamento em peneira de 0,053 mm. A suspensão contendo as frações menores (silte e argila) foi coletada em proveta de 1 L, que teve seu volume completado. Em seguida a suspensão foi submetida

ao processo de sedimentação para determinação da argila pelo método da pipeta, coletando-se uma alíquota de 50 mL. Tanto a areia quanto a argila coletadas foram levadas a uma estufa a 105°C por 48 horas, para secagem e posterior pesagem. O silte foi determinado pela diferença entre a massa de terra fina seca em estufa (TFSE) utilizada e a massa das demais frações.

Os valores de densidade das partículas (DP), composição granulométrica e a respectiva classificação textural são apresentados na Tabela 3, para cada talhão e profundidade estudados. A densidade das partículas mostrou-se pouco variável entre os talhões (para a camada 0-0,10 m variou entre 2,61 e 2,68 Mg m⁻³, e para a 0,10-0,20 m entre 2,65 e 2,68 Mg m⁻³). As frações granulométricas, no entanto, apresentaram variações mais expressivas, sendo que para a camada mais superficial os teores de areia variaram de 340 a 455 g kg⁻¹ e os de argila de 357 a 541 g kg⁻¹, enquanto para a camada mais profunda verificou-se teores de areia de 320 a 454 g kg⁻¹ e de argila de 368 a 571 g kg⁻¹. Verifica-se que a camada superficial apresenta textura um pouco mais grosseira (classes argila e argila arenosa) que a subsuperficial (predominantemente na classe argila). Verifica-se, ainda, que a composição granulométrica apresentou variação com estrutura espacial (Figura 1), tornando-se a textura mais fina dos primeiros para os últimos talhões. Tais variações granulométricas do solo entre as diferentes coberturas florestais foram levadas em consideração para a interpretação dos demais resultados do presente trabalho. Admitiu-se a ausência de diferenças relevantes em outros atributos relacionados à matriz do solo (como não houve para a DP, a qual é reflexo da natureza mineralógica do solo) que pudesse interferir nas interpretações acerca do efeito das coberturas vegetais.

Na Tabela 4 encontram-se os dados da análise química do solo, incluindo as metodologias utilizadas. Verifica-se que os talhões apresentaram valores de pH relativamente baixos, tendo como explicação fundamentada por Barreto et al. (2006) que os solos sob floresta geralmente apresentam menores valores de pH, uma vez que a mineralização da matéria orgânica e os exsudatos ácidos liberados pelas raízes das plantas contribuem para acidificar o solo. Os níveis de Ca e Mg apresentados são aceitáveis nas áreas.

Tabela 3. Densidade de partículas (DP), composição granulométrica e classe textural do solo dos talhões nas coberturas vegetais estudadas.

Cobertura	DP ----(Mg m ⁻³) ----	0-0,10 m			Classe textural
		Areia ------(g kg ⁻¹)-----	Silte	Argila	
Jatobá	2,62	455	144	400	argila arenosa
Araribá	2,61	454	189	357	argila arenosa
Guapuruvú	2,64	490	147	363	argila arenosa
Angico-rajado	2,65	424	136	440	argila
Roxinho	2,64	397	121	482	argila
Heterogêneo	2,68	340	119	541	argila
0,10-0,20 m					
Jatobá	2,67	423	135	443	argila
Araribá	2,65	454	178	368	argila arenosa
Guapuruvú	2,68	415	149	435	argila
Angico-rajado	2,65	391	131	478	argila
Roxinho	2,65	354	115	531	argila
Heterogêneo	2,66	320	109	571	argila

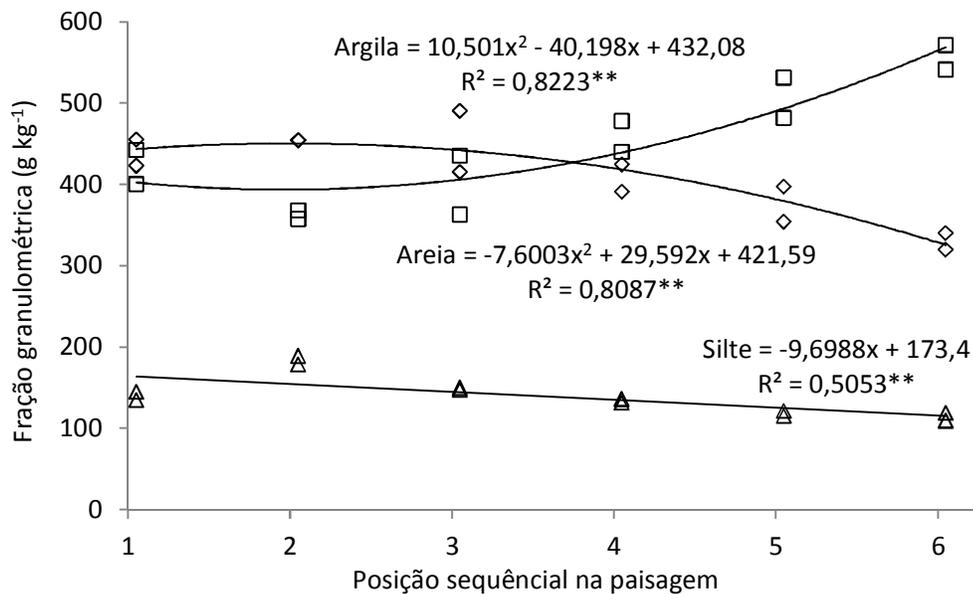


Figura 1. Relação entre as frações granulométricas das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m e a posição sequencial na paisagem (\diamond = areia; Δ = silte; \square = argila). Obs: ******significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student.

Tabela 4. Propriedades químicas do solo sob as coberturas florestais estudadas, nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, e nos horizontes identificados no perfil de solo.

Cobertura	pH _{H₂O}	P ---mg dm ⁻³ ---	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	Na ⁺	C %	MO g dm ⁻³	S.B. -----cmol _c dm ⁻³ -----	T	t	m -----%-----	V
Jatobá	4,9	2,6	59,1	1,9	0,8	0,71	6,7	0,02	1,9	32,9	2,9	9,6	3,6	23,2	29,0
Araribá	5,3	2,7	67,6	1,6	1,3	0,41	8,2	0,02	2,0	34,7	3,3	11,2	3,5	14,1	26,5
Guapuruvú	5,2	3,5	73,2	2,1	1,1	0,45	8,1	0,02	2,4	41,7	3,5	11,6	3,9	12,6	29,7
Angico-Rajado	4,7	1,8	74,0	1,1	0,7	2,14	6,3	0,02	2,8	47,6	1,9	8,2	4,1	46,6	27,3
Roxinho	4,8	1,9	83,8	1,1	0,8	1,39	10,5	0,03	2,9	50,1	2,2	12,6	3,6	40,6	16,9
Heterogêneo	4,0	14,0	74,0	0,6	0,5	4,7	12,1	0,09	2,1	35,9	1,4	13,5	6,1	77,0	10,0
0,10-0,20 m															
Jatobá	4,2	6,0	29,0	0,2	0,3	3,1	6,8	0,05	0,96	16,6	0,6	7,4	3,7	83	8
Araribá	4,3	9,0	36,0	0,7	0,4	2,6	5,9	0,06	1,12	20,9	1,3	7,2	3,9	67	18
Guapuruvú	4,2	4,0	22,0	0,3	0,3	2,6	6,3	0,04	0,96	16,6	0,7	7,0	3,3	79	10
Angico-Rajado	4,1	6,0	38,0	0,6	0,4	3,0	8,2	0,05	1,59	27,4	1,1	9,3	4,4	72	12
Roxinho	4,1	8,0	48,0	0,3	0,2	4,3	10,0	0,08	1,42	24,5	0,7	10,7	5,0	86	7
Heterogêneo	4,1	8,0	38,0	0,3	0,2	4,4	10,0	0,07	1,42	24,5	0,7	10,7	5,1	87	6
Perfil do solo															
A (0-0,10 m)	4,0	14,0	74,0	0,6	0,5	4,7	12,1	0,09	2,1	35,9	1,4	13,5	6,1	77,0	10,0
AB (0,10-0,30 m)	4,1	8,0	38,0	0,3	0,2	4,4	10,0	0,07	1,42	24,5	0,7	10,7	5,1	87	6
BA (0,30-0,42 m)	4,2	7,0	19,0	0,2	0,1	4,1	10,0	0,06	1,32	22,8	0,4	10,4	4,5	91	4
B1 (0,42-0,72 m)	4,2	7,0	19,0	0,2	0,1	3,7	9,4	0,07	1,21	20,9	0,4	9,8	4,1	90	4
B2 (0,72-0,92 m)	4,2	7,0	14,0	0,2	0,1	3,2	8,2	0,04	1,11	19,1	0,4	8,6	3,6	89	4
B3 (0,92-1,10 ⁺ m)	4,2	7,0	14,0	0,1	0,1	2,4	9,9	0,04	0,87	15,0	0,3	9,3	2,7	90	3

pH em água (1:2,5); P, Na, K – Extrator Mehlich 1; Ca, Mg, Al – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H + Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0; SB = Soma de bases trocáveis; CTC – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V = Índice de saturação de bases; m = Índice de saturação de alumínio; Matéria orgânica (MO) = C.Org x 17,24 – Walkley & Black.

Ainda para a caracterização inicial do solo foi aberta, na área de plantio heterogêneo, uma trincheira para a descrição morfológica do perfil. Os procedimentos foram realizados de acordo com as recomendações do “Manual de descrição e coleta de solos no campo” (Santos et al., 2005), estando os resultados e a classificação do solo apresentados na Tabela 5. Delimitados os horizontes, procedeu-se a coleta de amostras de solo, tanto com estrutura deformada (amostra simples) quanto com estrutura natural preservada. Da mesma forma que descrito anteriormente, as amostras deformadas foram utilizadas para a caracterização química e determinação da densidade das partículas e composição granulométrica do solo, estando os resultados da análise química apresentados na Tabela 4 e os de densidade das partículas e granulometria na Tabela 6. As amostras com estrutura natural preservada (ou amostras indeformadas) foram utilizadas para as análises descritas no item 3.4.1.

3.4 Avaliação da qualidade físico-hídrica do solo

3.4.1 Avaliações realizadas em amostras indeformadas.

Além da coleta de amostras deformadas descrita no item 3.3, destinadas à caracterização química, granulométrica e da densidade de partícula do solo nos talhões e nos horizontes do perfil de solo descrito, foi realizada também a coleta de amostras com estrutura natural preservada (amostras indeformadas), destinadas à caracterização de atributos físicos relacionados à qualidade estrutural do solo. Para essa coleta foram utilizados anéis volumétricos de dois tamanhos, e amostradores tipo Uhland. Os anéis menores tinham cerca de 50 mm de altura e diâmetro interno (volume aproximado de 100 mL), e os maiores cerca de 70 mm de altura e diâmetro interno (volume aproximado de 270 mL), tratados no texto como anéis pequenos e anéis grandes, respectivamente.

Tabela 5. Descrição morfológica do perfil de solo e classificação pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos-SiBCS (Embrapa, 2006) e pelo sistema americano "Soil Taxonomy" (Soil Survey Staff, 2010)

Localização do perfil: Horto Florestal do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), Trajano de Moraes – RJ, coordenadas geográficas E802950 S7555800 UTM.

Uso atual: Cobertura florestal nativa mista.

Classificação: Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (SiBCS); Typic Haplohumults (Soil Taxonomy).

Descrição morfológica:

A 0-0,10 m; bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/3, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/3, seco); argiloso; blocos médios a pequeno moderado / granular médio moderado a forte; duro, friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

AB 0,10-0,30 m; bruno-avermelhado (5YR 4/4 úmido), vermelho-amarelo (7,5YR 4/6 seco); argiloso; blocos subangulares médio a grande; cerosidade comum moderada; ligeiramente duro, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa.

BA 0,30-0,42 m; vermelho (5YR 4/6, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/4 seco); muito argiloso; blocos subangulares médio a pequeno; cerosidade comum e moderada; ligeiramente duro, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

B1 0,42-0,72 m; bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/4 seco); muito argiloso; blocos subangulares médio moderado; cerosidade pouco e fraca; ligeiramente duro, muito friável, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual.

B2 0,72-0,92 m; bruno-forte (7,5YR 4/6, úmido), bruno-avermelhado (5YR 4/4 seco); muito argiloso; blocos subangulares pequeno fraco médio, muito friável; ligeiramente duro, não plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada gradual.

B3 0,92-1,10⁺ m; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmido), bruno-forte (7,5YR 5/8 seco); muito argiloso; blocos subangulares fraco médio a pequenos; ligeiramente duro/duro, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Raízes: muitas e grandes a finas no A; comuns e médias no AB; comuns a muitas e médias a finas no BA; muitas e médias a finas no B1; comuns a muitas e médias a finas no B2; comuns e médias a finas em B3.

Descrito por: Cláudio Roberto Marciano, Thiago Rodrigues Lyrio Barbosa.

Tabela 6. Densidade de partículas (DP), composição granulométrica e classe textural para os horizontes do perfil de solo estudado.

Cobertura	DP (Mg m ⁻³)	Areia -----	Silte (g kg ⁻¹)-----	Argila	Classe textural
A (0-0,10 m)	2,68	340	119	541	argila
AB (0,10-0,30 m)	2,66	320	109	571	argila
BA (0,30-0,42 m)	2,71	267	96	637	argila pesada
B1 (0,42-0,72 m)	2,73	265	82	653	argila pesada
B2 (0,72-0,92 m)	2,74	264	67	668	argila pesada
B3 (0,92-1,10 ⁺ m)	2,75	261	59	680	argila pesada

As amostras foram coletadas em cada talhão, nas camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, e nos diversos horizontes do perfil do solo, sendo coletadas cinco repetições com anéis pequenos e três com anéis grandes.

Após a coleta, os anéis foram embalados em papel alumínio, para que fossem preservadas todas as características possíveis do ambiente natural, e levados ao Laboratório de Solos da UENF/CCTA. Chegando ao laboratório, os anéis foram devidamente limpos, tiveram removidos os excessos de terra nas faces superior e inferior, e um tecido de náilon foi colocado na face inferior da amostra, preso com um elástico, para que o material não se perdesse durante os procedimentos laboratoriais. Tais procedimentos foram efetuados para a obtenção da densidade, porosidade total, curva de retenção de água, curva de resistência à penetração, intervalo hídrico ótimo e condutividade hidráulica do solo saturado, pelo método do permeâmetro de carga constante, conforme procedimentos descritos nos tópicos subsequentes.

I. Densidade do solo

A densidade do solo foi obtida a partir das amostras indeformadas coletadas tanto em anéis pequenos quanto em anéis grandes. Para as amostras grandes a densidade foi determinada após a realização do ensaio para obtenção da condutividade hidráulica na saturação pelo método do permeâmetro de carga constante (descrito posteriormente).

Para as amostras pequenas a densidade foi determinada após os procedimentos para a obtenção da curva de retenção de água e da curva de resistência à penetração (também descrito posteriormente). Para isso as

amostras foram secas em estufa a 105 - 110°C, durante 48 horas, tempo suficiente para se admitir que toda água evaporou e as mesmas se encontravam com massa constante, sendo, em seguida, pesadas em balança analítica. A densidade do solo foi calculada a partir da equação:

$$\rho = m_s / V \quad (2)$$

onde ρ = densidade do solo (Mg m^{-3}), m_s = massa do solo seco em estufa (Mg) e V = volume do anel (m^3).

II. Porosidade total do solo

A porosidade total (PT, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) foi obtida, tanto nas amostras dos anéis grandes, quanto dos pequenos, sendo calculada a partir da densidade do solo (ρ) e da densidade das partículas (DP), por meio da equação:

$$PT = 1 - \rho / DP \quad (3)$$

III. Curva de retenção de água no solo e atributos relacionados

A curva de retenção de água foi determinada a partir das amostras coletadas em anéis pequenos. No procedimento analítico, das cinco amostras disponíveis para cada local e profundidade de coleta, quatro foram saturadas em bandejas com água até o nível da borda dos anéis, sendo transferidas para funis de placa porosa e submetidas às tensões de 1, 3, 6 e 10 kPa (uma amostra para cada sucção). As amostras permaneceram nos funis até que entrassem em equilíbrio (ou seja, até que cessasse a drenagem de água, o que ocorria em torno de dois a três dias), sendo, após, pesadas em balança analítica. Posteriormente as cinco amostras foram novamente saturadas por 24 h e levadas às câmaras de pressão de Richards, ficando submetidas às pressões de 20, 33, 100, 500 e 1500 kPa (uma amostra para cada pressão), até que fosse atingido o equilíbrio (de cinco a 30 dias, dependendo da pressão). Abertas as câmaras, as amostras foram pesadas, submetidas ao ensaio de resistência à penetração (descrito no tópico subsequente) e levadas à estufa para a determinação da umidade volumétrica (θ , $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e da densidade do solo. A umidade foi obtida pela equação:

$$\theta = \frac{V_a}{V} = \frac{m_a / \rho_a}{V} \quad (4)$$

onde V_a é o volume de água na amostra em equilíbrio no funil ou na câmara de pressão; V é o volume do anel; ρ_a é a densidade da água; e m_a é a massa de água na amostra, obtida pela diferença entre as pesagens no momento do equilíbrio e após a secagem em estufa.

Os resultados foram ajustados à equação de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left(1 + |\alpha \cdot \phi_m|^n\right)^m} \quad (5)$$

onde θ_s é a umidade na saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); θ_r é a umidade residual ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); ϕ_m é o potencial mátrico (kPa); α (kPa^{-1}), m e n (adimensionais) são parâmetros empíricos do modelo. Para obtenção das equações, θ_s foi assumida como correspondente à porosidade total, n foi considerado dependente de m ($m = 1 - 1/n$), e θ_r , α e m foram estimados com o auxílio do suplemento 'solver' do programa Microsoft Office Excel 2003, pelo método dos mínimos quadrados.

A microporosidade foi obtida a partir da equação ajustada para a curva de retenção, sendo correspondente à umidade no potencial mátrico de -6 kPa (equivalente a uma sucção de 0,6 m de coluna de água). A macroporosidade, que compreende os poros maiores que 0,05 mm de diâmetro e que são esvaziados pela referida sucção, é obtida pela diferença entre a PT e a microporosidade.

Da mesma forma que a microporosidade, a equação da curva de retenção foi utilizada para estimar a umidade na capacidade de campo (θ_{CC}) e no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), correspondentes aos potenciais mátricos de -10 kPa e -1500 kPa, respectivamente. A porosidade de aeração (ou livre de água) na capacidade de campo (PA) foi calculada pela diferença entre a PT e θ_{CC} , similarmente à macroporosidade. Em todos os casos, a equação da curva de retenção foi utilizada considerando-se a PT média obtida para as cinco amostras como correspondente à θ_s .

IV. Resistência do solo à penetração

Medidas de resistência à penetração foram realizadas nas amostras coletadas em anéis pequenos, imediatamente após sua retirada das câmaras de pressão de Richards e pesagem em balança analítica. Foi utilizado um penetrógrafo de bancada da marca Marconi, modelo MA 933, com ponteira de 4 mm de diâmetro basal e semiângulo de 30°, com velocidade de penetração ajustada para 0,167 mm s⁻¹. As amostras foram centralizadas na direção da ponteira e perfuradas por, aproximadamente, 260 segundos, em um curso de cerca de 45 mm. Um computador acoplado ao aparelho registra, a cada segundo, as informações de resistência medidas por uma célula de carga. O valor representativo da resistência mecânica de dada amostra foi assumido como a média das leituras, após descarte das 30 primeiras e, eventualmente, também das últimas. A relação entre a resistência à penetração (RP, em MPa) e a umidade volumétrica e densidade das amostras, em cada local e profundidade, foi descrita pelo modelo proposto por Busscher (1990):

$$RP = a \rho_b \theta_c \quad (6)$$

onde a, b e c são constantes de ajuste, também estimadas a partir da função “solver” do Microsoft Excel, pelo método dos mínimos quadrados.

V. Intervalo hídrico ótimo (IHO)

Foi obtido, para cada cobertura florestal e profundidade estudada, o intervalo hídrico ótimo (IHO). O IHO é obtido pela diferença entre limites de umidade superior e inferior, conforme metodologia descrita por Silva et al. (1994). Como limite superior do IHO considerou-se θ_{CC} ou a umidade na qual a porosidade de aeração assume um valor crítico ($\theta_{PA-crit}$), o que for menor. No presente trabalho o limite adotado como porosidade de aeração mínima aceitável foi 0,10 m³ m⁻³, sendo calculado por:

$$\theta_{PA-crit} = PT - 0,1 = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right) - 0,1 \quad (7)$$

Como o limite inferior do IHO utilizou-se, o maior valor entre o θ_{PMP} e a umidade em que o solo atinge resistência à penetração crítica às raízes ($\theta_{RP-crit}$). Diversos autores admitem como resistência limitante ao crescimento radicular das plantas valores entre 2 a 4 MPa. No presente trabalho, levando-se em consideração que as plantas estudadas são árvores, que supostamente têm um sistema radicular mais rústico, foi adotado o valor de 3 MPa. Para a determinação de $\theta_{RP-crit}$ a equação de resistência à penetração foi rearranjada como segue:

$$\theta_{RP-crit} = \left(\frac{3}{a\rho^b} \right)^{1/c} \quad (8)$$

VI. Condutividade hidráulica do solo saturado pelo método do permeâmetro de carga constante

A determinação da condutividade hidráulica do solo saturado foi realizada nas amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos grandes. Após o preparo das amostras (adequação do volume e proteção da face inferior com um tecido de náilon), na face superior foi fixado, com fita adesiva, um anel volumétrico idêntico ao que continha a amostra, que serviu como reservatório de água. Em seguida, os anéis foram colocados em bandejas, sendo o nível de água elevado gradualmente em período aproximado de 24 h, para que as amostras se tornassem completamente saturadas.

Após a saturação o nível da água foi elevado para cerca de 30 mm acima da face superior das amostras, sendo estas levadas ao permeâmetro de carga constante para a realização do ensaio de infiltração. Este permeâmetro consiste em uma mesa com perfurações que servem de suporte para funis, os quais possuem uma tela metálica onde as amostras são colocadas. Em seguida, com o auxílio de um reservatório de água posicionado acima dos anéis, a carga hidráulica sobre a amostra foi mantida em 30 mm, sendo o fluxo na mangueira de abastecimento controlado com um pequeno registro de aeração de aquário. O nível da água no reservatório de abastecimento era mantido constante com o auxílio de um frasco de Mariotte. A água que percolava da amostra era coletada em copos plásticos que, a cada intervalo de tempo, era substituído por outro. O copo retirado era imediatamente pesado em balança analítica, sendo esse procedimento repetido até que fosse atingida a condição de fluxo estacionário.

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s , em mm h^{-1}) foi determinada pela aplicação da equação de Darcy:

$$K_s = \frac{V_a L}{A t (h + L)} \quad (9)$$

onde V_a = volume de água coletada durante um intervalo de tempo t ; L = comprimento da amostra; A = área da seção transversal da amostra; e h = carga hidráulica no topo da amostra.

3.4.2 Avaliações realizadas “in situ”

Além das avaliações realizadas a partir de amostras indeformadas de solo, medidas de dinâmica da água foram também obtidas “in situ”, utilizando-se os métodos do infiltrômetro de duplo anel e do infiltrômetro de tensão, os quais são abordados a seguir.

I. Método do infiltrômetro de duplo anel

No presente trabalho foram realizados ensaios com um infiltrômetro de duplo anel, em cada talhão estudado, com três repetições. Como descreve Paixão et al. (2004), o infiltrômetro de duplo anel consiste de dois cilindros de aço com altura aproximada de 0,4 m e diâmetro de 0,30 e 0,50 m para os anéis interno e externo, respectivamente. Os cilindros são cravados no solo de forma concêntrica, até 0,15 m de profundidade. Durante a realização do ensaio, uma carga de água constante, entre 0,05 e 0,10 m de altura em relação à superfície do solo, foi mantida dentro dos cilindros. O anel maior tem como finalidade atender e neutralizar a dispersão lateral da água infiltrada, enquanto no anel interno a água infiltra no solo em direção predominante vertical, evitando o efeito de bordadura. No presente caso, enquanto o anel externo foi abastecido manualmente com auxílio de um béquer, o nível da água do anel interno foi mantido automaticamente por um reservatório tipo Guelph, onde eram feitas as leituras de altura em função do tempo.

A partir da relação entre a área da seção transversal do reservatório tipo Guelph e a área de água do anel interno do infiltrômetro, as leituras do

decréscimo de altura, do primeiro, foram convertidas em lâmina de água infiltrada, no segundo. Tanto a infiltração acumulada (I , mm) quanto a velocidade de infiltração (i , mm h⁻¹) foram “plotados” em um gráfico, com o tempo (t , em h) no eixo das abscissas.

A velocidade de infiltração básica (VIB, mm h⁻¹), que corresponde ao valor de i na condição de fluxo estacionário, foi assumida como igual ao coeficiente angular da equação da reta ajustada à porção final da curva de infiltração acumulada (últimas cinco a dez leituras), que corresponde à derivada dessa curva no trecho considerado e que coincide com o valor final de i verificado graficamente.

II. Método do infiltrômetro de tensão

Medidas de infiltração foram efetuadas também com o auxílio de um infiltrômetro de tensão, confeccionado no LSOL/CCTA/UENF, com três repetições em cada talhão. O infiltrômetro de tensão utilizado era semelhante ao descrito em Marciano et al. (2001), com diâmetro da base de 220 mm. As medidas de infiltração em cada ponto foram efetuadas com a tensão da água no contato com o solo regulada, sequencialmente, para 1,00, 0,50, 0,25 e 0 kPa.

Para se conseguir um bom contato do aparelho com solo, a superfície foi nivelada com auxílio de uma faca e, em seguida, foram aparadas as raízes para que não ocorresse a perfuração do tecido de náilon da base do aparelho, o que entra em contato direto com o solo. Também para nivelar o terreno, proteger o pano e otimizar o contato e o fluxo de água entre o equipamento e o solo uma camada de areia fina (menor que 200 μ m) foi depositada sobre a superfície do solo. O valor da infiltração quando o fluxo atinge o equilíbrio dinâmico (ou torna-se estacionário) foi obtido a partir da curva da infiltração acumulada versus tempo, da mesma forma que descrito para o infiltrômetro de duplo anel. Como para o infiltrômetro de tensão o ensaio de campo não elimina o efeito da dispersão lateral da água, para se calcular os valores da condutividade hidráulica nas diferentes tensões utilizou-se a metodologia proposta por Ankeny et al. (1991), a partir das seguintes equações:

$$\alpha = \frac{2[q(\tau_1) - q(\tau_2)]}{\Delta\tau[q(\tau_1) + q(\tau_2)]} \quad (10)$$

$$K(\tau_1) = \frac{q(\tau_1)}{\left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right)} \quad (11)$$

$$K(\tau_2) = \frac{q(\tau_2)}{\left(1 + \frac{4}{\pi r \alpha}\right)} \quad (12)$$

onde α é uma constante válida para o intervalo entre duas tensões consecutivas τ_1 e τ_2 ; $\Delta\tau$ é a diferença entre as tensões τ_1 e τ_2 ; $q(\tau_1)$ $q(\tau_2)$ são os valores de fluxo estacionário obtidos para as tensões consecutivas; r é o raio da base do infiltrômetro de tensão; e $K(\tau_1)$ e $K(\tau_2)$ são os valores de condutividade hidráulica do solo sob as tensões τ_1 e τ_2 . Para cada uma das tensões intermediárias (0,50 e 0,25 kPa), foram estimados dois valores de α , sendo um considerando a tensão imediatamente superior e outro considerando a tensão imediatamente inferior. Nestes casos obtiveram-se, então, dois valores de K , considerando-se a média entre eles como valor final representativo da referida tensão.

3.5 Análise estatística

A comparação entre as médias dos atributos estudados nas diferentes camadas de solo e talhões foi feita utilizando-se o intervalo de confiança a 5% de probabilidade pelo teste t (Pimentel Gomes, 1990). Para a infiltração da água no solo, cuja distribuição estatística é geralmente log-normal (Hurtado, 2004; Alvarenga, 2010), procedeu-se a transformação dos dados pela aplicação do logaritmo na base 10, no sentido de promover a redução dos elevados coeficientes de variação verificados para dados originais.

A relação entre atributos do solo foi interpretada a partir do coeficiente de correlação linear de Pearson, de regressões lineares e do ajuste de modelos descritos na literatura. Os dados foram tratados e analisados com o auxílio do programa Office Excel 2003 (Microsoft Corporation, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade, porosidade total e atributos do solo relacionados à distribuição por tamanho de poros

Os valores médios de densidade do solo para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de cada cobertura estudada são apresentados nas Figuras 2 e 3, sendo os dados da primeira obtidos com anéis volumétricos de 100 mL e os da segunda com anéis volumétricos de 270 mL. Observa-se que os valores de densidade obtidos com os anéis de maior volume são ligeiramente inferiores aos obtidos com os anéis menores, sendo a média geral dos primeiros $1,07 \text{ Mg m}^{-3}$ e a dos últimos $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$. Isso se justifica pelo fato de os anéis maiores incluírem uma maior proporção de superfícies de fraqueza entre agregados. Tais superfícies são, na verdade, volumes de solo com menor densidade e maior porosidade total, o que se reflete nas amostras coletadas (Folegatti et al., 2001; Bernardes, 2005).

Para ambos os tamanhos de anéis verifica-se que os valores de densidade do solo da camada 0,10-0,20 m foram todos superiores aos da 0-0,10 m, sendo a diferença entre as profundidades mais nítida para os anéis pequenos. Este fato é facilmente explicado pela maior deposição de material orgânico nas camadas próximas à superfície (serapilheira), fornecendo substrato e criando um ambiente atrativo a fauna (minhocas, formigas, etc.) e microbiota do solo que contribuem para a agregação com conseqüente redução da densidade e elevação da porosidade (Cadima et al., 1980; Jabro, 1992; Assis, 2005). Além disso, a maior compactação da camada 0,10-0,20 m pode decorrer do tráfego de máquinas e ação de implementos agrícolas anteriormente à recomposição vegetal da área, ocasionando “pé de grade” ou “pé de arado” (Schaefer et al., 2001).

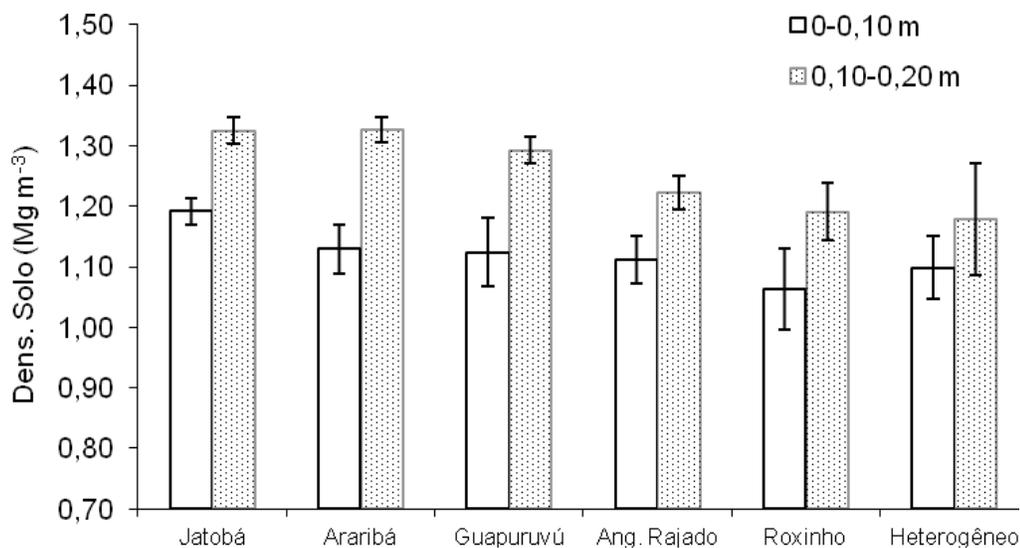


Figura 2. Valores médios de densidade do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos pequenos (100 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

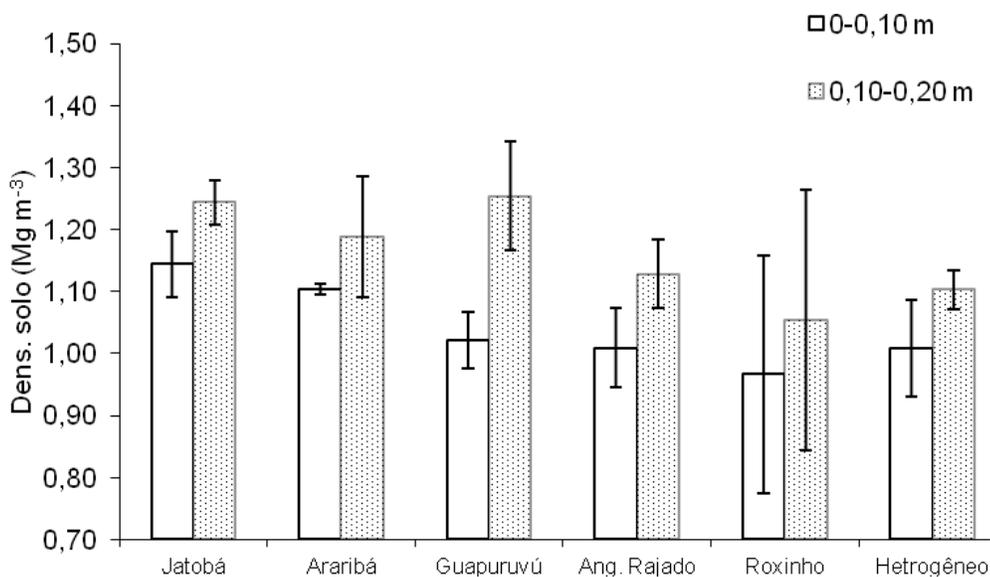


Figura 3. Valores médios de densidade do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos grandes (270 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

A interpretação dos valores de densidade a partir do intervalo de confiança a 5% de probabilidade revela que, para os anéis pequenos (Figura 2), apenas no heterogêneo a diferença entre camadas não foi significativa, enquanto para os anéis grandes apenas o jatobá e o guapuruvú diferiram em profundidade. Comparando-se as coberturas vegetais estudadas, observa-se, na profundidade 0-0,10 m, que a densidade do solo sob jatobá não difere da do guapuruvú, mas é superior à das demais coberturas, e, ainda, que o guapuruvú não difere das demais coberturas. Na camada 0,10-0,20 m, onde os valores são mais elevados, as densidades do solo sob jatobá, araribá e guapuruvú não diferem entre si, mas são superiores às das demais coberturas, as quais também não diferem entre si. Pela Figura 3, que apresenta os resultados obtidos com anéis grandes, a densidade do solo na camada de 0-0,10 m sob jatobá não difere do araribá e do roxinho, e ainda, o guapuruvú, angico-rajado, roxinho e heterogêneo, não diferem entre si. Na camada 0,10-0,20 m, porém, observa-se que apenas a densidade do solo sob jatobá foi superior à do solo sob angico-rajado e heterogêneo, não havendo outras diferenças entre coberturas vegetais.

Cabe ressaltar que as diferenças de densidade do solo mencionadas acima são, possivelmente, devidas ao efeito das coberturas vegetais estudadas. Esta interpretação decorre do fato de que os coeficientes de correlação linear entre as frações granulométricas e a densidade do solo se mostraram não significativos (R com valores de 0,15, 0,28 e -0,20 para a areia, silte e argila, respectivamente), descartando-se que tais diferenças sejam efeito de diferenças granulométricas entre os talhões (Tabela 3; Figura 1). Verifica-se, ainda, que a densidade do solo correlacionou-se significativamente ($p < 0,01$) com o teor de carbono orgânico ($R = -0,91$), o qual é consequência direta da deposição de serapilheira pela cobertura vegetal (embora, como decorrência da dinâmica do processo de mineralização, possa variar também com a granulometria).

Em relação à magnitude dos valores de densidade apresentados nas Figuras 2 e 3, constata-se que estes sempre ficaram abaixo de limites considerados críticos para um bom desenvolvimento radicular das plantas. No presente caso o maior valor encontrado para a camada 0-0,10 m foi no jatobá ($1,19 \text{ Mg m}^{-3}$), enquanto na camada 0,10-0,20 m foi no araribá e no jatobá ($1,33 \text{ Mg m}^{-3}$), inferiores aos valores críticos apresentados na Tabela 1 (pag. 7) para solos com granulometria similar ao do presente trabalho.

Normalizando-se a densidade do solo para a escala de 0 a 1 pela aplicação dos parâmetros obtidos por Alvarenga (2010) para a Bacia Hidrográfica do Alto do Rio Grande, em Minas Gerais, verifica-se que as densidades do presente trabalho (considerando-se a média dos valores das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m) resultariam nos seguintes valores: jatobá – 0,044, araribá – 0,146, guapuruvú – 0,162, angico-rajado – 0,212, heterogêneo – 0,284, roxinho – 0,371. Apesar desses valores normalizados representarem, para a área do presente trabalho, uma ordenação da qualidade do solo quanto a esse indicador, os valores observados estão muito afastados de 1, o que indica pior qualidade em comparação aos solos estudados por Alvarenga (2010). Revela ainda que, embora as espécies possam ter contribuído para a conservação do solo, principalmente na camada 0-0,10 m, um recobrimento mais expressivo da área, inicialmente alterada pela atividade de pecuária, talvez demore muito mais tempo ou, possivelmente, jamais ocorra de forma suficiente para retornar o solo à condição anterior à ação antrópica.

Na Figura 4, que apresenta a média de porosidade total obtida em anéis pequenos para cada talhão e camada de solo estudados, verifica-se diferenças estatísticas entre as camadas para todas as coberturas vegetais, exceto para o heterogêneo. Esse comportamento estatístico é idêntico ao da densidade, uma vez que estes atributos são inversamente relacionados. Os maiores valores de porosidade total são verificados na camada de 0-0,10 m (variou de $0,545 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o jatobá, até $0,597 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o roxinho) e os menores na camada 0,10-0,20 m (de $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o araribá, até $0,556 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o heterogêneo). Os valores estão em um bom patamar, sendo sempre iguais ou superiores a $0,500 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, valor este considerado por Kihel (1979) como indicativo de um solo ideal. Comparando-se as espécies, o jatobá apresentou o menor valor de porosidade total do solo para a camada 0-0,10 m, diferindo de todas as outras coberturas, exceto araribá (o araribá e as demais coberturas não diferem entre si). Com relação à profundidade de 0,10-0,20 m, jatobá e araribá não diferiram entre si, e apresentaram porosidade total estatisticamente menor que o solo das demais coberturas (que não diferem entre si).

Da mesma forma que discutido para a densidade, as diferenças de porosidade do solo são possivelmente devidas ao efeito das coberturas vegetais estudadas, e não a atributos que independam do uso do solo. Tal constatação

decorre dos baixos coeficientes de correlação linear entre a porosidade do solo e as frações granulométricas (-0,21, -0,34 e 0,26 para a areia, silte e argila, respectivamente). A correlação entre porosidade do solo e o carbono orgânico foi significativa ($R = 0,89$; $p < 0,01$), revelando que a ação da cobertura vegetal sobre a densidade e porosidade decorre, principalmente, da alteração do teor de matéria orgânica do solo.

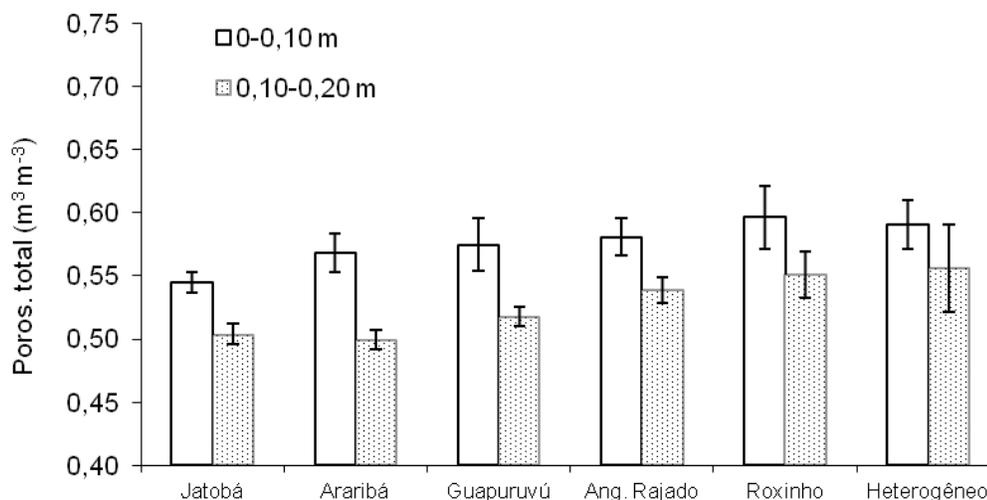


Figura 4. Valores médios da porosidade total do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos pequenos (100 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Na Figura 5 também são apresentadas, para cada cobertura vegetal e camada de solo, médias da porosidade total, porém obtidas com os anéis volumétricos grandes. O comportamento geral é semelhante ao apresentado na Figura 4, sendo os menores valores observados no jatobá e araribá e os maiores no roxinho e heterogêneo. Outro fato interessante é que, diferente do que se verificou para os anéis volumétricos pequenos, para os anéis grandes apenas para o guapuruvú houve diferença estatística, apresentando menor porosidade na camada 0,10-0,20 m de solo.

O fato de ocorrer diferenças entre os materiais coletados com anéis volumétricos diferentes (100 mL anéis pequenos e 270 mL anéis grandes) pode estar relacionado à dimensão vertical do volume coletado, implicando, para os anéis grandes, em maior proximidade entre o limite inferior da amostra de

0-0,10 m e o superior da amostra 0,10-0,20 m. Também pode estar associado ao menor número de repetições utilizadas para os anéis grandes (apenas três, contra cinco para os anéis pequenos), implicando em maior variabilidade dos dados (e em intervalos de confiança mais largos). Essa maior variabilidade dos dados apresentados para os anéis grandes dentro de cada cobertura vegetal e camada de solo também foi verificada para a densidade do solo.

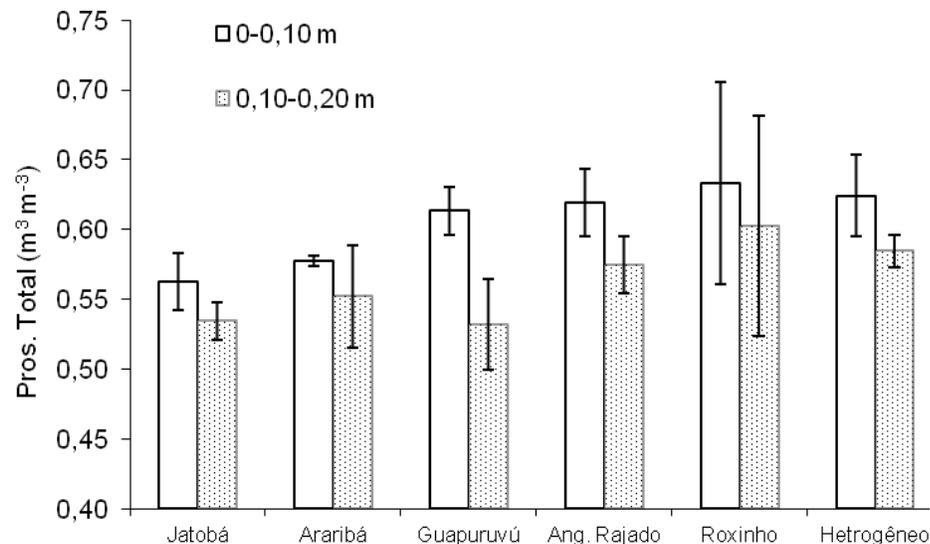


Figura 5. Valores médios da porosidade total do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos grandes (270 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Na Figura 6 são apresentadas, para cada cobertura vegetal e camada de solo, médias da macroporosidade obtida com os anéis volumétricos pequenos. Analisando os dados da camada de 0-0,10 m, a macroporosidade do solo sob as coberturas jatobá, araribá e guapuruvú não diferiu entre si. Já o angico-rajado foi inferior ao jatobá, mas não diferiu do araribá e guapuruvú. O roxinho e o heterogeneo não diferiram entre si, sendo superiores às demais coberturas. De modo geral, a macroporosidade nesta camada de solo é maior que os valores mínimos indicados como ideais. Segundo Baver et al. (1972), valores críticos de macroporosidade são aqueles valores compreendidos entre 0,10 e 0,16 m³ m⁻³.

Na camada 0,10-0,20 m a macroporosidade dos talhões sob a cobertura heterogênea e sob guapuruvú diferiram entre si e também das demais coberturas,

apresentando os dois extremos, maior e menor valor, respectivamente; o araribá não diferiu apenas do roxinho; o angico-rajado e roxinho não diferem entre si. Nesta camada verificou-se, também, macroporosidade muito próxima ao que é considerado ideal por Da Ross et al. (1997), que indicam como adequada a faixa de $0,09$ a $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (nenhuma cobertura apresentou valores que ficassem abaixo do que é considerado crítico).

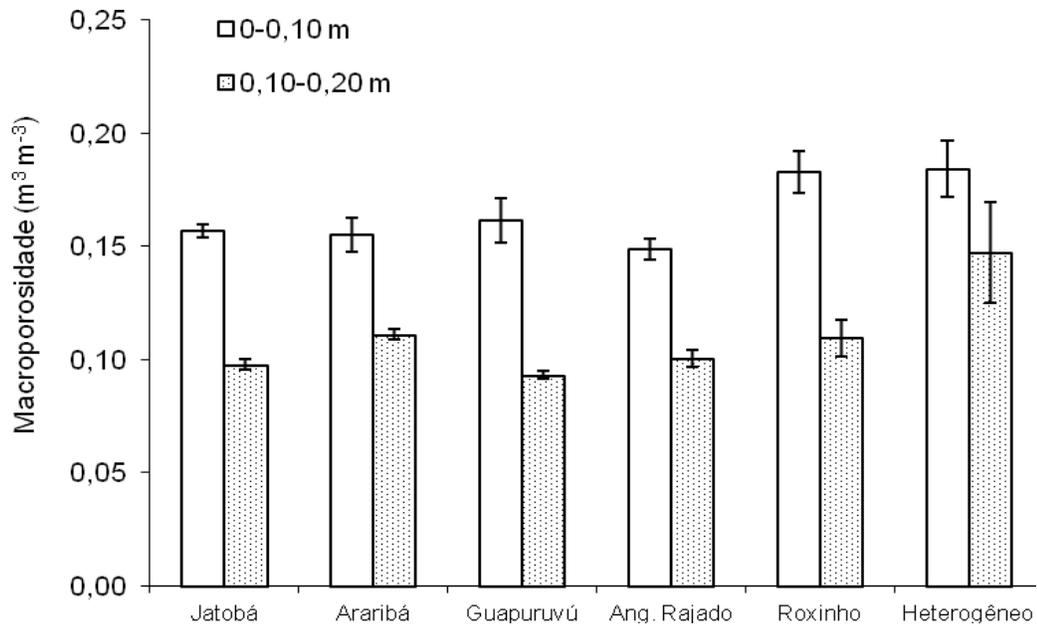


Figura 6. Valores médios da macroporosidade do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos pequenos (100 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Para a macroporosidade verifica-se baixos coeficientes de correlação com a granulometria (R com valores de $-0,03$, $-0,14$ e $0,07$ para a areia, silte e argila, respectivamente), enquanto um coeficiente significativo ($R = 0,81$; $p < 0,01$) pode ser constatado entre macroporosidade e o teor de carbono orgânico (correlações obtidas a partir dos dados das duas camadas estudadas). Evidencia-se, assim, a ação diferenciada das coberturas vegetais estudadas sobre a melhoria da qualidade do solo. Como explicado anteriormente, a decomposição e mineralização da serapileira depositada na superfície do solo por estas coberturas vegetais eleva o teor de matéria orgânica e exerce uma série de influências que favorecem a estruturação do solo. Ressalta-se que a área não recebeu nenhum

manejo ou atividade agrícola desde a implantação das coberturas florestais, permitindo a preservação dos macroporos formados na camada superficial.

Variáveis como densidade, porosidade total e macroporosidade são intimamente influenciadas pela matéria orgânica e pelo manejo do solo, condicionando sua estrutura e definindo sua qualidade física. A macroporosidade é de suma importância para a avaliação dessa qualidade, pois é responsável pela rapidez na redistribuição da água e aeração do solo e deve ser considerada em estudos relacionados à infiltração da água no solo (Ferreira, 2010).

Atributos favoráveis ao crescimento vegetal estão intimamente relacionados ao ambiente para o desenvolvimento do sistema radicular. As raízes precisam respirar para seu desenvolvimento e a aeração é essencial a isto. Há trabalhos que adotam a porosidade de aeração como correspondente à macroporosidade, o que ocorre quando a capacidade de campo é assumida como igual à microporosidade (ou seja, a umidade à sucção de 6 kPa). Tormena et al. (1998), trabalhando com propriedades físicas do solo influenciadas por sistema de manejo de plantio direto, notaram que a porosidade de aeração destaca-se como uma das propriedades mais importantes em relação ao desempenho da produtividade das culturas. Observa-se que valores inferiores a 10% de porosidade de aeração têm limitado o crescimento radicular (Vomocil e Flocker, 1966), apesar de tal limite depender também do tipo de planta e do nível de atividade biológica do solo (Gupta et al., 1989). Apesar de não se ter muitos trabalhos que evidenciem a adequação deste valor para espécies florestais, esta porcentagem também foi estipulada para análise dos dados obtidos, onde será discutido adiante, em intervalo hídrico ótimo e água disponível no solo.

Aplicando-se os parâmetros para normalização na macroporosidade obtidos por Alvarenga (2010), verifica-se que as macroporosidades do presente trabalho (considerando-se a média dos valores das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m) resultaram nos seguintes valores normalizados: jatobá – 0,776, araribá – 0,780, heterogêneo – 0,788, guapuruvú – 0,800, roxinho – 0,808, angico-rajado – 0,816. Os valores observados estão muito próximos de 1, o que indica melhor qualidade em comparação aos solos estudados por Alvarenga (2010), que tratou a macroporosidade por porosidade drenável. Estes valores mostram ainda que as espécies podem ter contribuído consideravelmente

para conservação do solo quanto a este atributo, principalmente na camada 0-0,10 m, onde ocorre a maior deposição de serapilheira.

Na Figura 7 são apresentadas, para cada cobertura vegetal e camada de solo, médias da microporosidade, obtidas com os anéis volumétricos pequenos. Analisando a figura em questão, verifica-se que a microporosidade na camada de 0-0,10 m, a cobertura jatobá apresentou o menor valor, sendo inferior às demais coberturas, enquanto o angico-rajado apresentou maior valor, sendo superior não só ao jatobá como também ao araribá e heterogêneo. Já na camada de 0,10-0,20 m a microporosidade do solo sob roxinho foi superior às demais coberturas, exceto guapuruvú e angico-rajado. O araribá foi inferior às demais coberturas, sendo a única que apresentou valor de microporosidade menor na camada 0,10-0,20 m que na 0-0,10 m. O guapuruvú foi superior ao jatobá, e o heterogêneo não diferiu de ambos.

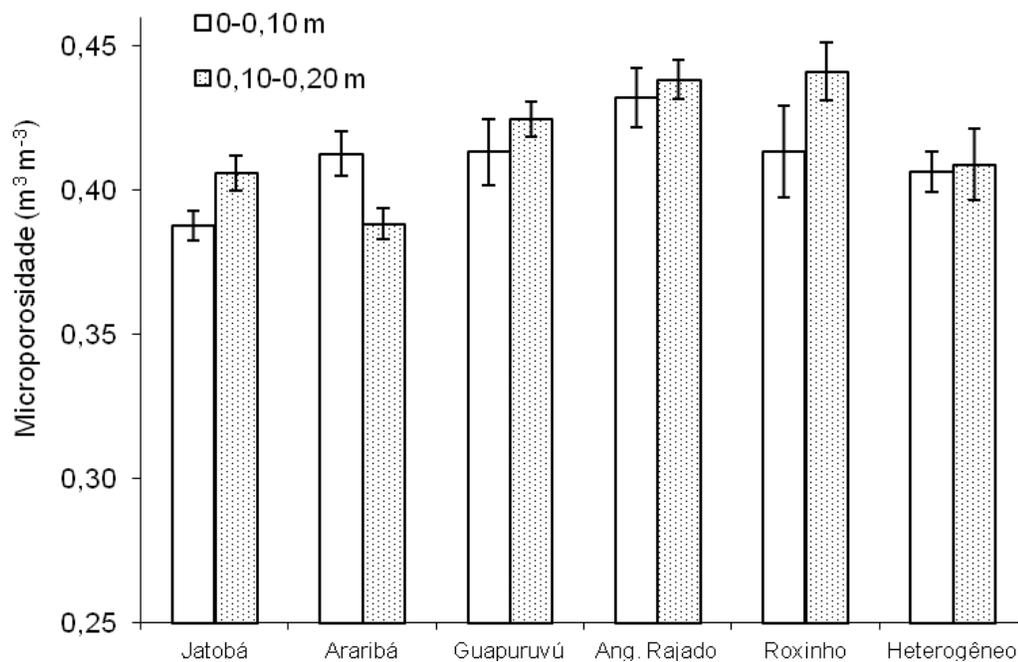


Figura 7. Valores médios da microporosidade do solo obtidos a partir das amostras coletadas em anéis volumétricos pequenos (100 mL), para as camadas 0-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade, nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Diferente do discutido para a densidade, porosidade total e macroporosidade, as diferenças de microporosidade entre os talhões não podem

ser atribuídas inequivocamente a efeitos diretos e/ou indiretos das coberturas vegetais. Pelo contrário, o baixo coeficiente de correlação ($R = 0,11$) entre microporosidade e teor de carbono orgânico sugere que tais diferenças tenham outras causas que não a cobertura vegetal. As correlações entre microporosidade e as frações granulométricas (-0,33, -0,36 e 0,36 para a areia, silte e argila, respectivamente), embora maiores que as verificadas para a densidade, porosidade total e macroporosidade, não são significativas e sugerem que outros fatores não identificados sejam os responsáveis pelas diferenças entre os talhões.

Ainda em se tratando de distribuição de poros, os microporos, que possuem diâmetros inferiores a 50 μm , são os responsáveis pela retenção e armazenamento de água no solo, que serão discutidos posteriormente. Como os valores apresentados de microporosidade estão intimamente relacionados aos valores da macroporosidade, pode-se observar que o solo do trabalho em questão tende a ter uma melhor movimentação de água no solo do que armazenagem, onde será discutido melhor em item posterior. Outro fator é que solos com maior densidade tendem a possuir mais microporos e menos macroporos, é o que se observa entre as duas camadas, comparando-se os valores apresentados de microporosidade e densidade das coberturas nas profundidades estudadas.

Quando aplicado os parâmetros para normalização obtidos por Alvarenga (2010), verifica-se que as microporosidades do presente trabalho (considerando-se a média dos valores das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m) resultaram nos seguintes valores normalizados: jatobá – 0,523, araribá – 0,528, heterogêneo – 0,538, guapuruvú – 0,552, roxinho – 0,563, angico-rajado – 0,573. Pode-se observar valores acima do limite crítico estipulado por Alvarenga (2010), que corresponde ao valor normalizado 0,5, indicando uma significativa qualidade em comparação aos solos estudados por aquele autor. A única ideia que se tem do solo antes do reflorestamento, é que a área era inicialmente de pastagem nativa sem tratos culturais, e com os índices apresentados, muito provavelmente as espécies podem ter contribuído para a recuperação e conservação do solo. No entanto, demanda-se mais pesquisas para que se obtenha dados do tempo necessário para a recuperação mais expressiva do solo, para que este possa retornar ou se aproximar das condições anteriores às ações antrópicas.

4.2 Água disponível e intervalo hídrico ótimo

Na Tabela 7 são apresentados os coeficientes de ajuste das curvas de retenção de água (α , m , n e umidade residual θ_r – equação 5) e de resistência à penetração (a , b e c – equação 6); os valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e porosidade de aeração na capacidade de campo (PA); os valores de umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), quando a porosidade de aeração é crítica ($\theta_{PA=0,10}$) e quando a resistência à penetração é crítica ($\theta_{RP=3MPa}$); e os valores de água disponível (AD), intervalo hídrico ótimo (IHO) e a relação AD:IHO, nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, para as coberturas vegetais estudadas.

A despeito de que os atributos mencionados possam apresentar diferenças numericamente relevantes, o modo de obtenção dos dados (a partir do ajuste de um único modelo para cada cobertura vegetal) dificulta a comparação estatística. Embora fosse possível levar em conta o intervalo de confiança das equações ajustadas, a propagação de erros no cálculo de variáveis como a AD e o IHO inviabilizaria que diferenças, mesmo amplas, fossem estatisticamente diferentes. Por outro lado, a obtenção de um maior número de equações para cada cobertura seria muito laborioso e não pôde ser admitida no presente trabalho. Ainda assim, interpretações decorrentes das correlações entre os diversos atributos estudados são possíveis e serão utilizadas a seguir.

A porosidade de aeração na capacidade de campo é um atributo de extrema importância para a qualidade do solo, no que se refere tanto à oxigenação do sistema radicular das plantas quanto à infiltração e dinâmica da água no solo. Relaciona-se com atributos associados à estrutura do solo, como densidade ($R = 0,88$) e porosidade total ($R = 0,87$), e também com o teor de carbono orgânico do solo ($R = 0,79$). Seu comportamento é similar ao já discutido para a macroporosidade, com valores ligeiramente maiores, ficando evidenciada sua dependência das coberturas vegetais.

A água disponível, obtida por diferença θ_{cc} e θ_{PMP} , é um importante índice de qualidade do solo para o crescimento vegetal, uma vez que valores mais elevados desse atributo permitem que as plantas suportem períodos mais longos sem precipitação. No presente caso pode-se observar que os valores de AD na profundidade 0-0,10 m variaram de $0,120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o angico-rajado e roxinho,

Tabela 7. Coeficientes de ajuste da curva de retenção (α , m , n e umidade residual θ_r – equação 5) e da curva de resistência à penetração (a , b e c – equação 6); valores médios de densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e porosidade de aeração na capacidade de campo (PA); valores de umidade volumétrica na capacidade de campo (θ_{cc}), no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), quando a porosidade de aeração é crítica ($\theta_{PA=0,10}$) e quando a resistência à penetração é crítica ($\theta_{RP=3MPa}$); e valores de água disponível (AD) e intervalo hídrico ótimo (IHO), nas camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade, para as coberturas vegetais estudadas.

Cobertura	α (kPa^{-1})	m	n	a	b	c	DS $Mg\ m^{-3}$	θ_r	PT	PA	θ_{cc}	$\theta_{PA=0,10}$	θ_{pmp}		AD	IHO	IHO:AD
													$\theta_{PA=0,10}$	$\theta_{RP=3MPa}$			
0-0,10 m																	
Jatobá	18,137	0,086	1,094	-8,260	11,469	-1,286	1,192	0,104	0,545	0,170	0,375	0,445	0,273	0,354	0,101	0,021	0,199
Araribá	2,207	0,207	1,261	-2,554	0,000	-1,324	1,129	0,254	0,568	0,175	0,393	0,468	0,292	0,318	0,101	0,075	0,742
Guapuruvú	4,757	0,155	1,184	-2,911	0,034	-1,298	1,124	0,225	0,575	0,178	0,397	0,475	0,294	0,294	0,103	0,103	1,000
Ang. Rajado	8,135	0,087	1,095	-3,956	3,627	-1,440	1,111	0,100	0,581	0,164	0,417	0,481	0,297	0,307	0,120	0,110	0,922
Roxinho	13,980	0,094	1,104	-2,336	1,192	-1,014	1,063	0,100	0,597	0,199	0,398	0,497	0,277	0,239	0,120	0,120	1,000
Heterogêneo	1,680	0,302	1,433	-1,156	6,436	-1,000	1,098	0,302	0,591	0,204	0,386	0,491	0,311	0,429	0,075	0,0	0,000
0,10-0,20 m																	
Jatobá	5,114	0,084	1,092	-16,261	9,068	-1,964	1,325	0,143	0,504	0,110	0,394	0,404	0,302	0,388	0,092	0,006	0,065
Araribá	3,352	0,112	1,126	-23,027	10,676	-1,819	1,326	0,149	0,500	0,126	0,374	0,400	0,269	0,387	0,105	0,0	0,000
Guapuruvú	3,899	0,073	1,079	-3,064	0,000	-1,787	1,293	0,100	0,518	0,106	0,412	0,418	0,310	0,403	0,102	0,009	0,087
Ang. Rajado	4,289	0,119	1,136	-16,600	12,156	-2,183	1,222	0,258	0,539	0,112	0,427	0,439	0,344	0,383	0,083	0,044	0,531
Roxinho	1,082	0,237	1,311	-3,995	3,918	-1,524	1,191	0,308	0,551	0,128	0,423	0,451	0,333	0,347	0,090	0,076	0,838
Heterogêneo	0,763	0,395	1,653	-5,853	6,722	-1,735	1,179	0,327	0,556	0,170	0,387	0,456	0,329	0,362	0,058	0,025	0,435

até $0,075 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na cobertura heterogênea. Na camada mais profunda, 0,10-0,20 m, os valores oscilaram em uma faixa mais baixa, de $0,105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para o araribá, até $0,058 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, no heterogêneo. Verifica-se, no entanto, que a AD apresenta dependência significativa apenas das frações granulométricas areia ($R = 0,69$; $p < 0,01$) e argila ($R = 0,64$; $p < 0,05$). Não houve significância para o silte ($R = 0,44$) nem para atributos estruturais (densidade: $R = -0,11$; porosidade total: $R = 0,14$) ou teor de carbono orgânico do solo ($R = 0,47$), sugerindo que as coberturas vegetais não interferiram na AD.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) é também um importante índice de qualidade física do solo para o crescimento das plantas, levando em conta um maior número de atributos que a água disponível. Pela Tabela 7 verifica-se valores de IHO bastante variáveis entre as coberturas. Na camada de 0-0,10 m chega a $0,120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o roxinho e a zero na cobertura heterogênea. Na camada de 0,10-0,20 varia de $0,076 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o roxinho a zero no araribá.

Diferente do que foi verificado na AD, o IHO não apresenta dependência significativa das frações granulométricas, mas houve significância para os atributos estruturais do solo, como densidade ($R = -0,70$; $p < 0,01$), porosidade total ($R = 0,67$; $p < 0,05$), e para o teor de carbono orgânico ($R = 0,79$; $p < 0,01$), sugerindo que as coberturas vegetais colaboraram nos valores do IHO. Outros fatores estão estritamente relacionados (principalmente por estes serem utilizados para calcular o IHO), com elevados valores de significância, foram a umidade quando a porosidade de aeração é crítica ($\theta_{PA=0,10}$; $R = 0,67$; $p < 0,01$) e quando a resistência à penetração é crítica ($\theta_{RP=3\text{MPa}}$; $R = -0,92$; $p < 0,01$).

Apesar de o IHO indicar, no presente trabalho, condições físicas do solo altamente restritivas às plantas, as informações da ocorrência de raízes no perfil de solo examinado na área heterogênea (Tabela 5, página 26) evidenciam que o crescimento radicular não foi prejudicado de forma expressiva. Silva et al. (2010) observaram que valores nulos de IHO geralmente ocorrem em densidades críticas acima de $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$, mas para a cobertura heterogênea ocorreu mesmo em densidades menores. A ampla ocorrência de raízes no perfil indica que valores de resistência de 3 MPa podem não ser prejudiciais para as coberturas florestais estudadas, ou que as condições ecológicas locais ao longo do ano permitem que as mesmas tenham pulsos de crescimento sem restrição.

Como observado por Tairone (2002), solos bem estruturados apresentam IHO igual à AD, o que no presente caso pode ser observado para o guapuruvú e o roxinho, e que está muito próximo de ocorrer para o angico-rajado (Tabela 7). A vegetação, ao longo do tempo, pode ter contribuído para conservar os atributos físicos do solo, melhorando a condição que ocorria antes da implantação dos talhões e evidenciando uma interferência favorável destas espécies.

Na camada mais profunda 0,10-0,20 m, ocorreu uma redução considerável do IHO, atingindo valores muito baixos nas coberturas estudadas. Nesta profundidade as coberturas jatobá e guapuruvú ficaram próximas de zero, e o araribá atingiu esse valor. Estes dados evidenciam a influência positiva que as coberturas exerceram na camada superior responsável pela matéria orgânica, em função do grande manto de serapilheira formado pelas coberturas florestais ao longo destes anos, dados semelhantes aos encontrados por Araújo et al. (2007).

A degradação da estrutura do solo resulta na redução do IHO, o que faz as raízes passarem por uma série de limitações, resultados estes comprovados por Silva e Kay (1996) e, mais atualmente, por Lapen et al. (2004). Outro detalhe, bastante evidente, são os elevados índices de θ_{RPcrit} , que foram presentes e limitantes nas duas profundidades, o que é muito peculiar para um solo com a baixa densidade média apresentada. A diminuição da resistência à penetração (RP) com o aumento da umidade pode ser atribuída à redução da coesão e do ângulo de fricção interna, causada pela elevação do conteúdo de água no solo (Camp e Gill, 1969), enquanto o aumento da RP com o aumento da densidade está relacionado ao efeito na matriz do solo, com o aumento da coesão causado pela ação da umidade conforme as partículas se aproximam no solo compactado (Sojka et al., 2001).

4.3 Infiltração e condutividade hidráulica do solo

I. Método do permeâmetro de carga constante

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_s) é dependente da abundância e do formato geométrico dos poros (em especial dos macroporos), que é extremamente variável para cada tipo de solo e, ou, dentro do mesmo solo, em função da textura, estrutura e densidade, dentre outros atributos. A Figura 8 apresenta valores médios de $\log K_s$, obtidos pelo permeâmetro de carga

constante nas amostras coletadas em anéis grandes, nas duas camadas das coberturas estudadas. Pode-se observar que na camada 0-0,10 m os valores são mais uniformes, com intervalos de confiança mais estreitos, sendo a permeabilidade do solo à água classificada como rápida, de acordo com a Tabela 8. Na camada mais profunda, 0,10-0,20 m, os valores apresentam maior variabilidade (intervalos de confiança mais amplos, exceto para o heterogêneo) e se enquadram entre as faixas rápida e moderada-rápida (Tabela 8). Lobato et al. (1998) comentam que a utilização de amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos pode alterar o grau de compactação do solo e influenciar na condutividade hidráulica, comprometendo a comparação dos valores obtidos.

Comparando-se as coberturas estudadas, verifica-se que não houve diferenças no log Ks para a camada 0-0,10 m, enquanto na 0,10-0,20 m a cobertura heterogênea foi superior ao jatobá e guapuruvú (as demais não diferem entre si). Comparando-se as profundidades, a camada 0,10-0,20 m apresentou valores significativamente inferiores aos da 0-0,10 m nas coberturas jatobá, guapuruvú e heterogêneo (justamente aquelas com intervalo de confiança mais estreito).

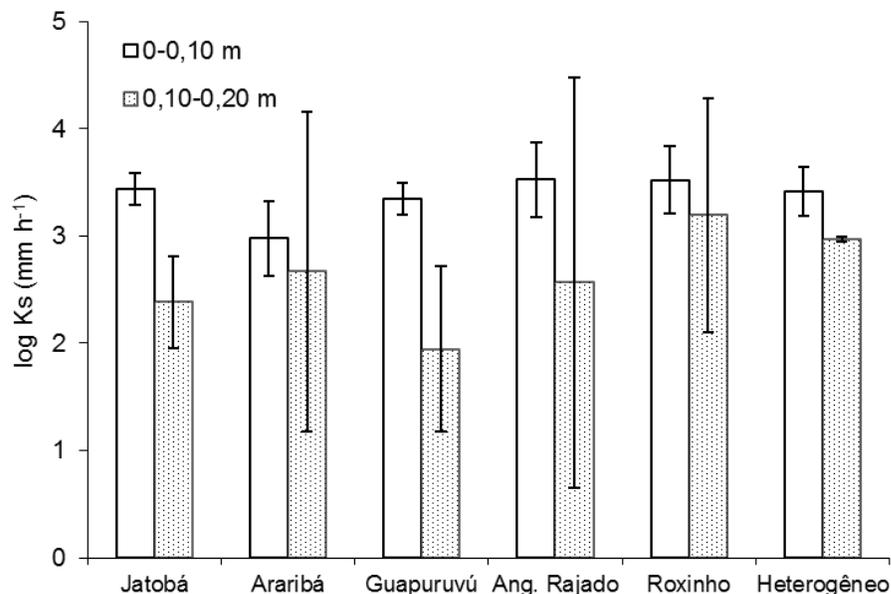


Figura 8. Log da condutividade hidráulica do solo (Ks) obtida pelo método do permeâmetro de carga constante, para as coberturas vegetais estudadas, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de profundidade. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Tabela 8. Classes de permeabilidade do solo a água (Soil Survey Staff, 1993) (adaptada para observação em escala logarítmica).

Classe	Infiltração (mm h ⁻¹)	Infiltração (log mm h ⁻¹)
Rápida	> 254	> 2,40
Moderada a rápida	254 – 127	2,40 - 2,10
Moderada	127 – 63,5	2,10 - 1,80
Lenta a moderada	63,5 – 20	1,80 - 1,30
Lenta	20 – 5	1,30 - 0,70
Muito lenta	< 5	< 0,70

Embora a textura possa ser determinante para a condutividade hidráulica de um solo, no presente caso as variações granulométricas não foram amplas o suficiente para que esse efeito fosse detectado. Os coeficientes de correlação entre log Ks e as frações granulométricas não foram significativos (-0,03 para a areia, -0,27 para o silte e 0,11 para a argila). Por outro lado, houve correlações significativas ($p < 0,01$) entre log Ks e outros atributos do solo, como densidade ($R = -0,83$), porosidade total ($R = 0,81$), macroporosidade ($R = 0,84$) e carbono orgânico ($R = 0,83$). Esta dependência da condutividade hidráulica com relação a variáveis estruturais e à matéria orgânica indica efeitos, diretos ou indiretos, das coberturas vegetais.

Os resultados dos ensaios de infiltração nas amostras coletadas no perfil de solo (área de plantio heterogêneo) são apresentados na Figura 9, permitindo uma visão mais ampla da dinâmica da água entre os horizontes do perfil do solo. Pode-se observar que a condutividade diminui em profundidade, sendo o log Ks do horizonte A significativamente superior ao dos demais horizontes (exceção ao B1, 0,42-0,72 m, em que a variabilidade foi muito maior que nos demais).

Nas camadas superficiais a oscilação de umidade no solo é muito frequente, sendo que os picos de umidade seguem imediatamente os eventos pluviométricos. No início da estação chuvosa as camadas superficiais geralmente encontram-se com baixa umidade (por haver maior concentração de raízes nesta camada, ocorre absorção mais intensa da água armazenada). Após elevação da umidade devido às primeiras chuvas, o componente gravitacional do potencial da água induz à drenagem vertical da água, o que é facilitado em função da rápida permeabilidade do perfil, como pode ser observado na Figura 9.

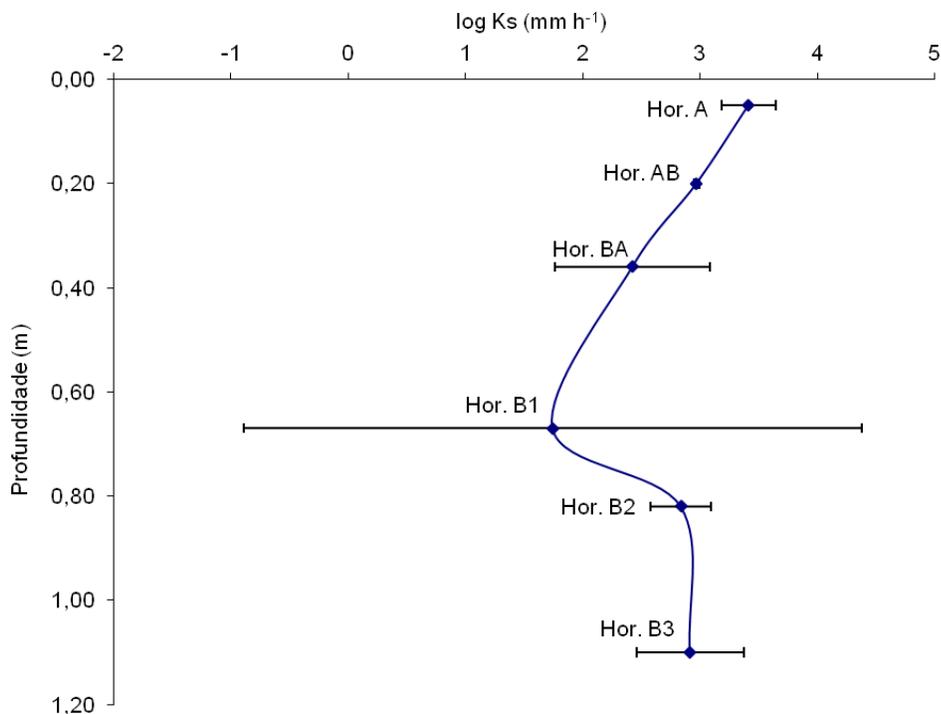


Figura 9. Log da infiltração (K_s , mm h^{-1}) da água do solo obtido a partir do método dos anéis de carga constante ao longo do perfil do solo, nos horizontes A, AB, BA, B1, B2 e B3. (Obs.: Para cada média, barras horizontais representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

É comum a ocorrência em subsuperfície de camadas de solo adensadas ou compactadas pelo manejo (com “pé de grade” ou “pé de arado”), ocasionando brusca redução da infiltração em relação a camadas superiores. No presente trabalho o decréscimo de K_s em profundidade acompanhou a redução da porosidade total e dos teores de areia e matéria orgânica, embora com coeficientes de correlação não significativos. Juhász (2006) verificou infiltração de água mais rápida na camada superficial, coincidindo com os mais elevados teores de areia e com estrutura grumosa ou granular.

Nos últimos anos grandes desastres têm ocorrido, incentivando uma série de pesquisas voltadas às áreas com potenciais riscos de escorregamento de encostas. Zaú (1994), Freitas, (2001) e Coelho Netto (2005) vêm constatando que são frequentes em áreas de encostas a substituição dos fragmentos de mata por áreas de gramíneas, geralmente originadas por incêndios recorrentes, fato semelhante às condições iniciais da área estudada.

Pesquisas de campo, realizadas em encostas sob cobertura vegetal de gramíneas (Deus, 1991; Cambra, 1998) indicam ser este um ambiente comum de

encostas onde ocorre a infiltração das águas pluviais. Porém, o fato de a zona radicular possuir alta densidade de raízes finas e pouco profundas (0,20 - 0,40 m), ou seja, no topo dos solos, resulta em uma descontinuidade hidráulica logo abaixo da zona de enraizamento ou rizosfera. Com a desaceleração brusca da percolação vertical da água na zona subjacente, menos enraizada, o topo tende à saturação, especialmente durante as chuvas mais intensas. Sob condição de excedentes críticos de poro-pressão positiva, os solos superficiais tendem a romper sua estabilidade e deslizar encosta abaixo. Assim sendo, os solos sob gramínea e outras espécies arbustivas ou arbóreas com raízes densas e pouco profundas tendem a ser altamente instáveis, potencializando a ocorrência de deslizamentos (Coelho Netto, 1999).

Novos estudos específicos às diversas classes de solo e respectivas formações florestais são recomendados (Jacomine, 2004), sendo esta uma carência de conhecimentos sobre as relações solo-vegetação, que está sendo suprida, em boa parte, com a interação entre trabalhos de diversas áreas do conhecimento, incluindo a dinâmica de água no solo, sendo capaz de promover a compreensão dos processos geradores e mantenedores da biodiversidade em um dos principais biomas, a Mata Atlântica (Juhász, 2006). No presente estudo, para o perfil de solo sob cobertura vegetal heterogênea, pode-se observar que, mesmo diminuindo nos horizontes mais profundos, as taxas de infiltração permanecem elevadas, provavelmente pela grande presença de raízes nos horizontes mais profundos, corroborando assim a importância de se revegetar áreas de encostas com espécies florestais.

II. Método do infiltrômetro de duplo anel

A Figura 10 mostra os valores do log da infiltração de água no solo obtida pelo método do duplo anel (ou velocidade de infiltração básica - VIB) para as diferentes coberturas florestais estudadas. De acordo com a Tabela 8, a permeabilidade foi classificada em rápida (jatobá e angico-rajado), moderada-rápida (araribá e heterogêneo) e moderada (guapuruvú e roxinho), sendo que as coberturas não diferiram uma das outras ($p < 0,05$). Mesmo após a transformação logarítmica dos dados a variabilidade permaneceu elevada, limitando a identificação de diferenças estatísticas entre as coberturas vegetais.

Como constatado por Marques et al. (2002), atributos hídricos do solo, como a VIB, correlacionam-se tanto com variáveis relacionadas à matriz do solo (composição granulométrica) quanto com relacionadas à estrutura (densidade, porosidade total). Para o presente caso, no entanto, como a textura e a estrutura do solo não apresentaram grande diversidade, tal fato não ocorreu. Os processos que conduzem a movimentação da água no solo são dinâmicos, e nem sempre dependem estritamente desses atributos, podendo haver interferência de outros fatores. Os anéis são cravados no solo com o auxílio de marretas, que por mais cuidado que se tenha para preservar as condições naturais possíveis, a probabilidade de perturbar a estrutura do solo é razoável, podendo interferir nos resultados gerados.

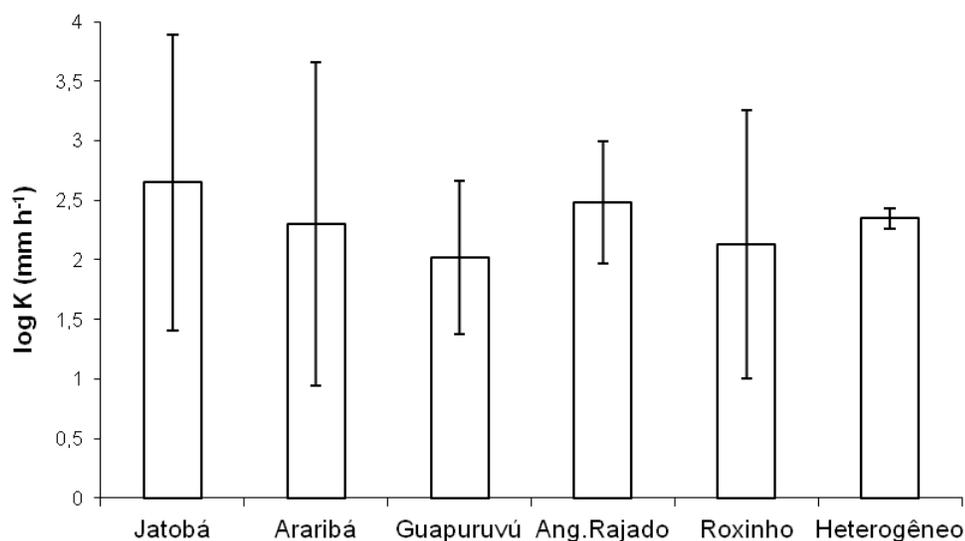


Figura 10. Log da infiltração da água do solo K_s (mm h^{-1}) obtido a partir do método do infiltrômetro de duplo anel, aplicado nas coberturas vegetais estudadas. (Obs: Barras verticais no limite superior das colunas representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Segundo Reichardt (1993), a velocidade de infiltração básica (VIB) é uma estimativa de K_s . Comparativamente ao método do permeâmetro de carga constante, observa-se que os valores de log VIB são bem menores que os valores de log K_s obtidos para a camada 0-0,10 m, sendo mais próximos aos da camada 0,10-0,20 m. A maior densidade da camada subsuperficial, que determina menor porosidade total e macroporosidade e, ao mesmo tempo, que leva a obtenção de menores valores de K_s , pode limitar o avanço da frente de molhamento durante o

ensaio com o infiltrômetro de duplo anel, sendo mais determinante para a VIB que a própria camada superficial.

III. Método do infiltrômetro de tensão

As avaliações utilizando o infiltrômetro de tensão foram feitas na camada superficial do solo nas diferentes coberturas estudadas, com tensões (τ) ajustadas para 0, 0,25, 0,50 e 1,0 kPa, estando os valores médios do logaritmo das condutividades obtidas ($\log K$) apresentados na Figura 11. O valor de K correspondente (média geométrica) é da ordem de 37,5 mm h na saturação, enquanto na tensão 0,25 kPa é de 7,5 mm h, revelando decréscimo de 80%. Para a tensão 0,50 kPa, o decréscimo ($K = 1,5$ mm h) em relação à tensão imediatamente inferior foi de 80%, e para a tensão 1,0 kPa ($K = 0,06$ mm h) foi de 96%. Quanto a esse comportamento, quando aplicadas tensões menores o solo rapidamente se satura (ou fica próximo ao ponto de saturação), elevando a condutividade hidráulica deste. Por outro lado, quando aumenta a tensão aplicada pelo equipamento, mais o solo se afasta da saturação, reduzindo proporcionalmente os valores de infiltração (Marciano et al., 2001).

Comparando-se os talhões, observa-se, para as tensões 0 kPa (que corresponde à saturação) e 0,25 kPa, que o $\log K$ sob a cobertura do angico-rajado, com a menor taxa de infiltração, diferiu das coberturas roxinho e do heterogêneo, que apresentaram as maiores taxas. Para as tensões 0,50 e 1,0 kPa as coberturas não diferiram entre si, tendo em vista os amplos intervalos de confiança. Pelo contrário, Marciano et al. (2001), no primeiro ano de um experimento com aplicação de resíduos urbanos em solo, verificaram diferenças estatísticas entre tratamentos apenas para as tensões 0,50 e 1,0 kPa, mas não para 0 e 0,25 kPa.

Na Tabela 9 são apresentados os coeficientes de correlação linear para a condutividade hidráulica nas tensões 0, 0,25, 0,50 e 1,0 kPa em relação às frações granulométricas, à porosidade total e à macroporosidade da camada 0-0,10 m, nos talhões sob as coberturas estudadas. Verifica-se correlação elevada e significativa da macroporosidade para $\log K$ em todas as tensões

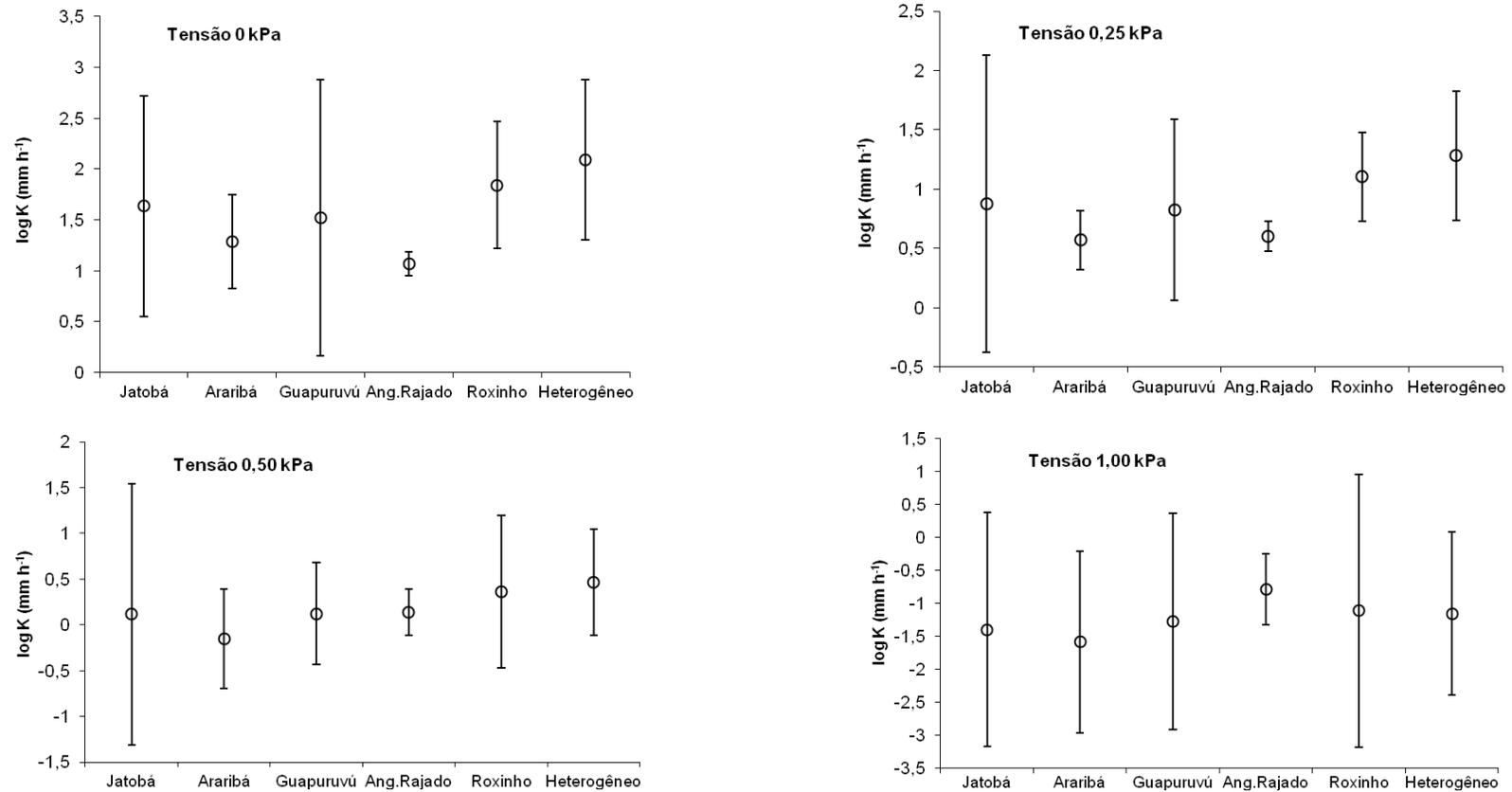


Figura 11. Log da condutividade hidráulica ($\log K$) do solo obtido pelo método do infiltrômetro de tensão nas coberturas vegetais estudadas, aplicando-se as tensões de 0, 0,25, 0,50 e 1,00 kPa. (Obs: Barras verticais no limite superior e inferior dos círculos representam o intervalo de confiança a 5% de probabilidade).

Tabela 9. Coeficientes de correlação das frações granulométricas, porosidade total e macroporosidade da camada 0-0,10 m do solo com o logaritmo da condutividade hidráulica ($\log K$) obtidos com infiltrômetro de tensão nas tensões 0, 0,25, 0,50 e 1,0 kPa, nos talhões sob as coberturas estudadas.

	$\log K_{\tau=0}$	$\log K_{\tau=0,25}$	$\log K_{\tau=0,50}$	$\log K_{\tau=1,00}$
Areia	-0,623	-0,719	-0,782	-0,397
Silte	-0,599	-0,768	-0,950**	-0,698
Argila	0,670	0,800	0,911*	0,539
Porosidade total	0,328	0,461	0,625	0,550
Macroporosidade	0,918**	0,931**	0,825*	0,062

Obs.: Significância pelo teste t: (*) 5% de probabilidade; (**) 1% de probabilidade.

aplicadas, menos 1,0 kPa. Em relação às frações granulométricas, apenas para $\log K_{\tau=0,50}$ houve correlações significativas com o silte e a argila. Para as demais tensões e atributos, embora os coeficientes de correlação sejam relativamente elevados, não são estatisticamente significativos, tanto pela expressiva variabilidade dos dados quanto pelo baixo número de graus de liberdade do resíduo ($G.L._{Res} = 4$; utilizados dados de apenas seis talhões).

Atributos relacionados à dinâmica da água normalmente se correlacionam com a estrutura do solo. No presente caso as maiores correlações foram verificadas para a macroporosidade (Tabela 9), a qual, além de ter variado entre as coberturas vegetais, apresentou correlações significativas com outros atributos do solo, inclusive com o carbono orgânico. Os efeitos das coberturas vegetais sobre tais atributos se propagam para a condutividade hidráulica, sugerindo uma interferência indireta das espécies florestais sobre esta variável.

Aplicando-se os parâmetros para normalização da infiltração da água no solo (K) na tensão de 0 kPa, na escala obtida por Alvarenga (2010), verifica-se a seguinte ordem do valor normalizado: angico-rajado – 0,082, araribá – 0,279, jatobá – 0,978, guapuruvú – 0,981, roxinho – 1,000, heterogêneo – 1,000. As únicas coberturas que apresentaram valores observados muito afastados de 1 foram o angico-rajado e araribá, o que indica menor qualidade em comparação aos solos estudados por Alvarenga (2010). As demais coberturas apresentaram valores muito próximos ou até mesmo iguais a 1, sugerindo que as espécies estudadas interferiram positivamente neste atributo do solo.

4.4 Índice de qualidade físico-hídrica do solo

A partir dos valores de densidade, macroporosidade, microporosidade e condutividade hidráulica ($K_{\tau=0}$) normalizados conforme Alvarenga (2010), foram calculados os índices de qualidade do solo para recarga de água no solo (IQS_{RA}) para cada cobertura florestal, sendo estes apresentados na Figura 12. Observa-se que apenas as coberturas florestais araribá ($IQS_{RA} = 0,472$) e angico-rajado ($IQS_{RA} = 0,444$) apresentaram índices abaixo do limite crítico ($IQS_{RA} = 0,5$). As demais coberturas apresentaram valores muito superiores a este limite, destacando-se as coberturas florestais roxinho ($IQS_{RA} = 0,739$) e heterogêneo ($IQS_{RA} = 0,713$). Ressalta-se que mesmo as coberturas florestais araribá e angico-rajado estão com IQS_{RA} muito próximos de atingir o limite crítico e podem estar contribuindo para a recuperação ambiental da área em relação ao período anterior à vegetação. Além disso, a média obtida entre as cinco coberturas homogêneas estudadas ($IQS_{RA} = 0,603$) é inferior à da cobertura heterogênea, reforçando a ideia de plantio misto de espécies em áreas de preservação. Por outro lado, plantios florestais homogêneos para aproveitamento econômico poderiam utilizar espécies que, similarmente ao plantio heterogêneo, favoreçam a recuperação e conservação do solo.

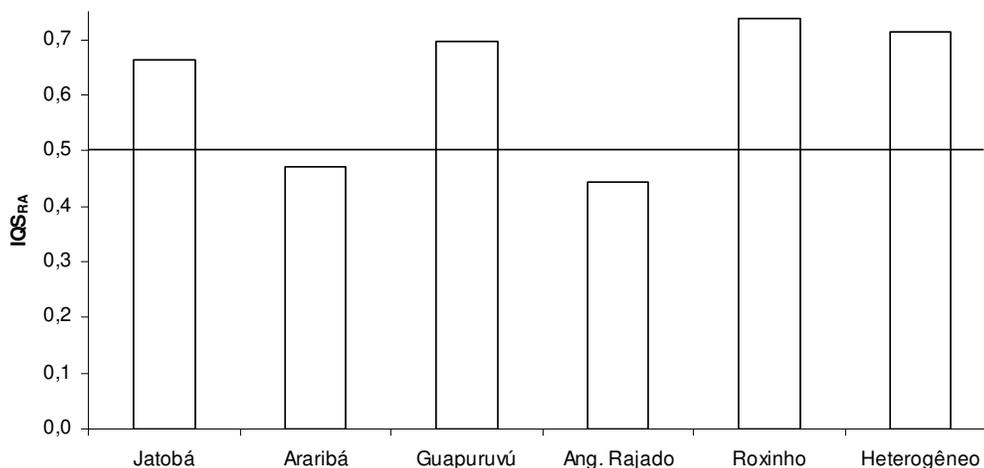


Figura 12. Índice de qualidade do solo para recarga de água (IQS_{RA}) calculada para cada cobertura florestal.

5 RESUMO E CONCLUSÕES

Espécies florestais nativas podem ser utilizadas para a revegetação de áreas degradadas onde a agricultura e urbanização não são indicadas. Este trabalho teve como objetivo caracterizar a qualidade físico-hídrica de um solo da Região Serrana Fluminense, anteriormente sob pastagem e há 18 anos revegetado com espécies florestais nativas, buscando identificar diferenças entre os plantios homogêneos e o plantio heterogêneo.

A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que:

- as espécies florestais atuaram de forma distinta sobre o solo, levando à diferenciação nos teores de matéria orgânica e nos atributos relacionados à estrutura e à dinâmica da água, destacando-se o solo sob a cobertura florestal roxinho;
- índices derivados da curva retenção de água no solo, como água disponível e intervalo hídrico ótimo, correlacionaram-se a atributos da estrutura do solo e ao teor de matéria orgânica, sugerindo que as coberturas florestais, com destaque para o guapuruvú e roxinho, podem interferir, direta ou indiretamente, na melhoria dos atributos físico-hídricos do solo;
- de modo geral, as coberturas florestais contribuíram para melhoria e conservação dos atributos físicos e da dinâmica da água do solo na camada superficial, onde a deposição da serapilheira eleva o teor de matéria orgânica e deixa o solo mais poroso;

- o solo sob cobertura florestal heterogênea consegue reunir a maioria dos atributos físico-hídricos considerados ambientalmente favoráveis, enquanto a contribuição das espécies nas coberturas homogêneas ocorre de acordo com suas particularidades individuais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aidar, M.P.M. (1992) *Ecologia do araribá (Centrolobium tomentosum Guill. ex Benth – FABACEAE) e o ecótono Mata Ciliar da bacia do rio Jacaré-Pepira, São Paulo*. Dissertação de mestrado, Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas, 68p.
- Aidar, M.P.M.; Joly, C.A. (2003) Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth. – Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, São Paulo, *Revista Brasileira Botânica*, 26(2):193-202.
- Albuquerque, J.A.; Reinert, D.J.; Fiorin, J.E.; Ruedell, J.; Petrere, C. e Fontimelli, F. (1995) Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:115-119.
- Albuquerque, G. B.; Rodrigues, R. R. (2000) A vegetação do morro de Araçoiaba, Floresta Nacional de Ipanema, Iperó (SP). *Scientia Florestalis*, 58: 145-159.
- Albuquerque, J.A.; Sangoi, L.; Ender, M. (2001). Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:717-723.
- Alvarenga, C.C. (2010) Indicadores hidrológicos do solo para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) Viçosa – MG, Universidade Federal de Lavras - UFLA, 81p.
- Amaral, F.C.S.; Silva, E.F.; Melo, A. S. (2006) Caracterização pedológica e estudos de infiltração da água no solo em perímetros irrigados no Vale do Rio São Francisco – Dados eletrônicos – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos) Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 97:1678-1892.

- Andreola, F.; Costa, L.M. e Olszewski, N. (2000) Influencia da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 24:857-865.
- Ankeny, M.D.; Ahmed, M.; Kaspar, T.C.; Horton, R. (1991). Simple field method for determining unsaturated hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America Journal*, 55:467-470.
- Araujo, M. A.; Tormena C. A.; Silva A. P. (2004) Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:337-345.
- Araújo, R.; Goedert, W. J.; Lacerda M. P. C. (2007) Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1099-1108.
- Augusto Filho, O. (1994) *Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilhabela, SP*. Dissertação de Mestrado em engenharia – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 172p.
- Assis, R.L. e Lanças, K.P. (2005) Avaliação dos atributos físicos de um nitossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:515-522.
- Barreto, A.C.; Lima, F.H.S.; Freire, M.B.G.S.; Araújo, Q.R.de; Freire, F.J. (2006) Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. *Revista Caatinga*, 19 (4):415-425.
- Bastos, H.M. (1952). Contribuição para o conhecimento dendrológico das espécies do gênero *Centropogon*. *Rodriguésia* 6:125-167.
- Baver, L.D. (1956) *Soil physics*. New York: John Wiley, 489p.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H.; Gardner, W.R. (1972) *Soil physics*. 4 ed. New York: John Wiley, 529p.
- Bernardes, R. S. (2005) *Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 69p.
- Bernardes, R. S. (2010) *Funções de pedotransferência e qualidade física de três solos do norte fluminense para a cultura do coqueiro anão*. Tese (doutorado

- em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 139p.
- Bernardo, S. (1989) Manual de irrigação. Viçosa: UFV, *Imprensa Universitária*, 5:596p.
- Bligh, G.E. (1987) Lowering of the groundwater by deep rooted vegetation. 9th European conference on soil mechanics and foundation engineering, Dublin, Ireland 1:285-288.
- Brady, N.C. (1989) Natureza e propriedades dos solos. São Paulo: Freitas Bastos, 7:878p.
- Brancalion, P.H.S.; Rodrigues, R.R.; Gandolfi, S.; Kageyama, P.Y.; Nave, A.G.; Gandara F.B.; Barbosa, L.M.; Tabarelli, M. (2010) Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 34(3):455-470.
- Busscher, W.J. (1990) Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 33:519-524.
- Cadima, Z.A.; Libardi, P.L. e Reichardt, K. (1980) Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, no campo. *R. Bras. Ci. Solo*, 4:63-66.
- Cambra, M.F.E. (1998) *Movimentos de água na porção superior de solos sob pastagem: o papel do sistema radicular*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia/ UFRJ. 100p.
- Camp, C.R.; Gill, W.R.; (1969) The effect of drying on soil strength parameters. *Soil Science Society of America Proceedings*, V. 33, p.641-644.
- Candiani, G. (2006) *Regeneração natural em áreas anteriormente ocupadas por floresta de Eucalyptus saligna Smith, no município de Caieiras (SP): subsídios para recuperação florestal*. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente) Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 133p.
- Carvalho, E.J.M.; Figueiredo, M.S.; Costa, L.M. (1999) Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 34 (2):257-265.
- Carvalho Filho, C.J.R. (2005). Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba*

- [*schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 29(6):907-914.
- Carvalho, P.E.R. (1994) Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso de madeira. *Embrapa-CNPQ*, Brasília, 153-161.
- Castro Filho, C.; Muzilli, O.; Podanoschi, A.L. (1998) Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:527-538.
- Centurion, J. F.; Cardoso J. P.; Natale W. (2000) Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande - PB, 2(5):254-258.
- Chen, C. P. (1993) Pastures as the secondary component in treepasture systems. In: International Grassland Congress, 17. Rockhampton. *Proceedings. Rockhampton*. 3:2037-2043.
- Cielo Filho, R.; Santin D. A. (2002) Estudo florístico e fitossociológico de um fragmento florestal urbano – Bosque dos Alemães, Campinas SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 3(25):291-301.
- Coelho Netto, A.L. (1999) “Catastrophic landscape evolution in a humid region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes”. Suplemento di Geografia Física e Dinâmica Quaternária III, Plenary Lecture – IV International Conference on Geomorphology, Bologna – Itália, 21-48.
- Coelho Netto, A.L. (2005) A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no maciço da tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. *Revista do Departamento de Geografia*, 16:46-60.
- Costa, J.B. (1979) Caracterização e constituição do solo. Lisboa: *Fundação Calouste Gulbenkion*, (29)527.
- Cruz, A. C. R.; Pauletto, E. A.; Flores, C. A.; Silva, J. B. (2003) Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1105-1112.
- Daker, A. (1970) A água na agricultura: irrigação e drenagem. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 3 (3):453.

- Da Ross, C.O.; Secco, D.; Fiorin, J.E.; Petrere, C.; Cadore, M.A.; Pasa, L. (1997) Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 21 (2):241-247.
- Deus, C.E. (1991) *O papel da formiga Saúva (gênero ATTA) na hidrologia e erosão dos solos em ambiente de pastagem*: Bananal – SP. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia/UFRJ, 73p.
- Dias Junior, M.S. (1996) Notas de aula de física do solo. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 168p.
- Dickerson, B.P. (1976) Soil compactation after tree-length skidding in northern Mississippi. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, 40(6):965-966.
- Ekwue, E. J.; Stone, R.J. (1997) Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. *Transference America Science Agriculture Engineer*, 40:317-323.
- Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de solos (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA-SPI. 2:412p.
- Ferreira, M.M. (1988) *Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos brasileiros*. Dissertação de Doutorado. Viçosa: UFV, 79p.
- Ferreira, M.M. (1993) Física do solo. Lavras: ESAL/UFLA-FAEP, 71p.
- Figueiredo, L. H. A.; Dias Junior M. S.; Ferreira M. M. (2000). Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:487-493.
- Fiori, A.P.; Carmignani, L. (2001) Fundamentos de mecânicas do solo e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes. Curitiba: Editora UFPR, 550p.
- Folegatti, M. V.; Brasil, R. P. C.; Blanco, F. F. (2001) Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a kandiodalfic eutrudox and a typic hapludox. *Scientia Agricola*, 58 (4):833-838.
- Freitas, L.E. (2001) *Efeitos do fogo sobre os ecossistemas: resultantes hidrológicas e erosivas*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, 87p.
- Gandolfi, S. (2000) *História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas* (São Paulo, Brasil). Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 89p.

- Gang, L.U.; Sakagami, K.; Tanaka, H.; Hamada, R. (1998) Role of soil organic matter in stabilization of water-stable aggregates in soils under different types of land use. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44:147-155.
- Gubiani, P. I.; Reinert, D.J., Reichert, J.M. e Gelain, N.S. (2008) KSAT 2008 - Programa computacional auxiliar na determinação da condutividade hidráulica de solo saturado pelo método do permeâmetro de carga decrescente. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 17. Rio de Janeiro. Anais... *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. 1 CD-ROM.
- Garrido, M.A.O. e Poggiani, F. (1982) Avaliação da quantidade e do conteúdo de nutrientes do folheto de alguns povoamentos puros e mistos de espécies indígenas. *Silvicultura em São Paulo*, 15 (16):1-22.
- Gusson, A. E.; Lopes, S.F.; Durval Neto, O.C.; Vale, V.S.; Oliveira A.P.; Schiavini, I. (2009) Características Químicas do Solo e Estrutura de um Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Ipiaçú, Minas Gerais, Brasil – *Rodriguésia*, 60(2):403-414.
- Guimarães, E. C. (2000) *Variabilidade espacial de atributos de uma latossolo vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, 85p.
- Gray, D. H. (1995) Consequences of vegetation removal. In: D. H. BARKER (Ed.), *Vegetation and Slopes: Stabilization, Protection and Ecology*. London: Thomas Telford, 296p.
- Grohman, F. (1960) Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. VII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Piracicaba – SP, 21(19):319-328.
- Grohman, F. (1972) Porosidade. In: MONIZ, A.C. *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono, p.77- 84.
- Houghton, D. (1984) Trees and erosion control. *Queensland Agricultural Journal*, 1(110):9-12.
- Hurtado, A.L.B. (2004) *Variabilidade da condutividade hidráulica do solo em valores fixos de umidade e de potencial matricial*. Piracicaba, (Tese de Doutorado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 94p.
- Ingaramo, O.E. (2003) *Indicadores físicos de la degradación del suelo*. (Dissertação de Doutorado) La Coruña, Universidade da Coruña, 298p.

- Jabro, J.D. (1992) Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. *Am. Soc. Agric. Eng.*, 35:557-560.
- Jabro, J.D. (1996) Variability of field-saturated hydraulic conductivity in hagerstown soil as affected by initial water content. *Soil Science*, Baltimore, 11(161):735-739.
- Jacomine, P.K.T. (2004) Solos sob matas ciliares. In: Rodrigues, R.R. e Leitão Filho, H.F., eds. *Matas ciliares: Conservação e recuperação*. São Paulo, Universidade de São Paulo, FAPESP, 2:27-31.
- Joly, C.A.; Spigolon, J.R.; Lieberg, S.A.; Salis, S.M.; Aidar, M.P.M.; Metzger, J.P.W.; Zickel, C.S.; Lobo, P.C.; Shimabukuro, M.T.; Marques, M.C.M.; Salino, A. (2000). Projeto Jacaré-Pepira – O desenvolvimento de um modelo de recomposição da Mata Ciliar com base na florística regional. In *Matas ciliares: conservação e recuperação*. Fapesp, São Paulo, 271-287.
- Jong van Lier, Q.; Libardi, P.L. (1997) Extraction of soil water by plants: development and validation of a model. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 21:535-542.
- Jong van Lier, Q. (2010) Física do solo. Viçosa: MG, *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. (1)298.
- Juhász, C.E.P.; Cursi, P.R.; Cooper, M.; Oliveira, T.C.; Rodrigues, R.R. (2006) Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (cerradão) em Assis, SP. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 30:401-412.
- Kato, E.; Ramos, M.L.G.; Vieira, D.F.A.; Meira, A.D.; Mourão, V.C. (2010) Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 26 (5):732-738.
- Kiehl, E.J. (1979) Manual de edafologia: Relações solo planta. São Paulo, Agronômica Ceres, 262p.
- Klein, V. A.; Libardi P.L. (2002) Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:857-867.

- Lapen, D.P.; Topp, G.C.; Gregorich, E.G.; Curnoe, W.E. (2004) Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. *Soil Till. Res.*, 78:151-170.
- Llanillo, R.F.; Richart, A.; Tavares Filho, J.; Guimarães, M.F.; Ferreira, R.R.M. (2006) Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 2(27):205-220.
- Lima, C.L.R.; Silva, A.P.; Imhoff, S.; Lima, H.V.; Leão, T.P. (2004) Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:409-414.
- Lima, H. C. (coord.) (2002). Paisagem e Flora da Reserva Biológica do Tinguá: subsídios ao monitoramento da vegetação. Relatório Técnico. JBRJ. 25p.
- Lobato, E.J.V.; Libardi, P.L.; Camargo, O.A. (1998) Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um latossolo roxo distrófico tratado com água/vinhaça. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 22:181-188.
- Lorenzi, H. (1992) Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 352p.
- Loureiro, A.A.; Silva, M.F. da; Alencar, J. da C. (1979) Essências madeireiras da Amazônia. Manaus. *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia*, 1:123.
- Marciano, C.R. (1999) *Incorporação de resíduos urbanos e as propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho Amarelo*. Dissertação (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Piracicaba – SP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. 93p.
- Marciano, C. R.; Moraes, S. O.; Oliveira, F. C.; Mattiazzo, M. E. (2001) Incorporação de resíduos urbanos e a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não saturado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 25 (1):1-9.
- Marques, J.D., Libardi, P.L., Jong Van Lier, Q. (2002) Relação entre horizontes pedológicos e propriedades hidráulicas em dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26: 567-577.
- Milne, R.M.; Haynes, R.J. (2004) Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa. *Soil Use Management*, 20:81-88.

- Mualem, Y. (1976) A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research*, 12(3):513-522.
- Oliveira, C.E.V.; Oliveira, G.M.; Almeida, D.S.; Zago, A.R.; Ferreira, W.G. (1998) Comportamento de espécies florestais nativas em plantios homogêneos na região serrana fluminense. *Floresta e ambiente*, 5(1):219-224.
- Orozco, M.M.D. (2009) *Caracterização da gramínea Vetiveria zizanioides para aplicação na recuperação de áreas degradadas por erosão*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Belo Horizonte – MG, UFMG. 81p.
- Paixão, J.R.; Andrade, A.R.S; Azevedo, C.A.V.; Silva, J.M., Costa, T.L.; Feitosa, R.M. (2004) Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, ISSN 1519-5228.
- Paula, A.; Silva, A.F.; Júnior, P.M.; Santos, F.A.M.; Souza, A.L. (2004). Sucessão ecológica da vegetação arbórea em uma Floresta Estacional Semidecidual, Viçosa, MG, Brasil - *Acta Botânica Brasileira* 18(3):407-423.
- Pereira, M.O.; Leal, T.S.; Lagazzi, G.; Moraes, C.P. (2011) Avaliação de métodos de escarificação na superação de dormência de *Schizolobium parahyba* (vell.) blake (fabaceae: caesalpinioideae). *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, 1 (4):119-129.
- Pietrobon, R.C.V. e Oliveira, D.M.T. (2004) Morfoanatomia e ontogênese do pericarpo de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Fabaceae, Caesalpinioideae), *Revista Brasileira de Botânica*, 27 (4):767-779.
- Pimentel Gomes, F. (1990) Curso de estatística experimental.. Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, (13) 468p.
- Pinto Sobrinho, F.A. (2007) *Conhecimento etnobotânico de mateiros residentes no entorno de Unidades de Conservação no estado do Rio de Janeiro*. Dissertação (Pós-Graduação em Botânica) - Rio de Janeiro – RJ, Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico, 73p.
- Reichardt, K. (1988) Capacidade de campo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12:211- 216.

- Reichert, J.M.; Reinert, D.J.; Braidá, J.A. (2003) Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista Ciência Ambiental*, 27:29-48.
- Reichert, J.M.; Suzuki, L.E.A.S.; Reinert, D.J. (2007) Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Ciência do Solo*, 5:49-134.
- Reinert, D.J. (1997) Recuperação de solos em sistemas agropastoris; Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo no sistema plantio direto. *Plantio Direto*, 4:25-44.
- Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Veiga, M.V.; Suzuki, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. (2006) In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. Palestras. Aracaju, *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, CD-ROM.
- Reis, M.S. (1996) *Distribuição e dinâmica da variabilidade genética em populações naturais de palmitero (Euterpe Edulis M.)*. (Dissertação de Doutorado) Piracicaba, 58p.
- Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Corrêa, G.F. (1997) Pedologia: base para distinção de ambientes. *Viçosa*, 2:367p.
- Richards, L.A. (1965) Physical conditions of water in soil. In: Black, C.A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. American Society for Testing and Materials*, Madison, (9):770p.
- Richter, H.G., Tomaselli, I.; Moreschi, J.C. (1974). Estudo tecnológico do Guapuruvú (*Schizolobium parahybum*). *Revista Floresta*, 5:26-30.
- Rizzini, C.T. (1978). *Plantas do Brasil: árvores e madeira úteis do Brasil, manual de dendrologia brasileira*. Edgard Blücher, São Paulo, 325p.
- Rodrigues, R.R. e Nave, A.G. (2000) Heterogeneidade florística das matas ciliares. In *Matas ciliares: conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho, eds.). Editora da USP/Fapesp, São Paulo, p.45-71.
- Salis, S.M.; Shepherd, G.J.; Joly, C.A. (1995). Floristic comparison of mesophytic semideciduous forests of the interior the state of São Paulo, Southeast Brazil. *Vegetatio*, 119:155-164.
- Salton, J.C.; Mielniczuk, J. (1995). Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul - RS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 19:313-319.
- Salton, J.C.; Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Boeni, M.; Conceição, P.C.; Fabricio, A.C.; Macedo, M.C.M.; Broch, D.L. (2008) Agregação e estabilidade de agregados

- do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:11-21.
- Santos, F.V.; Solórzano, A.; Bruni, R.R.G.; Oliveira, R.R. (2006) Composição do Estrato Arbóreo de um Paleoterritório de Carvoeiros no Maciço da Pedra Branca, RJ. São Leopoldo, Instituto Anchieta de Pesquisas, 57:181-192.
- Schaefer, C.E.G.R.; Souza, C.M.; Vallejos, F.M.J.; Viana, J.H.M.; Galvão, J.C.C.; Ribeiro, L.M. (2001) Características da porosidade de um argissolo vermelho-amarelo submetido a diferentes manejos de preparo de solo. *Revista Brasileiro de ciência do solo*, 25(3):765-769.
- Silva, M. F., (1976) Revisão taxonômica do gênero *Peltogyne* Vog. (Leguminosae - Caesalpinioideae). *Acta Amazônica*, 6(1):1-61.
- Silva, A.P.; Libardi, P.L.; Camargo, O.A. (1986) Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 10:91-95.
- Silva, A.P.; Kay, B.D.; Perfect, E. (1994) Characterization of the least limiting water range. *Soil Science Society America Journal*, 58:1775-1781.
- Silva, M.M.F.; Bastos, M.N.C.; Gurgel, E.S.C. (2009). Aspectos taxonômicos e morfológicos do processo germinativo e da plântula de *Peltogyne venosa* subsp. *densiflora* (Spruce ex Benth.) M.F. Silva (Leguminosae – Caesalpinioideae). Emílio Goeldi. *Ciência Natural*, Belém, 3(4):291-302.
- Soares, P.G.; Rodrigues, R.R. (2008) Semeadura direta de leguminosas florestais: efeito da inoculação com rizóbio na emergência de plântulas e crescimento inicial no campo. *Scientia Forest*, Piracicaba, 78(36):115-121.
- Soil Survey Staff (1993) Soil survey manual (Handbook,18), Washington: United States Government Print Office, 437p.
- Soil Survey Staff (2010) Keys to Soil Taxonomy. Washington: USDA -Natural Resources Conservation Service. 11:338.
- Sojka, R.E.; Busscher, W.J.; Lehrs, G.A. (2001) In situ strength, bulk density, and water content relations of durinodic xeric haplocalcic soil. *Soil Science*, 166 (8):520-529.
- Souza, J. L.; Resende, P. (2003) Manual de horticultura orgânica. *Aprenda Fácil*, Viçosa, 564p.
- Souza, M.S. (2004) *Caracterização do intervalo hídrico ótimo de três solos da Região Norte Fluminense*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) –

- Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 72p.
- Souza, Z.M.; Alves, M.C. (2003) Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7:18-23.
- Sprent, J.I. (1995) Legume trees and shrubs in the tropics: N₂ fixation in perspective. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 4/5 (27):401-407.
- SSSA (2011) Soil Science Society of America; Glossary: <https://www.soils.org/> em 21/08/2011 página mantida pela SSSA.
- Stenberg, B. (1999) Monitoring soil quality of arable land: Microbiological indicators. *Soil Plant Science*, 49:1-24.
- Stone, R.J.; Ekwue, E.I. (1993) Maximum bulk density achieved during soil compaction as effected by the incorporation of three organic materials. *Transference America Science Agriculture Engineer*, 36:1713-1719.
- Swartzendruber, D. (1987) A quasi-solution of Richards equation for the downward infiltration of water into soil. *Water Resistance*, 23:809-817.
- Tabalipa, N.L.; Fiori, A.P. (2008) Influência da vegetação na estabilidade de taludes na bacia do Rio Ligeiro (PR). São Paulo, UNESP, *Geociências*, 3 (27):387-399.
- Tisdall, J.M.; Oades, L.M. (1982) Organic matter and water stable aggregates in soils. *Journal Soil Science*, 33:141-163.
- Tormena, C.A.; Silva, A.P.; Libard, P.L. (1998) Caracterização do Intervalo Hídrico Ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 22:573-581.
- USDA, United States Department of Agriculture (1972) Soil Conservation service. Soil Survey Laboratory Methods and procedures for collecting soil samples: soil survey investigations. Washington, (Report 1).
- Van Beek, L.P.H.; Wint, J.; Cammeraat, L.H.; Edwards, J.P. (2005) Observation and simulation of root reinforcement on abandoned Mediterranean slopes. *Plant and Soil*, 278:55-74.
- Vasconcelos, R.F.B.; Cantalice, J.R.B.; Oliveira, V.S.; Costa, Y.D.J.; Cavalcante, D.M. (2010) Estabilidade de agregados de um latossolo amarelo distrocioso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:309-316.

- Vomocil, J.A. e Flocker, W.J. (1966) Effects of soil compaction on storage and movement of soil, air and water. *Transference America Science Agriculture Engineer*, 4:242-246.
- Wolfe, M.L.; Larson, C.L.; Onstad, C.A. (1988) Hydraulic conductivity and Green-Ampt Infiltration modeling for tilled soils. *Transference America Science Agriculture Engineer*, 31:1135-1140.
- Zaú, A.S. (1994) *Cobertura Vegetal: transformações e resultantes microclimáticas, hidrológicas e superficiais na vertente norte do morro do Sumaré, Parque Nacional da Tijuca*. Dissertação de Mestrado, IGEO/UFRJ. 197p.