



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.net

E-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3625-4212



Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.490>)

Agenor Micaeli dos Santos¹; Marcelo dos Santos Targa¹;
Getulio Teixeira Batista¹; Nelson Wellausen Dias²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais,
Universidade de Taubaté - UNITAU

e-mail: agenormicaeli@yahoo.com.br; mtarga@unitau.br;

e-mail: getulio@agro.unitau.br;

²Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

e-mail: nelson.dias@ibge.gov.br

RESUMO

O Florestamento Compensatório é uma técnica importante para estimar a área de cobertura florestal necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial em uma bacia hidrográfica e assim orientar intervenções de recomposição florestal. O estudo tem como principal objetivo quantificar a área de florestamento compensatório necessário para melhorar a retenção de água nas sub-bacias hidrográficas do Ribeirão das Perdizes e do Ribeirão Fojo, no município de Campos do Jordão, SP. As estimativas foram baseadas na metodologia do Florestamento Compensatório para Retenção de Água em Microbacias (FCRAM). Dessa forma, a estimativa da retenção de água em microbacias foi feita considerando: o valor médio mundial de destino da água no ciclo hidrológico, os usos e a ocupação do solo, bem como, a estimativa da permeabilidade. As sub-bacias têm uma área total de 2.666,6 ha, correspondendo a 9,3% da área do Município de Campos do Jordão. Os principais usos e ocupação do solo são: área de floresta com 1.257,9 ha, área urbanizada com 434,4 ha, área de reflorestamento com 432,5 ha, área de campos de altitude com 265,1 ha, área de pasto com 126,8 ha e área de outras classes com 149,9 ha. Estimativas de campo da infiltração de água em Cambissolo Háplico resultaram em taxas elevadas (298 mmh^{-1}) para o solo com cobertura do tipo floresta, de 289 mmh^{-1} para a cobertura vegetal do tipo reflorestamento, 94 mmh^{-1} para o campo e 63 mmh^{-1} para a cobertura vegetal do tipo pasto. Com base na recomendação de que 20,55% de toda a água que precipita sobre a bacia deve infiltrar no solo, calculou-se por meio do FCRAM que a área de floresta necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial nas demais coberturas do solo (campo, pasto, reflorestamento e urbana) existentes nessas sub-bacias é de 1.318,1 ha (51,8%). Dessa forma, concluiu-se que 60,2 ha (2,3%), adicionais de floresta devam ser plantados para compensação de 1,096 milhões de m^3/ano de água perdida nessas sub-bacias.

Palavras-chave: Reflorestamento; infiltração de água; uso e ocupação do solo; escoamento superficial; manejo de bacias.

Compensatory forestation for soil water retention in watersheds of Campos do Jordão municipality, SP, Brazil

ABSTRACT

Compensatory forestation is an important technique to estimate the necessary forest cover for compensating the water loss due to surface runoff within a watershed and, therefore, guiding forest recovery interventions. The objective of this study was to quantify the forest area needed to compensate water loss caused by surface runoff in Fojo Creek and Perdizes Creek basin areas in the municipality of Campos do Jordão, SP, Brazil. Estimates were based on the Compensatory Forestation Methodology for Retention of Rainwater in Small Watersheds, which takes into consideration the average total annual precipitation, land cover and land use, the water infiltration capacity of soil, and an international recommendation indicating that 20.55% of the water in the hydrological cycle should infiltrate into the soil. These two watersheds have a total area of 2,666.6 ha that account for 9.3% of the municipal area of Campos do Jordão. The main land use and land covers in this area are: 1,257.9 ha of forest, 434.4 ha of urban area, 432.5 ha of commercial forest plantation, 265.1 ha of highland prairies, 126.8 ha of pastureland, and 149.9 ha of other classes. Water infiltration rate field experiment estimated a high rate (298 mmh^{-1}) in forested areas, 289 mmh^{-1} in areas covered by commercial plantation, 94 mmh^{-1} in highland prairies, and 63 mmh^{-1} in pasturelands. Based on the 20.55% infiltration recommendation of precipitated water, it was estimated that the total forest area required for these two watersheds to compensate for the runoff caused by the other land cover classes (prairies, pasture lands, reforestation plantations and urban areas) should be 1,318.1 ha (51,8%). Therefore, an additional 60.2 ha of recovered forest is needed to compensate for the loss of 1,096 million m^3/year of water lost in these watersheds.

Keywords: reforestation; water infiltration; runoff; land use and land cover; watershed management.

1. INTRODUÇÃO

As formações florestais cobriam grande parte do território brasileiro, contudo, ao longo do tempo, as florestas foram submetidas às mais diversas formas de ação antrópica, ocasionando a supressão de grande parcela da vegetação. A cobertura vegetal nativa do Estado de São Paulo, em especial, diminuiu consideravelmente, encontrando-se perto dos 15% da sua extensão territorial (Kronka et al., 2005).

Segundo Kobiyama (2000), os ecossistemas florestais constituídos por parte aérea (árvores) e parte terrestre (solos florestais) desempenham inúmeras funções: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade); (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e aumento da recarga para os rios); (3) controle de erosão; (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; (5) atenuação da poluição atmosférica; (6) fornecimento do oxigênio (O_2) e absorção do gás carbônico (CO_2); (7) prevenção contra ação do vento e ruídos; (8) recreação e educação; (9) produção de biomassa e (10) fornecimento de energia.

A redução das florestas, o aumento da população, os processos de urbanização e o aquecimento global se constituem nas principais causas da redução da água dos mananciais e pode colocar em risco a garantia de oferta de água para as gerações atuais e futuras. Por outro lado, a reposição florestal com essências nativas se constitui em uma das principais formas de aumentar a retenção de água em uma bacia hidrográfica pelo aumento da infiltração no solo e redução do escoamento superficial e erosão.

A definição das taxas de infiltração mínima do solo ou Velocidade de Infiltração Básica (VIB) é fundamental para o estabelecimento das perdas por escoamento superficial em bacias hidrográficas.

Segundo Silva et al. (2006), em testes realizados em Cambissolos com textura arenosa em superfície e média em subsuperfície, as taxas de infiltração básica foram muito rápidas (300 e 400 mmh^{-1}), enquanto os testes realizados um dia após o teste anterior, apresentaram somente taxas rápidas (150 e 250 mmh^{-1}). Sidiras e Roth (1984) encontraram uma VIB de 129 mmh^{-1} em um Latossolo-Roxo Distrófico, enquanto para um Cambissolo, utilizando anéis concêntricos com cargas de 5 e 10 cm , os valores da VIB foram $104,4$ e $143,3 \text{ mmh}^{-1}$, respectivamente (Cunha et al., 2009). Já Lisboa et al. (2007) encontraram VIB de 184 e 160 mmh^{-1} em Luvisolo Háplico e Cambissolo Húmico, respectivamente.

Soares et al. (2008), em estudo de mapeamento da infiltração dos solos do Vale do Paraíba no Estado de São Paulo, atribuíram aos cambissolos háplicos pesos de infiltração 4 em uma escala de 5 a 1 devido, principalmente, à presença de minerais primários facilmente alteráveis nesse tipo de solo, o que facilita o processo de infiltração.

O tipo de uso e manejo do solo interfere na velocidade de infiltração, pois estudos feitos em locais contendo sistema de plantio direto em Latossolo Amarelo indicaram valores da ordem de 571 mmh^{-1} (Cunha et al., 2009).

Valores médios da taxa de infiltração inicial e final de água num Cambissolo Húmico alumínico, realizado em Lages, SC, submetido a sistemas de manejo, resultaram nos seguintes valores de infiltração: Campo nativo pastejado (700 e 90 mmh^{-1}); Preparo convencional (1940 e 280 mmh^{-1}) e Semeadura direta (850 e 170 mmh^{-1}) em Lages, SC (Bertol et al., 2001). Valores iniciais de infiltração ainda muito maiores foram reportados em um estudo realizado na Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, SC, também para um Cambissolo álico, em área de pastagens submetidas a diferentes níveis de oferta de forragem por Bertol et al. (2000). Contudo, os autores ressaltaram que esses valores variaram amplamente em função da oferta de forragem e que a metodologia utilizada de anéis concêntricos com carga variável superestima os valores em cerca de dez vezes em face da carga hidráulica sobre o solo.

Segundo Rodrigues Júnior (2007), resultados médios de infiltração em Latossolo Vermelho Amarelo em diferentes coberturas do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Itaim no município de Taubaté, SP, indicaram que as coberturas de solo que apresentaram maior infiltração foram: Floresta (417 mmh^{-1}), Eucalipto (52 mmh^{-1}) e pastagem (19 mmh^{-1}), respectivamente.

O estudo dos processos de infiltração e retenção de água solo é importante para compreender melhor o armazenamento de água no sistema da bacia hidrográfica e auxiliar na definição de políticas de proteção e de conservação do solo e da água (Guerra, 2000). Por outro lado, o custo de recuperação de uma área com essências nativas é elevado e as áreas prioritárias para o plantio de espécies nativas devem ser definidas, com vistas a compensar o escoamento superficial devido a coberturas que não favorecem à infiltração da água no solo.

Nesse sentido, a técnica do Florestamento Compensatório pode ser definida como a estimativa da área de cobertura florestal necessária para compensar as perdas de água por escoamento superficial em uma bacia hidrográfica (Borges et al., 2005).

Rocha e Kurtz (2001), Garcia et al. (2001), Borges et al. (2005) e Rodrigues Júnior et al. (2007) aplicaram a metodologia de florestamento compensatório em diferentes locais e obtiveram diferentes valores de áreas necessárias para o florestamento compensatório devido aos diferentes usos e ocupações do solo.

Em trabalho realizado por Borges et al. (2005) para compensar a perda de água de $12,2$ milhões de m^3/ano na bacia do Córrego Palmital, eles chegaram a conclusão de que era

necessário um reflorestamento da ordem de 942,7 ha, prioritariamente em área de preservação permanente ou em parte da área destinada à reserva legal da propriedade.

Rodrigues Júnior et al. (2007) encontraram a área de 433,9 ha a ser reflorestada na bacia do Itaim em Taubaté, SP, para compensar as perdas por escoamento superficial devido às áreas de pastagem e eucalipto, o que representou aproximadamente 7,5% da área da bacia.

O presente estudo tem por objetivo avaliar as perdas de água nas sub-bacias dos córregos das Perdizes e do Fojo, as quais são utilizadas para captação e abastecimento de água para consumo humano no município de Campos do Jordão e quantificar o florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

O município de Campos do Jordão a leste da capital de São Paulo, na Serra da Mantiqueira, no médio Vale do Paraíba, com uma área de 290 Km², está localizado em um platô a 1.600 m acima do nível do mar, distante 167 km da capital paulista. O município pertence à região administrativa de São José dos Campos, região de governo de Taubaté, com uma população estimada para o ano de 2010 de 50.553 habitantes (São Paulo, 2010) é um dos sete municípios do estado de São Paulo que integram a APA da Mantiqueira. A topografia é bastante acidentada com cerca de 85% do município composto por regiões onduladas, 10% por encostas de serra e apenas 5% por áreas escarpadas. A área urbana da cidade está localizada em vale com uma parte plana que não ultrapassa 500 metros de largura, contudo, alguns pontos atingem mais de 2000 metros de altitude.

O município de Campos do Jordão capta água para o abastecimento de consumo humano nas sub-bacias das Perdizes e do Fojo, as quais têm sido submetidas a processos diferenciados de uso e ocupação, que interferem na dinâmica da água na bacia, especialmente, com relação a sua capacidade de infiltração e ao escoamento superficial.

A Precipitação média anual na região de Campos do Jordão é da ordem de 2000 mm. Segundo Setzer (1966), pela Classificação Climática do Sistema Internacional de Köppen, o clima dessa região é do tipo Cfb, caracterizado por um período menos úmido de abril a setembro e um período chuvoso de outubro a março.

A área desse estudo compreende as sub-bacias hidrográficas do ribeirão das Perdizes e do ribeirão do Fojo (Figura 1), no município de Campos do Jordão, SP.

2.2. Uso e ocupação do solo

Na interpretação visual da paisagem local foram utilizadas as fotos aéreas verticais do município de Campos do Jordão, tomadas a partir da execução de aerolevanteamento fotográfico em abril de 2003 na escala 1:25.000, tendo como produto final ortofotos na escala 1:10.000, disponíveis em modo digital (Kronka et al., 2005).

As ortofotos foram interpretadas utilizando-se técnicas de interpretação visual baseadas nos elementos, como forma, tonalidade, padrão e textura realçadas com base em funções do sistema de processamento de imagens SPRING (Câmara et al., 2006), que permitiu a geração de um plano de informação contendo o uso e ocupação do solo contemplando principalmente o tipo de cobertura vegetal. Essa informação foi integrada no sistema da ESRI, o ArcGis 9.0™ com o qual foram gerados mapas temáticos com informações quantitativas e qualitativas sobre as sub-bacias do Fojo e das Perdizes no município de Campos do Jordão, incluindo a sua rede de drenagem delineada sobre as ortofotos com auxílio das cartas do IGC Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, na escala 1:10.000 de 1978 (Figura 2).

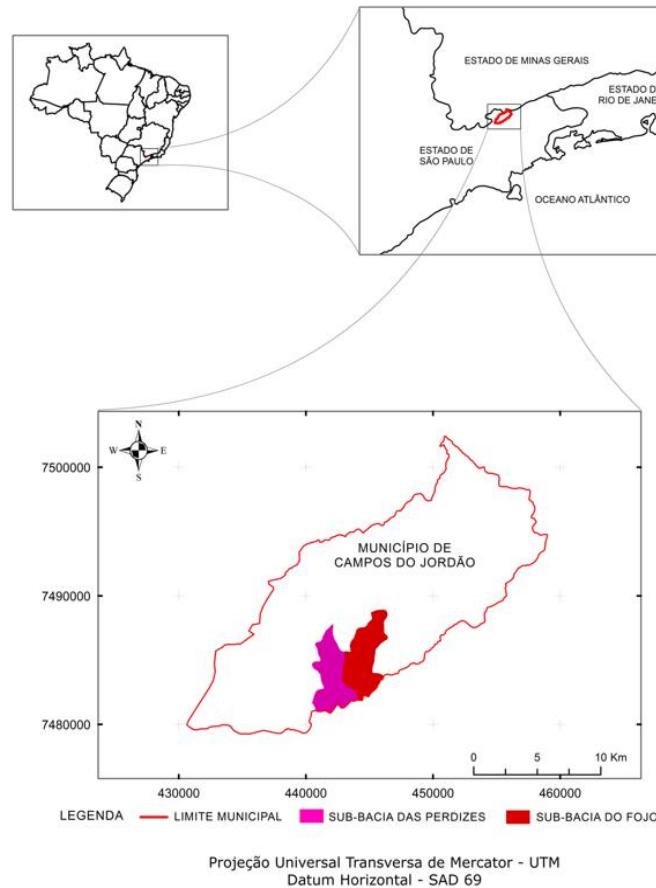


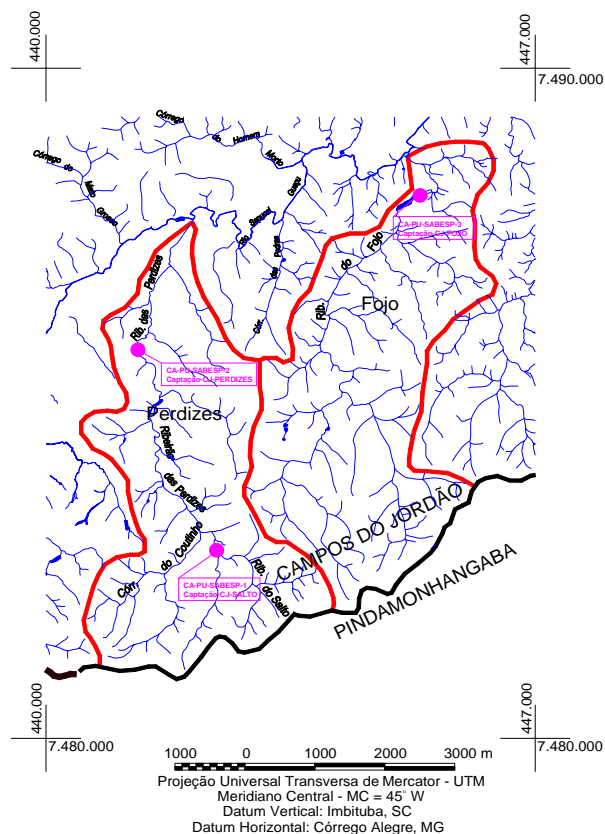
Figura 1. Localização da área de estudo no município de Campos de Jordão, SP.

2.3. Solos

Os tipos de solos da região de estudos foram obtidos do mapa de solos na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004). Esse mapa temático, fruto de parceria entre a EMBRAPA e o IBGE, permitiu uma visualização espacial dos principais tipos de solos segundo as especificações e nomenclatura indicadas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMBRAPA, 1999). Os solos com diferente cobertura foram caracterizados fisicamente em termos de densidade do solo (ds), densidade de partículas do solo (dp), porosidade total (p) e teores de areia, silte e argila, segundo a metodologia descrita em Kiehl (1979).

Verifica-se que os três tipos de solos existentes no município de Campos do Jordão são Latossolos LVA9 e LVA18 e Cambissolo CX14 (Figura 3). Os Latossolos LVA9 e LVA18 encontram-se em pequenas quantidades no município, já o Cambissolo CX14, onde se localizam as duas sub-bacias em estudo, ocupa a maior e principal área do Município de Campos do Jordão.

O Cambissolo Háplico (CX14) é o solo de maior expressão no município de Campos do Jordão e as sub-bacias estudadas possuem em sua totalidade esse tipo de solo (Figura 3). A classe Cambissolos CX comporta solos desde fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cores bruno ou bruno-amarelado até vermelho escuro (EMBRAPA, 2006).



BASE PLANIMÉTRICA: folhas Paraisópolis, Campos do Jordão, Delfim Moreira, Monteiro Lobato e Tremembé, na escala 1:50 000, do IBGE (1971), modificadas.

Figura 2. Rede de drenagem das sub-bacias das Perdizes e do Fojo e os pontos de captação de água para abastecimento público.

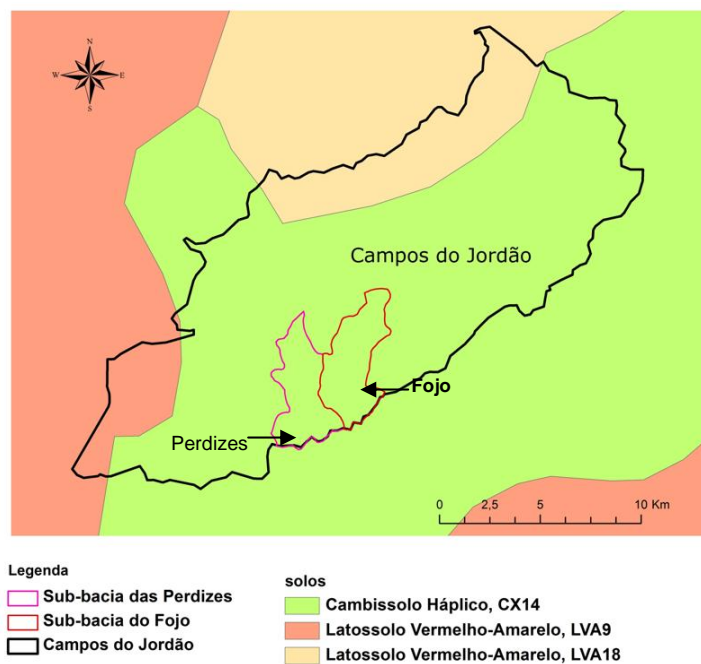


Figura 3. Tipos de solo existentes no município de Campos do Jordão, mostrando a ocorrência do Cambissolo Háplico nas bacias estudadas.

Fonte: Adaptado Mapa de Solos do Brasil (IBGE, 2004).

2.4. Florestamento compensatório

Para estimativa do florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo foi utilizada a metodologia de Florestamento Compensatório para Retenção de Água em Microbacias (FCRAM), proposta por Rocha e Kurts (2001). Essa metodologia foi baseada em estudos feitos por Odum (1988), Bloom (1970), Bunting (1971) e Rocha (1991), a partir dos seguintes dados: precipitação média sobre a terra (na parte continental do planeta); porcentagem de precipitação que é evaporada, evapotranspirada e retida na superfície; porcentagem de escoamento superficial; infiltrações médias da precipitação conforme o tipo de uso do solo.

Segundo Bloom (1970), do volume de água existente na terra, aproximadamente 2,71% são águas continentais doces e 97,29% são águas salgadas dos mares e oceanos. Para o autor, dos 2,71% de água doce existentes na terra, 77,05% estão presentes na forma de geleiras e 22,95% são águas correspondentes a rios, lagos, águas de escoamento e subterrâneas. Segundo o autor, das águas de chuvas que se precipitam sobre a terra 37,37% são águas que ficam retidas no solo, dos quais segundo Odum (1988), 20% destinam-se ao escoamento superficial, 25% destinam-se a rios, lagos, banhado e pântanos e 55% destinam-se a infiltrar na superfície do solo.

Tomando-se os 37,37% de água precipitada que ficam retidas na terra (Bloom, 1970) e aplicando os valores percentuais obtidos por Odum (1988), tem-se que 7,47% destinam-se ao escoamento superficial, 9,35% destinam-se aos rios, lagos, banhados e pântanos e 20,55%, infiltram na superfície, valor este que estabelece o volume de água precipitado que deveria infiltrar na Bacia Hidrográfica (Rocha e Kurtz, 2001).

Segundo Rodrigues Júnior et al. (2007), o cálculo da área necessária para o florestamento compensatório, segundo a metodologia de Rocha e Kurtz (2001), pode ser calculado da seguinte forma:

O volume de água precipitado que infiltra na floresta em um hectare em um ano pode ser obtido pela seguinte equação:

$$VIF = HPF * PIF \quad [1]$$

em que:

VIF = Volume de água que precipita e infiltra na floresta (m³/ha/ano);

HPF = Horas anuais de precipitação na Floresta (h/ano), calculado pela Eq. [2];

PIF = Precipitação que Infiltra na Floresta (m³/h/ha), calculado pela Eq. [3];

O valor de *HPF* pode ser obtido pela expressão:

$$HPF = \frac{P}{VI} \quad [2]$$

em que:

HPF = Horas anuais de Precipitação na Floresta (h/ano);

P = Precipitação média anual (mm/ano);

VI = Velocidade de infiltração média do solo com cobertura de floresta (mmh⁻¹);

$$PIF = VI * A \quad [3]$$

em que:

PIF = Precipitação que infiltra na floresta (m³/h/ha);

VI = Velocidade de infiltração média do solo com cobertura de floresta (m/h);

A = área (m²).

O cálculo da área de floresta para compensar (A_{cp}) as perdas de água é obtido dividindo-se a volume de água de perdas em excesso (Pe) pelo volume de água que infiltra nas florestas em um ano em um hectare (VIF):

$$A_{cp} = \frac{Pe}{VIF} \quad [4]$$

em que:

A_{cp} = Área a compensar (ha);

Pe = Perdas em excesso (m^3);

VIF = Volume de água que precipita e infiltra na floresta ($m^3/ha/ano$).

O valor da porcentagem de perda em excesso é obtido subtraindo-se da porcentagem de perda a porcentagem de perda padrão. Para essa metodologia, as perdas de água consideradas como padrão são aquelas que ocorrem no solo que apresentar a maior velocidade de infiltração básica (VIB).

Foram utilizados na determinação da precipitação média que atinge a superfície do solo das sub-bacias do Fojo e das Perdizes valores anuais de precipitação no período de 1978 a 2000, provenientes do Posto D2-096 (DAEE-SP) com coordenadas $22^{\circ} 42'$ de Latitude e $45^{\circ} 29'$ de longitude, em altitude de 1600m no Município de Campos do Jordão, SP.

2.5. Permeabilidade do solo

A permeabilidade do solo foi determinada a partir da metodologia do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos, descrita por Bernardo (1982).

No procedimento de medição de infiltração dois anéis concêntricos com 30 cm de altura, um com 25 cm e outro com 50 cm de diâmetro foram cravados no solo até a profundidade de 10 cm e nivelados. A água foi colocada no anel interno que estava revestido com saco de plástico preto de baixa densidade com a finalidade de só permitir infiltração de água no solo após o anel externo ser preenchido com água de modo a garantir a infiltração vertical no anel interno. As leituras iniciais de altura de coluna de água foram realizadas após o preenchimento do anel externo com água e imediatamente a retirada do saco plástico do anel interno. As leituras foram feitas no anel interno a intervalos de tempo definidos pelo rebaixamento máximo de 2 cm da altura de água, momento em que se fazia a reposição de água.

As leituras iniciais dos testes indicaram lâminas de água que variaram 13 a 10 cm de altura conforme o teste e foram interrompidas no momento em que não se observou diferença entre três leituras consecutivas, indicando que o solo atingiu a (VIB) Velocidade de Infiltração Básica (Targa, 2008).

Para se ter uma média de infiltração para as duas sub-bacias foram realizados 16 testes no campo, em função da cobertura vegetal foram: pastagem (6), campo (4), floresta (3), reflorestamento (3) e urbana (0).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os mapas temáticos de uso e ocupação do solo, foi possível quantificar as áreas de ocupação dos diversos tipos de cobertura do solo nas sub-bacias das Perdizes e do Fojo (Figura 4). Nessa Figura, encontram-se também indicados os 16 pontos onde foram realizados os testes de infiltração.

Mediante análise do uso e ocupação do solo das sub-bacias em estudo, as diversas classes de coberturas vegetais, as constantes da Tabela 1, foram definidas como as mais relevantes para este estudo: a cobertura vegetal dominante Floresta (vegetação secundária em estágio médio) com 1.257,9 ha, (47,17%); o Reflorestamento ocupando uma área de 432,45 ha (16,22%); o Campo de Altitude (campo natural com/sem perturbação antrópica) ocupa uma área de 265,08 ha (9,94%), e a cobertura vegetal denominada de Pasto apresenta uma área de 126,80 ha (4,76%). Outro tipo de uso do solo muito importante para este estudo é a Área Urbanizada, que nessas sub-bacias ocupa 434,43 ha (16,29%).

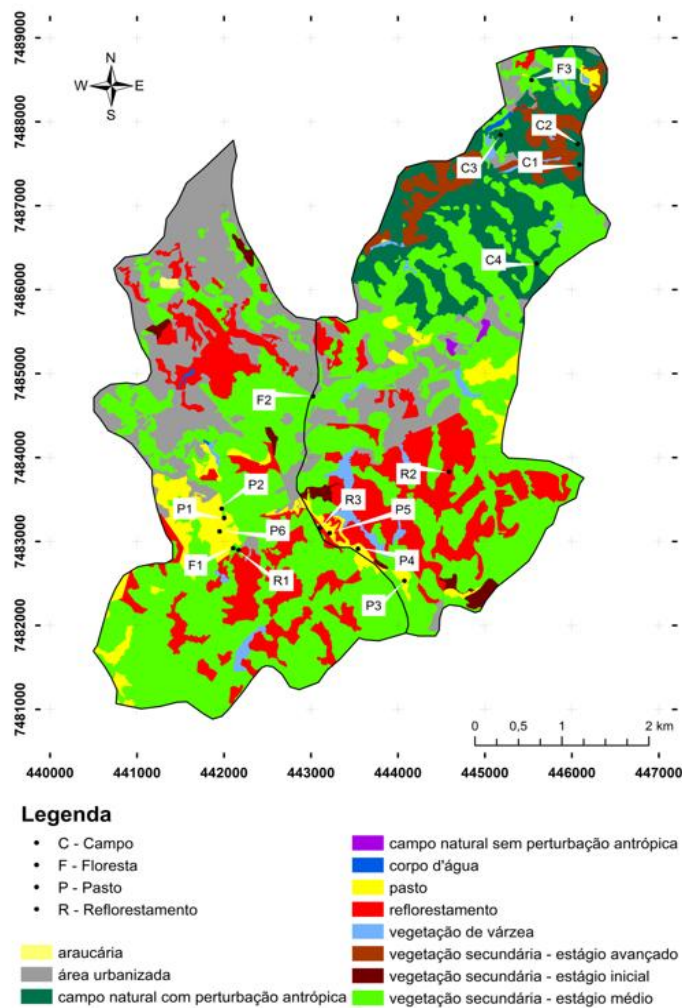


Figura 4. Uso e ocupação do solo das sub-bacias das Perdizes e do Fojo com as localizações dos pontos de teste de infiltração.

A área total das sub-bacias das Perdizes e do Fojo é de aproximadamente 2.666 ha, a qual corresponde a cerca de 9,3% da área (28.790 ha) do Município de Campos do Jordão, segundo São Paulo (2010).

Como pode ser observada na Tabela 1, a sub-bacia do Fojo se apresenta mais bem conservada, com menor área urbanizada, maior área com cobertura do solo do tipo campo e apenas um pouco menos área de floresta que a sub-bacia das Perdizes. Observa-se também que na sub-bacia do Fojo existe apenas um ponto de captação de água para abastecimento (Figura 2).

Neste estudo, a permeabilidade do solo foi avaliada nos seguintes tipos de cobertura vegetal: floresta (vegetação secundária em estágio médio), reflorestamento, pasto e campos de

altitude (campo natural com perturbação antrópica e campo natural sem perturbação antrópica).

Tabela 1. Área (ha) das diferentes classes de uso e ocupação do solo nas sub-bacias das Perdizes e do Fojo.

USO E COBERTURA DO SOLO	SUB-BACIAS		TOTAL	
	Perdizes (ha)	Fojo (ha)	ÁREA (ha)	%
Floresta	649,1	608,8	1257,9	47,2
Área urbanizada	301,8	132,6	434,4	16,3
Reflorestamento	218,6	213,9	432,5	16,2
Campo	0,0	265,1	265,1	9,9
Pasto	79,8	47,1	126,8	4,8
Outros	20,3	129,6	149,9	5,6
Total	1269,6	1397,0	2666,6	100,0

Para todos os dezesseis testes de infiltração realizados, foi possível determinar a velocidade de infiltração mínima média (VIB) para cada tipo predominante de cobertura vegetal (Tabela 2). Para a área urbanizada não foi feito teste de infiltração e a velocidade de infiltração de água foi considerada como sendo zero.

Para os locais com cobertura do tipo Floresta, a VIB foi 298 mmh^{-1} . O solo com cobertura vegetal do tipo Reflorestamento foi o que apresentou a segunda maior VIB (289 mmh^{-1}) Esses resultados para a classe floresta eucalipto indicam uma capacidade de infiltração rápida, conforme classificação do Soil Survey Staff (1993).

Tabela 2. Velocidade de Infiltração Básica média para cada tipo predominante de uso e cobertura do solo (VIBm).

Uso e Cobertura do Solo	Velocidade de Infiltração (VIB)	
	mmh^{-1}	%
Floresta	298	40,1
Área Urbanizada	0	0,0
Reflorestamento	289	38,8
Campo	94	12,6
Pasto	63	8,5
Total	744	100,0

O florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo de uma sub-bacia depende da análise de sua área, do tipo de uso e cobertura vegetal, da capacidade de infiltração de água no solo e da precipitação média anual.

As características físicas do solo com diferentes coberturas encontram-se na Tabela 3.

Os menores valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foram obtidos onde a cobertura vegetal é do tipo Campo e Pasto. Na cobertura do tipo Campo, a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) encontrada foi de 94 mmh^{-1} . Para o Pasto, a VIB foi de 63 mmh^{-1} . Contudo, esses valores para a cobertura tipo pasto e campo indicam uma capacidade de infiltração, que vai de moderada lenta a moderada respectivamente conforme classificação do

Soil Survey Staff (1993). Esses valores encontrados para pastos em Cambissolo (63 mmh^{-1}) estão acima dos valores encontrados para pastos em Latossolo (19 mmh^{-1}) por Rodrigues Júnior et al. (2007).

Tabela 3. Características físicas do solo com diferentes coberturas

Uso e Cobertura do Solo	Velocidade de Infiltração (VIB)	dp	ds	p	Areia	Silte	Argila
	mmh^{-1}	(g/cm^3)		%			
Floresta	298	2,52	1,55	39	62,7	15	22,3
Reflorestamento	289	2,39	1,47	39	52,7	25,8	21,5
Campo	94	2,60	1,31	49	60,8	13,6	25,6
Pasto	63	2,52	1,19	53	47,7	12,4	39,9

Com relação às áreas com cobertura vegetal do tipo floresta, a velocidade de infiltração (298 mmh^{-1}) é maior, corroborando os estudos realizados por Borges et al. (2005), nos quais também foram encontrados maior permeabilidade em solo com cobertura vegetal do tipo floresta, com $94,81 \text{ mmh}^{-1}$, seguido por eucalipto com $72,11 \text{ mmh}^{-1}$ e pastagem com $8,59 \text{ mmh}^{-1}$.

Entretanto, é notório se observar que os valores encontrados neste trabalho são da ordem de 3 vezes superior àqueles encontrados por Borges et al. (2005) em Latossolos Vermelhos e por Sidiras e Roth (1984) para Cambissolos Húmicos e pouco maior, contudo muito próximo ao valor encontrado por Silva et al. (2006) em Cambissolo. Embora os Cambissolos sejam classificados como fortemente a imperfeitamente drenados (EMBRAPA, 2006) e sejam compostos por material inconsolidado de textura grossa (Soares et al., 2008), esses elevados valores de velocidade de infiltração para os Cambissolos podem estar relacionados aos seguintes fatores:

- Os testes em todos os tipos de cobertura foram realizados no período de julho a setembro, época com baixo teor de umidade no solo (Silva et al., 2006).
- Os testes podem também ter sido influenciados por movimento lateral da água nas camadas mais profundas.
- O método utilizado (anéis concêntricos) pressupõe uma carga hidráulica ocasionada pela lâmina de água sobre o solo durante a execução dos testes de infiltração (6 a 12 cm) que pode ter contribuído para uma superestimativa da infiltração (Sidiras e Roth, 1984).
- Especialmente para os solos com cobertura vegetal do tipo floresta nativa e Eucalipto, as altas taxas de VIB podem ser explicadas por modificações da porosidade, particularmente, da macroporosidade, afetada por raízes e o estado inicial de umidade no solo conforme sugerido por Silva et al. (2006).

Soares et al. (2008), em estudo de mapeamento de infiltração na região do alto e médio Vale do Paraíba no Estado de São Paulo, definiram as áreas com boa capacidade de infiltração como sendo as que ocorrem de forma fragmentada, caracterizadas por fatores como pluviometria média (1400 a 1600 mm) e relevos predominantemente constituídos de serras com Cambissolos, caracterizados como solos de B textural incipiente.

Embora a sub-bacia das Perdizes seja mais urbanizada que a do Fojo e não apresentar cobertura vegetal do tipo campo, ela tem cerca de 40 ha de floresta a mais que a sub-bacia do Fojo. Devido à elevada capacidade de infiltração encontrada neste trabalho nesse tipo de

cobertura (298 mmh^{-1} ; Tabela 2), essa sub-bacia tem a capacidade de infiltração de água no solo e a manutenção dos mananciais favorecida devido à maior área de floresta.

Na Figura 5, são mostrados os valores de precipitação anuais no período de 1978 a 2000 para o município de Campos do Jordão, SP onde se encontram as sub-bacias do Fojo e das Perdizes. A precipitação média mensal foi de 151,8 mm e a precipitação média anual foi de 1.821,7 mm.

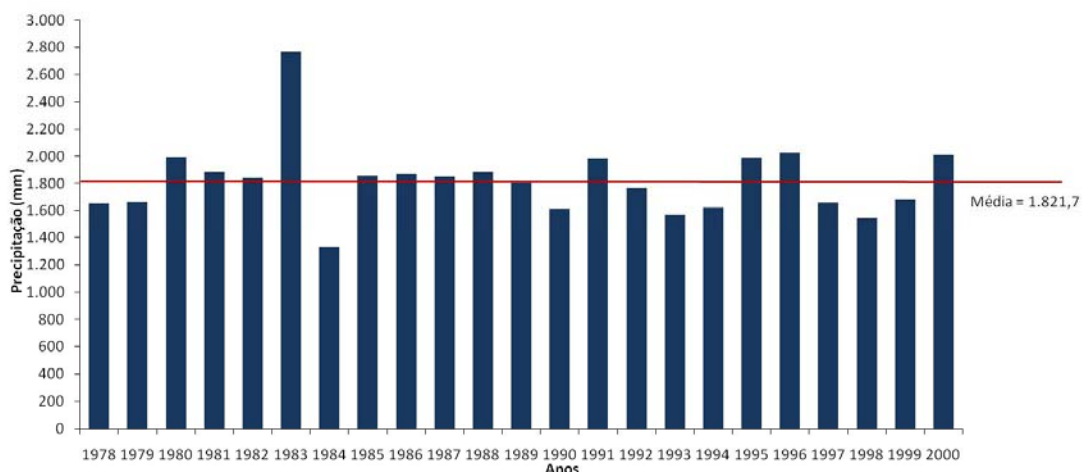


Figura 5. Precipitação anual no período de 1978 a 2000 para o município de Campos do Jordão, SP.

Considerando a precipitação média anual de 1.821,7 mm/ano (Figura 5) e a área total considerada das bacias (Tabela 4), obteve-se o volume de 45.845.813 m^3 /ano de água precipitada sobre as sub-bacias. Dessa forma, segundo Odum (1988), 20,55% deveriam infiltrar, correspondendo, portanto, a um volume anual de 9.421.315 m^3 /ano (Tabela 4).

Tabela 4. Precipitação média anual e volume que deveria infiltrar nos diferentes tipos de usos e coberturas dos solos das sub-bacias do Fojo e das Perdizes.

Uso e Cobertura do Solo	Área	Precipitação média anual (1,8217 m)	Volume que deveria infiltrar (20,55%)
	m^2	m^3 /ano	m^3 /ano
Floresta	12.578.900	22.914.982	4.709.029
Área urbanizada	4.344.300	7.914.011	1.626.329
Reflorestamento	4.324.500	7.877.942	1.618.917
Campo	2.650.800	4.828.962	992.352
Pasto	1.268.000	2.309.916	474.688
Total	25.166.500	45.845.813	9.421.315

Dentre os tipos de uso e cobertura do solo, considerados neste estudo, a cobertura do solo na condição de Floresta é a que possui maior volume de infiltração (4.709.029 m^3 /ano), pois apresentou, também, a maior velocidade de infiltração básica – VIB (298 mmh^{-1}). Considerando a porcentagem de perda na condição de Floresta como a perda padrão, assume-se que na Floresta, a perda em excesso é zero. Já as perdas em excesso nas áreas de Pasto, Campo, Reflorestamento e Área Urbanizada são obtidas subtraindo-se a perda padrão da porcentagem de perda, conforme pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 5. Infiltração e perdas em excesso de água, expressas em percentagem.

Uso e Cobertura do Solo	Infiltração	Perda	Perda Padrão	Perda em excesso
Floresta	40,1	59,9	59,9	0,0
Área urbanizada	0,0	100,0	59,9	40,1
Reflorestamento	38,8	61,2	59,9	1,3
Campo	12,6	87,4	59,9	27,5
Pasto	8,5	91,5	59,9	31,6

Observa-se que dentre os cinco tipos de uso e cobertura do solo considerados neste estudo, dos 100% que chove na floresta, a porcentagem que infiltra é 40,1%; a diferença (59,9%) é a perda por escoamento, considerada como padrão, por ser a classe de cobertura que permite maior infiltração (Tabela 5). Por outro lado, na área urbanizada, a perda estimada foi de 100%, pois neste trabalho a infiltração não foi medida para esse local e embora existam áreas de parques, praças que proporcionariam certa infiltração, esta foi considerada zero. Em área de reflorestamento, a perda foi de 61,2% vale ressaltar que o tipo de cobertura vegetal encontrada em área de reflorestamento é basicamente composta por *Pinus eliotti*. A perda estimada para as áreas de campo foi de 87,4% e de pasto de 91,5%.

Segundo Garcia et al. (2001), em estudo de florestamento compensatório realizado na cidade de Santa Maria, RS, a porcentagem de perda em floresta foi de 10,71%, em área de pastagem a porcentagem de perda foi de 92,90% e, em área agrícola, a perda encontrada foi de 96,39%. Já Borges et al. (2005), em estudo realizado na região de Jaboticabal, SP, encontraram valores mais próximos do trabalho aqui reportado, ou seja uma perda em área de floresta de 32,19%, em área de pastagem de 93,57% e em área agrícola de 74,24%. Rodrigues Júnior et al. (2007), em estudos realizados na bacia do ribeirão Itaim, no município de Taubaté, SP, usando a mesma metodologia deste trabalho, encontraram um percentual de perda na cobertura vegetal do tipo floresta de 14,55%, de 96,11% para cobertura do tipo pastagem e de 89,34% em área de eucalipto.

Observa-se na Tabela 6 que o volume total de perda padrão (5,643 milhões de m³/ano) corresponde a 59,9% do volume que deveria infiltrar, o volume total perdido em excesso foi de 1,096 m³/ano e o volume que realmente infiltra na sub-bacia é de 2,682 m³/ano.

Tabela 6. Volume de Infiltração e perdas por escoamento superficial nas bacias do Fojo e das Perdizes em função do uso e cobertura do solo.

Uso e Cobertura do Solo	Volume que deveria infiltrar	Volume de perda padrão	Volume de perda em excesso	Volume infiltrado
	milhões de m ³ /ano			
Floresta	4,709	2,821	0,000	1,888
Área urbanizada	1,626	0,974	0,652	0,000
Reflorestamento	1,619	0,970	0,021	0,628
Campo	0,992	0,594	0,273	0,125
Pasto	0,475	0,284	0,150	0,041
Total	9,421	5,643	1,096	2,682

Em estudo realizado na bacia hidrográfica do Córrego Palmital, no município de Jaboticabal, SP, foram encontrados valores de VIF na ordem de 14.246,96 m³/ha/ano (Borges et al., 2005). Rodrigues Júnior et al. (2007), em estudo realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, no município de Taubaté, SP, encontraram valor de VIF correspondente a 13.344 m³/ha/ano.

Se 1,096 milhões de m³ é o volume total de perda em excesso em um ano e 18.207,80 m³ é o (VIF) volume de água que infiltra na floresta em um hectare em um ano, dividindo-se o volume de perda pelo volume que infiltra chega-se a área para compensar essa perda (Acp), que é de 60,2 ha.

As sub-bacias do Fojo e das Perdizes somam uma área total de 2.666,6 ha, portanto, esse valor de 60,2 ha corresponde a 2,3% desse total. Com base nesse resultado, a área de floresta necessária nessas sub-bacias com vistas à retenção de água no solo é a soma dessa área (60,2 ha) com a área de Floresta (1.257,9 ha) já existente, perfazendo um total de 1.318,1 ha. Esse valor corresponde a 51,8% da área total das sub-bacias do Fojo e das Perdizes.

Outros autores chegaram a valores mais baixos como Garcia et al. (2001) que mencionaram uma porcentagem total de cobertura vegetal do tipo floresta de 24,54% da área total da bacia. Borges et al. (2005), em estudo de reflorestamento compensatório, encontraram valores de cobertura vegetal necessária para satisfazer a taxa de infiltração mínima indicada de 15,10% de cobertura florestal da bacia por eles estudada. Já Rodrigues Júnior et al. (2007) citam uma área para compensar o volume de perdas por excesso de 433,9 ha, somando-se esse valor com a área de Floresta, citada pelo autor, de 2.314 ha, tem-se 2.747,9 ha. Segundo Targa et al. (2006), a bacia do Ribeirão Itaim tem uma área de 58,9 km², portanto, a área de floresta necessária para a infiltração padrão corresponde a 46,7% da área da bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim.

Catelani e Batista (2007), aplicando técnicas computacionais de geoprocessamento para mapear áreas de preservação permanente (APP) no município de Santo Antônio do Pinhal, SP, pertencente à UGRHI 1 – Serra da Mantiqueira e vizinho ao município de Campos do Jordão, destacam que 52,2% da área em estudo encontram-se em APPs. O valor de 51,8% de área de florestamento com vistas à retenção de água no solo encontrado está muito próximo do encontrado por Catelani e Batista (2007), o que poderia ser um indicativo de que a área encontrada é suficiente para compensar as perdas de água pelo escoamento superficial.

Vale ressaltar que parte da floresta existente nas sub-bacias não se encontra em APP e que num eventual florestamento dessas áreas de APP, adicionando-se ainda, eventuais 20% de reserva legal das propriedades rurais, essa porcentagem de floresta aumentaria.

4. CONCLUSÕES

O florestamento compensatório para reter 1,096 milhões de m³/ano de perda de água nas sub-bacias dos ribeirões do Fojo e das Perdizes no município de Campos do Jordão, SP deve contemplar uma área de 60,2 ha a ser plantada com essências nativas, correspondente a 2,3% da área das sub-bacias.

A área florestal total da bacia necessária para conter as perdas por escoamento superficial corresponde a 51,8% da área das sub-bacias.

5. REFERÊNCIAS

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 2. ed. Viçosa, MG: Imprensa Universitária – UFV, 1982. 463p.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 110-126, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.490>)

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A.; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de Capim-Elefante-Anão CV. Mott. **Pesq. Agropec. bras.**, Brasília, v. 35, p. 1047-1054, maio 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Sci. agric.**, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/sa/v58n3/a18v58n3.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2010.

BLOOM, A. L. **Superfície da terra**. São Paulo: Edgard Blücher, 1970. 184p.

BORGES, M. J.; PISSARRA, T. C. T.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Florestalis**, n. 69, p. 93-103, dez. 2005.

BUNTING, B. T. **Geografia do solo: a terra e o homem**. Rio de Janeiro: Zahar, 1971. 259p.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by objected-oriented data modeling. **J. Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/spring.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2008.

CATELANI, C. S.; BATISTA, G. T. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) do município de Santo Antonio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental. **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 30-43, 2007, (doi: 10.4136/ambi-agua.18). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.18>

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de Infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 199-205, janeiro/março de 2009. Disponível em: <www.ufersa.edu.br/caatinga>. Acesso em: 9 dez. de 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-CNPq, 1999. 412p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 2006. 306p.

GARCIA, S. M.; KURTZ, F. C.; KURTZ, S. M. de J. M.; ROCHA, J. S. M.; SANTOS, A. H. O.; DILL, P. R. J. et al. Retenção de água em microbacias através de florestamentos compensatórios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. A engenharia agrícola frente ao desenvolvimento agroindustrial e o mercado globalizado. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABEA, 2001. 1 CD-ROM.

GUERRA, H. C. **Física dos solos**. Campina Grande: UFPB, 2000. 175p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de solos do Brasil**. 2004. Disponível em: <<ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/tematicos/sistemizacao/pedologia/>>. Acesso em: 20 abr. 2009.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 263p.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 110-126, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.490>)

- KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, ano 5, n. 32, p.112-117, 2000.
- KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, M. M.; KANASHIRO, M. M.; YWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R. et al. Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 16-21 abr. Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, GO: INPE, 2005. p. 1569-1576. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.01.10.06/doc/1569.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2010.
- LISBOA, H.; TIMM, L. C.; REISSER JUNIOR, C.; TAVARES, V. E. Q.; MANKE, G.; TAVARES, L. C. et al. Determinação das Curvas de VI de Água de Três Solos Representativos da Persicultura Irrigada na Região de Pelotas, RS. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 16., nov. 2007, Pelotas. Pesquisa e Responsabilidade Social. **Artigos...** Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2007/cd/pdf/CA/CA_00928.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2011.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.
- ROCHA, J. S. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 2. ed. Santa Maria: UFSM, 1991. 282 p.
- ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: UFSM, 2001. 181p.
- RODRIGUES JÚNIOR, C.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, Taubaté, SP. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL, 1., 07-09 nov. 2007, Taubaté. O eucalipto e o ciclo hidrológico. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. p. 67-73
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Economia e Planejamento. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Projeções de população**. 2010. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>>. Acesso em: set. de 2010.
- SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1966. 61p.
- SIDIRAS, N.; ROTH, C. O. Medições de infiltração com infiltrômetros e um simulador de chuvas em um Latossolo Roxo Distrófico, Paraná, sob vários tipos de cobertura do solo e sistemas de preparo. Londrina: IAPAR, 1984. 13p.
- SILVA, F. H. B. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LUZ, L. R. Q. P. Propriedades físico-hídricas de solos de uma área na Bacia do Jatobá – PE. Rio de Janeiro: EMRAPA, 2006. Comunicado Técnico nº 39. 4p.
- SOARES, P. V.; PEREIRA, S. Y.; SIMÕES, S. J. C.; BERNARDES, G.P.; BARBOSA, S. A. Mapa de infiltração do Alto e Médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e da precipitação. , Taubaté, v. 3, n. 1, p. 26-42, 2008. doi: 10.4136/ambi-agua, 40).
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington: United States Government Print Office, 1993. (Handbook, 18). 437p.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Florestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo em bacias hidrográficas do município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 110-126, 2011. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.490>)

TARGA, M. S. **Ciclo da água e gestão**. In: TARGA, M. S. (coord.). Programa de capacitação e aperfeiçoamento em gestão de recursos hídricos, Bacia do Rio Paraíba do Sul. Taubaté: UNITAU, 2008. 61p. 1 CD-ROM.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; CÍCERO, C. M.; DIAS, N. W. Metodologia para avaliação dos processos hidrológicos e da sedimentação na Bacia Hidrográfica Experimental do Ribeirão Itaim, município de Taubaté, no Vale do Paraíba do Sul, Estado de São Paulo. **Repositório Ciências Agrárias, Recursos Hídricos**, v. 1, p. 1-14, 2006. Disponível em: <<http://agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/54>>. Acesso em: 09 dez. 2010.