

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Luiz Sérgio Gonçalves Aguiar

**ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
A PARTIR DE TESTES DE INFILTRAÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ITAIM**

TAUBATÉ – SP

2006

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Luiz Sérgio Gonçalves Aguiar

**ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL
A PARTIR DE TESTES DE INFILTRAÇÃO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ITAIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.
Área de Concentração: Ciências Ambientais.
Linha de Pesquisa: Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas.

TAUBATÉ – SP

2006

ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL A PARTIR DE TESTES DE INFILTRAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO ITAIM

LUIZ SÉRGIO GONÇALVES AGUIAR

Dissertação aprovada em 25/04/2005.

BANCA EXAMINADORA

Membro	Instituição
Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof. PhD Getúlio Teixeira Batista	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof. Dr. Silvio Carlos Santos Nagy	Fac.Ciências Agrônomicas-UNESP/Botucatu – Dep. Ciências Ambientais

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa

Orientador

*Aos meus Pais,
Geraldo e Sebastiana, pelo exemplo de valores.
À minha tia Maria pela confiança e motivação.
À minha noiva, Adriana, por me ajudar a entender
que problemas e dificuldades nos tornam
mais verdadeiros
e à Vivian pela preciosa amizade.*

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais na pessoa do Prof. Dr. Pedro Magalhães Lacava pela oportunidade ímpar em minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Marcelo dos Santos Targa pela orientação e pelo intenso trabalho realizado para a minha formação.

Ao Prof. Dr. Getulio Teixeira Batista pela inestimável contribuição científica.

Ao Prof. Dr. Silvio Carlos Santos Nagy pelas valiosas sugestões.

Ao Prof. Dr. Daniel Ballesterero e ao técnico Maurício César Jofre pelo suporte nas análises físicas em laboratório.

À Prof^ª. Dr^ª. Maria Júlia Ribeiro Xavier pelo embasamento metodológico.

Ao Prof. Dr. Nelson Wellausen Dias, pelo conhecimento compartilhado.

À Prof^ª. MSc. Berta Beznosai pelas revisões gramaticais.

Ao Prof. Dr. Silvio Jorge Coelho Simões pelo incentivo recebido.

Aos Profs. Drs. Gilberto Fernando Fisch e Simey Thury Vieira Fisch por contribuírem com seus conhecimentos e experiências.

Ao Gerente da “Fazenda Piloto” do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, Geraldo Casagrande, pela presteza em ceder todos os dados meteorológicos solicitados.

Aos funcionários da “Fazenda Piloto” – Airton, Augusto, Domicio e Gesiel pelo substancial auxílio nos trabalhos de campo.

À Bibliotecária Maria Gomes Fiuza pela significativa ajuda e amizade.

Aos amigos, Christian Kather e Décio Werneck Moreira, pelo companheirismo.

*“A maior recompensa para o trabalho do homem
não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso”.*

John Ruskin

RESUMO

A bacia hidrográfica do ribeirão Itaim apresenta evidências de falta de planejamento do uso e ocupação do solo, refletindo condições típicas da região do Vale do Paraíba. Isso tem provocado aumento do escoamento superficial, aumento de erosão, assoreamento dos cursos d'água, enchentes e inundações na bacia do Rio Paraíba. Esse estudo realizado na bacia hidrográfica do ribeirão Itaim, município de Taubaté, SP, visou estimar o escoamento superficial pelo método Curva-Número em área com cobertura vegetal de Pastagem *Brachiaria Decumbens*, predominante na bacia. Os valores do número da curva CN foram definidos em função do tipo de uso e cobertura do solo, da condição de superfície, da condição hidrológica do solo e do grupo de solos em que a área foi classificada. A estimativa do escoamento superficial foi feita de três modos distintos: no 1º, utilizaram-se valores de Infiltração acumulada (Iac) obtidos no campo, considerados como sendo a Infiltração Potencial (S), os quais variaram de 15,37 mm a 51,88 mm com um valor médio de 23,46 mm. Com esses valores de infiltração e utilizando valores de precipitações máximas para Taubaté, SP, com tempo de duração de 3 horas: P = 54,4; 70,3; 80,8; 86,7; 90,9; 94,1 e 103,9 mm, respectivamente, para os tempos de retorno de $Tr = 2, 5, 10, 15, 25$ e 50 anos, os seguintes valores de escoamento foram gerados: 34,83; 49,33; 59,14; 64,71; 68,69; 71,73 e 81,10 mm, respectivamente; No 2º, considerou-se a cobertura vegetal da bacia predominantemente constituída de Pasto Sujo, utilizando-se o valor adimensional $CN = 75$, obteve a infiltração potencial $S = 84,7$ mm e chegou-se aos valores de escoamento que variaram de 11 a 44 mm, os quais foram inferiores aos valores gerados pelo método Curva-Número, especialmente para tempos de retorno maiores; No 3º, considerou-se o valor de um $CN_{ponderado} = 66,57$ para todas as classes de uso da bacia, e obteve-se um valor de infiltração potencial mais elevado $S = 127$ mm. Conseqüentemente, os resultados dos valores de escoamento superficial foram mais

baixos e corresponderam a 5,33; 11,64; 16,72; 19,83; 22,16; 23,98 e 29,83 mm. Comparando-se os resultados obtidos pelos métodos Curva-Número convencional e ponderado, conclui-se que o método Curva-Número aplicado de modo ponderado subestimou o escoamento superficial na área estudada. Contudo, os resultados obtidos indicam ser possível sua utilização na obtenção do escoamento superficial, desde que promovidos os ajustes para as situações locais pelo uso de medidas de Infiltração potencial obtidas em campo.

Palavras-chave: escoamento superficial, infiltração, curva-número, infiltrômetro de anéis, bacia hidrográfica, ribeirão Itaim.

ABSTRACT

The Itaim Watershed lacks planning for land use, reflecting typical conditions frequently seen in the area of the valley of Paraíba. This has been causing increase of runoff, increase in soil erosion, sedimentation of the water channels, inundations and floods in those watersheds that form the Paraíba do Sul Basin. This study carried out in the Itaim watershed, municipal district of Taubaté, SP, aimed to estimate surface runoff based on the Curve-Number (CN) method in area with vegetation cover of grassland (*Brachiaria Decumbens*), that prevails in this watershed. The values of the number of the curve CN were defined as a function of land use type and vegetation cover of the soil, soil surface condition, of the hydrological condition of the soil and of the soil group that the area has been classified. The estimate of the surface runoff was made based on three different ways: in the 1st, values of accumulated Infiltration (Iac) obtained in the field were used, considered as the Potential Infiltration (S), which varied from 15.37 mm to 51.88 mm with a medium value of 23.46 mm. With those measured infiltration rates and using the maximum precipitation values for Taubaté, SP, with duration time of 3 hours: P = 54.4; 70.3; 80.8; 86.7; 90.9; 94.1 and 103.9 mm, respectively, for the return times, Tr = 2, 5, 10, 15, 25 e, 50 years, the following values of surface runoff were generated: 34.83, 49.33; 59.14; 64.71; 68.69; 71.73 and 81.10 mm, respectively; In the 2nd, way it was considered that the prevailing vegetation cover of the watershed was Dirty Pasture (Pasture with regrowth of natural vegetation) and therefore, a value of CN = 75 was used and generated a potential infiltration, S = 84,7 mm and resulted in surface runoff values that varied from 11 to 44 mm, which were lower than the values generated by the method Curve-Number, especially for greater return times. In the 3rd, way, the value of CN was considered equal to 66.57. This value was calculated weighting the contribution of all land use cover classes of the watershed, and as a result a higher value of

potential infiltration, $S = 127$ mm, was obtained. Consequently, the surface runoff values were 5.33; 11.64; 16.72; 19.83; 22.16; 23.98 and 29.83 mm. Therefore, lower than the values obtained in the first way. The comparison of results obtained by the two Curve-Number methods (conventional and weighted) allowed to be concluded that the Curve-Number method applied in a conventional way underestimated the surface runoff in the studied area. However, results indicate that is possible to use this method for surface runoff estimates as long as adjustments based on potential Infiltration obtained in field be used for local situations.

Keywords: surface runoff, infiltration, curve-number, infiltrometer rings, hydrographic basin, Itaim stream.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Infiltrômetro de anéis concêntricos.....	41
Figura 2 - Localização Geográfica da Bacia do Itaim, Imagem LANDSAT.....	50
Figura 3 - Imagem LANDSAT 7 – Sensor ETM, 14/08/2003 Composição Colorida - 3B4R5G	51
Figura 4 - Classes do uso do solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Itaim.....	54
Figura 5 - Áreas com restos culturais de Milho.....	57
Figura 6 - Área de plantio de Pupunha.....	57
Figura 7 - Composição vegetal da bacia, predomínio da pastagem.....	58
Figura 8 - Infiltrômetro de anéis sobre <i>Brachiaria decumbens</i>	58
Figura 9 - Predominância da pastagem em regeneração.....	58
Figura 10 - Infiltrômetro de anéis e amostras retiradas com anel volumétrico.....	58
Figura 11 - Pastagem – Bairro do Itaim.....	58
Figura 12 - Vegetação em regeneração dentro do Departamento de Ciências Agrárias.....	58
Figura 13 - Desenho esquemático do funcionamento do infiltrômetro de anéis concêntricos.....	60
Figura 14 - Concentração do escoamento em uma bacia	61
Figura 15 - Curvas características da velocidade de infiltração e infiltração acumulada em áreas de cultivo de milho no ponto 1	69
Figura 16 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada com cobertura de pupunha no ponto 1	71
Figura 17 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada em áreas com cobertura de pupunha no ponto 2	73

Figura 18 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada em áreas com cobertura de pupunha no ponto 3	75
Figura 19 - Vista aérea com cobertura de pasto sujo dentro do Departamento de Ciências Agrárias, ressaltando os seis pontos onde os testes de infiltração foram realizados.....	77
Figura 20 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 1	80
Figura 21 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 2	81
Figura 22 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 3	83
Figura 23 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 4	84
Figura 24 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 5	85
Figura 25 - Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em áreas com cobertura de pasto sujo no ponto 6	87
Figura 26 - Variação do escoamento superficial, em função do período de retorno da precipitação máxima com o tempo de duração igual ao tempo de concentração.....	93
Figura 27 - Variação do escoamento superficial, em função da precipitação máxima na bacia, com o tempo de duração igual ao tempo de Concentração	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da velocidade de infiltração no solo.....	23
Tabela 2 - Chuvas extremas na bacia do Itaim.....	53
Tabela 3 - Mudanças na ocupação do solo na bacia do Itaim.....	55
Tabela 4 - Condições de uso e coberturas do solo e número de testes de infiltração	57
Tabela 5 - Previsão de máximas alturas de chuva (mm) para Taubaté, SP em função do período de retorno e da duração da chuva.....	62
Tabela 6 - Modo de obtenção dos parâmetros CN e S do método Curva-Número para determinação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Itaim.....	63
Tabela 7 - Grupos hidrológicos de solos definidos para o estado de São Paulo.....	65
Tabela 8 - Valores dos parâmetros CN.....	66
Tabela 9 - Classes de uso do solo, condição hidrológica adotada e respectivos valores de CN para a bacia do Ribeirão Itaim.....	67
Tabela 10 - Resultados do teste de infiltração em área de cultura de milho no ponto 1.....	68
Tabela 11 - Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 1	70

Tabela 12 - Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 2	72
Tabela 13 - Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 3	74
Tabela 14 - Coordenadas Geográficas, em UTM, dos pontos onde foram realizados os testes de infiltração (Zona 23 - Hemisfério Sul – DATUM WGS 84)	77
Tabela 15 - Resultados do teste de infiltração em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 1	78
Tabela 16 - Resultados do teste de infiltração em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 2	79
Tabela 17 - Resultados do teste de infiltração realizados em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 3	82
Tabela 18 - Resultados do teste de infiltração realizados em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 4	83
Tabela 19 - Resultados do teste de infiltração realizados em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 5	85
Tabela 20 - Resultados do teste de infiltração realizados em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 6	86
Tabela 21 - Equação de infiltração acumulada característica e sua precisão para cada tipo de cobertura vegetal.....	88
Tabela 22 - Infiltração acumulada calculada por meio das equações obtidas dos testes de infiltração em campo, para cada cobertura vegetal, considerando o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração.....	88
Tabela 23 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 1 e valor de infiltração acumulada (S=22,32 mm).....	89
Tabela 24 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 2 e valor de infiltração acumulada (S=17,27 mm).....	90

Tabela 25 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 3 e valor de infiltração acumulada (S=51,88 mm).....	90
Tabela 26 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 4 e valor de infiltração acumulada (S=15,47 mm).....	90
Tabela 27 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 5 e valor de infiltração acumulada (S=19,79 mm).....	91
Tabela 28 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 6 e valor de infiltração acumulada (S=14,06 mm).....	91
Tabela 29 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo e valor de infiltração acumulada (S=84,67mm).....	92
Tabela 30 - Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, obtido por ponderação de cada classe de cobertura vegetal do solo, na bacia do Itaim e valor de infiltração acumulada (S=127,56 mm).....	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 HISTÓRICO DO ESTUDO DA INFILTRAÇÃO	19
2.2 INFILTRAÇÃO	21
2.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	24
2.4 RELAÇÃO INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL	27
2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS	29
2.5.1 Permeabilidade	29
2.5.2 Estrutura do solo	31
2.5.3 Textura do solo	33
2.6 COMPACTAÇÃO	34
2.7 RELAÇÃO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E COBERTURA VEGETAL	36
2.8 MÉTODO CURVA-NÚMERO – NRCS (USDA)	37
2.9 MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS CONCÊNTRICOS	40
2.10 OUTROS MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DA INFILTRAÇÃO	45
2.10.1 Simuladores de Chuva	46
3 PROPOSIÇÃO	48
4 MATERIAL E MÉTODO	49
4.1 ÁREA DE ESTUDO	49
4.2 CLIMATOLOGIA	52
4.2.1 Pluviometria da Bacia no Período de 1995 a 2005	52
4.3 CLASSES DE USO DO SOLO NA BACIA DO ITAIM 2003	53
4.3.1 Mudanças na ocupação do solo na bacia	55
4.4 TIPOS DE COBERTURA VEGETAL ESTUDADA	56
4.5 METODOLOGIA	59
4.6 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: MÉTODO CURVA-NÚMERO	61
4.6.1 Cálculo do Tempo de Concentração	61
4.6.2 Cálculo do escoamento superficial (Q) pela equação do NRCS	62

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
6 CONCLUSÕES	96
7 RECOMENDAÇÕES	97
REFERÊNCIAS	98
ANEXO	103
ANEXO A	104

1 INTRODUÇÃO

A dinâmica de uso e ocupação do solo, em bacias hidrográficas, exigem estudos para a compreensão dos diversos impactos provocados pela ação antrópica e estratégias adequadas para a conservação dos recursos naturais nestas áreas. Segundo Fiorio, Demattê e Sparovek (2000), o uso do solo e de novas tecnologias nem sempre levam em consideração os manejos mais adequados desses recursos, o que vem a promover maior desgaste e empobrecimento do meio físico. Essas relações de manejo estão intimamente ligadas aos processos de infiltração e escoamento superficial. A Zona Não Saturada do Solo é o ambiente físico onde esses fenômenos ocorrem, sendo um importante parâmetro nos estudos da dinâmica da água.

De acordo com Fernández (2003), pesquisas mais recentes definem como Zona Não Saturada (ZNS) a região situada entre a superfície do solo e os aquíferos, geralmente desconhecida pela maioria das ciências ambientais. Serve como base para a vida terrestre, não somente como suporte físico, mas também por servir de meio para o crescimento vegetal e microbiano. Nela, ocorrem importantes processos físicos, químicos e biológicos que não estão completamente entendidos e merecem investigação mais intensa. Assim, estudos sobre a infiltração e escoamento superficial devem enfatizar a determinação da velocidade de infiltração básica e a infiltração acumulada relacionando-os aos atributos físicos do solo.

Dessa forma, o uso de metodologias adequadas a essas mensurações faz-se necessário, pois essas estimativas são fundamentais aos estudos de conservação da água e do solo, e na quantificação do escoamento superficial em bacias hidrográficas, gerando dados e informações que contribuem para a melhor compreensão da capacidade de armazenamento de água de uma bacia hidrográfica e sua susceptibilidade a enchentes.

Foram usados, neste trabalho, dois métodos distintos para esse estudo: um de simples e fácil reprodutividade “*in situ*”, adaptável às diferentes coberturas vegetais que foi o infiltrômetro de anéis concêntricos (IANC), e outro empírico, mas de grande importância no estudo comparativo do escoamento superficial gerado na bacia chamado Curva-Número (CN-NRCS) – USDA.

Esse estudo apresentou uma abordagem compartimentalizada em relação ao contexto de bacias hidrográficas para manejo e conservação de recursos hídricos.

Isoladamente, os dados gerados, nesse tipo de estudo, não solucionam problemas ambientais, mas fornecem informações básicas para compor um diagnóstico sobre os recursos hídricos da região, necessários para a implementação de sistemas de manejo dos recursos naturais visando à utilização equilibrada dos ecossistemas envolvidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO DO ESTUDO DA INFILTRAÇÃO

Segundo Selker (2003), Henry Darcy desenvolveu, em 1856, extensivos testes sobre infiltração e perdas de carga em tubos, complementados por outros pesquisadores. Um dos mais notáveis trabalhos de engenharia de Henry Darcy foi o de projetar e executar o sistema de abastecimento de água de Paris que, além de funcionar satisfatoriamente, possibilitou uma série de estudos sobre a condução de água através de tubos e meios porosos. Utilizando-se desses conhecimentos, propôs a famosa Lei de Darcy (velocidade de percolação $(V) = \text{condutividade hidráulica } (K) \times \text{perda unitária } (i)$) para escoamento em meios porosos.

Bertoni (1985) afirma que a primeira proposta com soluções práticas aplicadas à análise das escalas de poros foi elaborada em 1899, por Slichter na “Theory of Flow Through Porous Media”, que apresentou soluções exatas para poços múltiplos de extração e deu base a todos os métodos de ensaios para poços. Selker (2003) cita que, em 1907, Buckingham estendeu a Lei de Darcy para ambientes não saturados, estabelecendo dois vínculos hidráulicos: a condutividade em função da umidade e o potencial em função de pressões capilares.

Selker (2003) afirma, em seus estudos sobre infiltração, que Green e Ampt (1911), por meio de tentativas para solucionar problemas de infiltração, utilizando a Lei de Darcy, estenderam a equação e criaram o primeiro modelo para obtenção de dados em campo, utilizando tubos capilares que se enchem em paralelo, do estado seco até a saturação.

O mesmo autor verificou que a equação de Green e Ampt tem sido uma das equações teóricas mais utilizadas para a predição das taxas de infiltração de água no solo; entretanto, uma das maiores dificuldades, na sua aplicação, é obter de forma precisa seus

parâmetros, principalmente no que diz respeito ao potencial matricial na frente de umedecimento (ψ_f), condutividade hidráulica da zona de transmissão (K) e *déficit* de umidade inicial (n), que é o espaço poroso que efetivamente será preenchido pela água durante o processo de infiltração.

A equação para fluxo insaturado foi proposta em 1931 por Richards, no entanto ainda era de difícil solução por apresentar três variáveis não lineares. Entre as décadas de 1950 e 1960, foram estabelecidos os principais avanços científicos com várias descobertas.

Em 1952, Klute voltou a escrever a equação de Richards, em função somente da umidade e desenvolveu uma solução para a infiltração capilar mais simplificada. Somente com o advento da computação, que ocorreu nessa época, foi possível trabalhar melhor com as grandes equações não lineares.

Antonino *et al.* (2004) ressaltam a teoria dos meios similares proposta por Miller y Miller (1956), em que ocorreu uma simplificação considerável do estudo da variabilidade espacial das características do solo, foram eles os primeiros a observar a invariância de escala das equações do movimento da água em um meio poroso. Segundo esse autor, nessa teoria, considera-se que a geometria interna de um meio poroso qualquer, numa certa região, pode ser obtida a partir de um solo de referência por intermédio de um fator de similaridade ou fator de escala.

Na década de 1960, foi desenvolvido, por Winger, um teste para ser conduzido em camadas de solo situadas na ausência de lençol freático. É empregado, em estudos, em nível de projeto de drenagem subterrânea e em estudos de drenagem para classificação de terras para irrigação.

A partir da década de 70, tendo em vista o grande potencial agrícola do Brasil e a busca de soluções técnicas que propiciassem resultados mais satisfatórios no plano da irrigação e drenagem, pesquisadores brasileiros intensificaram os estudos sobre infiltração,

utilizando vários métodos na obtenção da condutividade hidráulica em diferentes tipos de solo. Com a mudança de mentalidade relacionada ao meio ambiente e a confirmação de conceitos sobre sustentabilidade ambiental, enfatizados a partir dos anos 80, esses estudos sobre infiltração de água foram direcionados à conservação da água e do solo e à elaboração de políticas que contemplassem de forma significativa o uso racional desses recursos.

2.2 INFILTRAÇÃO

Sobrinho (2003) afirma que a infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Inicialmente, seu valor é elevado, decrescendo com o tempo e tornando-se constante no momento em que o solo chega à saturação. Sob chuva ou irrigação contínuas, a taxa de infiltração se aproxima, gradualmente, de um valor mínimo e constante, conhecido como taxa de infiltração básica (TIB). Dados de TIB são essenciais, nos modelos utilizados para a descrição da infiltração de água no solo, e dependem do selamento superficial provocado pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo.

Klar (1984) afirma que a infiltração é um fenômeno que envolve a penetração da água no sentido vertical descendente. Considera-se a ação do potencial água, maior na superfície do solo que centímetros abaixo, produzindo a força descendente. Portanto, a infiltração determina o volume de água que penetra no solo nas unidades de área e tempo, portanto, o escoamento superficial pode ocorrer por excesso de irrigação ou por chuvas intensas, produzindo a erosão.

Para Prevedello (1995), o entendimento e predição de modo adequado do fluxo de água no solo são essenciais para a planificação da irrigação, da drenagem, além do controle

da erosão e da poluição da água; ressalta ainda o uso de modelos numéricos para simular o fluxo de água em solos não saturados como sendo ferramenta importante nesses estudos.

Linsley e Franzini (1978) definem infiltração como a penetração da água através da superfície do solo em direção ao subsolo. Os autores definem também a capacidade de infiltração de um solo como sendo a velocidade máxima com que a água nele penetra. A capacidade de infiltração depende de vários fatores. Dentre esses fatores, observa-se que o solo que apresenta baixo grau de agregação e permeabilidade tem maior capacidade de infiltração do que um solo argiloso compacto.

Bertoni (1985), estudando a dinâmica da infiltração da água, observou que o meio em que ocorre a infiltração são os espaços porosos do solo que recebem influência da força da gravidade, nos solos saturados, e, fundamentalmente, através da capilaridade nos solos não saturados. É complexa a gama de fatores que influenciam a velocidade de infiltração no solo, aliado ao tamanho e à disposição dos poros que condicionam a velocidade do fluxo. No caso de solos arenosos, os espaços porosos são maiores, enquanto em solos argilosos os espaços são mais reduzidos. A umidade é outro elemento fundamental, nesse estudo, principalmente em solos com presença de material coloidal, existindo tendência de dilatação, quando molhado, e de rompimento, quando seco, o que influencia o tamanho dos espaços porosos.

Segundo Wendland (2001), a água da chuva infiltrada, no solo, escoar eventualmente, juntando-se a um rio ou evapora para a atmosfera. No primeiro exemplo, a precipitação infiltra-se, no solo, particularmente se cai em forma de neve, a qual, às vezes, fica retida próxima à superfície durante um determinado período, disponível para plantas, ou em percolatos, para eventualmente juntar-se com a água do solo. A alocação da precipitação desses vários componentes é uma informação valiosa e importante para o gerenciamento dos recursos hídricos. Conclui-se que é difícil a mensuração e que os registros são insuficientes. O autor afirma que, desde que a água possa fluir dentro ou fora de um córrego, provenientes de

fontes localizadas a médias e mesmo longas distâncias da bacia hidrográfica local, nem sempre é possível quantificar precisamente cada um desses componentes em uma dada localização. Parece claro que a precipitação intensa, contínua e persistente tem um impacto significativo sobre toda a água da superfície e sobre os recursos superficiais da água do solo, não somente de forma imediata, mas também de forma contínua, por meses.

Para Franco (1980), é sabido que a infiltração de água no solo se realiza a uma intensidade que diminui com o decorrer do tempo, até tornar-se constante. Não só o tempo influencia essa dinâmica, mas também outros fatores, tais como umidade do solo, natureza do perfil, características superficiais, textura e estrutura do solo. Considera-se, portanto, que a capacidade de infiltração de um solo é uma característica relevante em estudos sobre irrigação, conservação do solo, drenagem e hidrologia.

Segundo Recheirdt (1987), os seguintes valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) podem ser utilizados para solos no Brasil.

Tabela 1 – Classificação da velocidade de infiltração no solo

Classificação	VIB (mm/h)
Muito alto	> 30
Alto	15 – 30
Médio	5 -15
Baixo	1 – 5
Muito baixo	< 1

Os métodos para determinar a capacidade de infiltração têm sofrido modificações, devido às incoerências nos resultados; torna-se necessário introduzir métodos mais acurados, para se obter resultados mais coerentes na mensuração da infiltração.

O infiltrômetro de anéis concêntricos é de fácil aplicação para a solução de problemas relacionados à conservação do solo e irrigação, sendo um método que pode melhor orientar os técnicos quanto ao uso mais racional da água.

Linsley e Franzini (1978) ressaltam que, se uma grande parte dos espaços entre as partículas do solo já estiver cheia de água, a capacidade de infiltração será menor do que numa situação em que o solo estiver relativamente seco. No caso dos espaços entre os poros estarem saturados, as infiltrações ocorrerão na dependência da permeabilidade das camadas inferiores. Em situações de chuva intensa, pode haver a colmatação dos poros superficiais com partículas finas de solo, reduzindo-se assim a infiltração. A presença de uma cobertura vegetal densa propicia proteção contra o impacto das gotas de chuva e, quando associada ao sistema radicular e à presença de matéria orgânica vegetal, há aumento da permeabilidade do solo.

2.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Pruski, Brandão e Silva (2004) afirmam que o escoamento superficial corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. O conhecimento deste segmento é de fundamental importância para o projeto de obras de engenharia, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os fenômenos provocados pelo seu deslocamento.

Segundo Pruski, Rodrigues e Silva (2001), o escoamento superficial começa após a capacidade de armazenamento do solo ter sido preenchida. O cálculo para sua determinação é feito, subtraindo-se a velocidade de infiltração da água, no solo da intensidade de precipitação, durante o intervalo de tempo em que a intensidade da chuva é maior que a velocidade de infiltração. Dessa forma, a determinação da velocidade de infiltração da água no solo permitirá a geração de dados importantes que contribuirão para o entendimento da dinâmica da água na área de estudo, e possibilitará a quantificação do escoamento gerado na bacia, a mensuração da condutividade hidráulica, a capacidade de saturação e a relação existente entre o escoamento gerado e as coberturas vegetais estudadas.

Para Oliveira *et al.* (2005), outro fator que deve ser analisado é que o escoamento superficial constitui o principal meio de contaminação dos mananciais de água superficial devido ao transporte de sedimentos e produtos químicos. O transporte de produtos químicos pelo escoamento superficial pode ter efeito direto e imediato na deterioração da qualidade da água, ao passo que o transporte de material sólido pode ter impacto em longo prazo sobre os recursos hídricos.

Entretanto, Fetter (2001) afirma que um dos problemas básicos de hidrologia é prever a quantidade de escoamento que irá ocorrer em uma determinada chuva intensa. A intensidade de chuva esperada é determinada com base nos registros climáticos. Outro conceito muito importante em estudos sobre o escoamento superficial é o tempo de concentração, que é definido pela duração do tempo necessário para a água fluir, do ponto mais distante da bacia hidrográfica, até o ponto de descarga. Se o período de precipitação exceder o tempo de concentração, então a equação racional será aplicada. A equação racional presume que ambas, a taxa de precipitação e a taxa de infiltração são constantes. Fetter (2001) ressalta a importância do método racional, que tem grande validade quando usado em análises de bacias de pequena drenagem (100 ha ou menos).

A equação racional é definida como:

$$Q = CIA \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

Q – é a taxa do pico do escoamento (m^3/s)

I – é a média da intensidade (mm/h)

A – é a área de drenagem (Km^2)

C – é o coeficiente adimensional

Na visão de Simões (2005), o método racional é dos mais conhecidos e antigos modelos para o cálculo da vazão de pico à saída de uma bacia hidrográfica. Assim, consideram a equação geral do método racional:

$$Q_p = 0,278.C.I_{t,T}.A \quad (\text{Eq.2})$$

Sendo:

Q_p : vazão de pico (m^3/s)

C : coeficiente de escoamento

$I_{t,T}$: intensidade média da chuva para uma duração t e um tempo de retorno T
(mm/h)

A : área da bacia hidrográfica (km^2)

2.4 RELAÇÃO INFILTRAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Segundo Reichardt (1987), quando a água de precipitação não se infiltra totalmente no solo, o excesso escoar pela superfície, indo depositar-se em depressões, ou, quando se trata de declividade acentuada, saindo da área de interesse, portanto, a água que não se infiltra escorre e forma a enxurrada, processo denominado de escoamento superficial ou *run off*. O autor ressalta que são muitos os fatores que afetam o processo de escoamento superficial, sendo os principais: a declividade do terreno e as características de infiltração do solo.

Em relação ao estudo do comportamento da infiltração e umidade do solo, Wisler e Brater (1964) mencionam que a precipitação, ao atingir a superfície do terreno, pode tornar-se escoamento superficial ou infiltração, dependendo do nível de intensidade da chuva, que pode exceder ou não a capacidade de infiltração. Parte da precipitação que se infiltra pode aumentar o teor de umidade do solo ou tornar-se água do solo.

De acordo com Braga Jr. e Conejo (1983), o estudo do escoamento superficial não deve ser visto de maneira isolada, e sim com clara compreensão de que os dois processos ocorrem simultaneamente. Essa interação se faz presente na variação das taxas de infiltração que possibilita a ocorrência de escoamento superficial, em que as taxas de infiltração são pequenas e inibem o escoamento quando as taxas de infiltração são altas. Alguns fatores influenciam significativamente a velocidade do escoamento superficial, tais como: declividades moderadas e vegetação densa, o que permite que a água nesse trajeto se infiltre.

Segundo Vilella e Mattos (1975), é fundamental que se conheçam a precipitação e o escoamento superficial em uma bacia porque, dessa maneira, é possível calcular, por diferença, sua capacidade de infiltração. Esta capacidade englobará também toda a interceptação e armazenagem nas depressões. A maioria dos autores ressaltam que o fato de a

capacidade de infiltração englobar a interceptação e o armazenamento, nas depressões, não compromete a solução de problemas de um projeto, pois, em geral, o que se pretende é conhecer o escoamento superficial resultante de uma certa precipitação, conhecida a capacidade de infiltração.

Tucci (2000) afirma que o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida; quando a bacia é rural e possui cobertura vegetal, o escoamento sofre interferência dessa cobertura e grande parte dele se infiltra. Quando se trata de bacias urbanas, o escoamento sofre ação antropogênica que pode resultar em superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais.

Bertoni (1985), referindo-se à erosão dos solos, destaca como características fundamentais, em uma precipitação, a intensidade, a duração e a frequência, e ressalta esses fatores como influentes na relação existente entre a infiltração e o escoamento superficial. A duração da chuva é o complemento da intensidade, e a combinação dos dois determina a precipitação total. No início de uma chuva uniforme, a água infiltra-se por um período mais longo, e isso ocorre em função das condições de umidade do solo e da sua intensidade. Depois, tem início o escoamento superficial, que vai aumentando de volume em proporções cada vez menores, até alcançar uma quantidade estável. Ainda segundo Bertoni (1985), a frequência das chuvas também influi nas perdas de solo; no caso de intervalos curtos, o teor de umidade do solo é alto, e assim o escoamento superficial é mais volumoso, mesmo com chuvas de intensidade moderada.

Segundo Diamond e Shanley (1998), a infiltração é o processo pelo qual a água entra no solo. Esse processo separa a água dentro de dois principais componentes hidrológicos: o escoamento superficial e a recarga subsuperficial.

Esses autores afirmam que a avaliação do escoamento tem adquirido importância crescente, devido aos perigos de erosão e poluição associados. Portanto, a determinação

precisa das taxas de infiltração constitui um fator fundamental na previsão confiável do escoamento superficial gerado na bacia.

2.5 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS SOLOS

Considerando que as relações hidrológicas e suas interações se processam em um ambiente único, e que esse ambiente sofre a ação contínua do homem, das mais diversas maneiras, a investigação sobre o solo é imprescindível, para que se possa entender a dinâmica da água e suas relações nesse complexo meio, além das conseqüências do seu uso inadequado.

2.5.1 Permeabilidade

Para Vargas (1977), além das propriedades mais simples e que estão relacionadas essencialmente ao material com que são constituídos os solos, existem também propriedades relacionadas com os diversos estados com que o solo se apresenta na natureza. Segundo o autor, foi o cientista francês Henry Darcy que conseguiu correlacionar equações de velocidades superficiais de percolação e gradientes hidráulicos, em que $v = ki$, expressão essa que é chamada “Lei de Darcy”, onde k é uma constante, portanto o coeficiente de permeabilidade é o índice da maior ou menor dificuldade que o solo se opõe à percolação da água através de seus poros. Neste sentido, a permeabilidade é a maior ou menor facilidade com que a água percola no solo. É uma das características mais importantes dos solos e intervém numa gama de problemas da engenharia.

Souza e Alves (2003) afirmam que a permeabilidade do solo depende, dentre outros fatores, da quantidade, da continuidade e do tamanho de poros, sendo a compactação e a descontinuidade dos poros responsáveis pela redução significativa da permeabilidade do solo à água. Os autores ressaltam que o conhecimento da velocidade de infiltração da água no solo e da condutividade hidráulica são fundamentais para a solução de problemas relacionados às áreas de irrigação, drenagem, conservação da água e do solo e controle do deflúvio superficial.

Segundo Centeno *et al.* (2003), em estudos que tratam principalmente de hidrologia urbana, uma questão que merece especial atenção é a estimativa de permeabilidade do solo, pois o aumento indiscriminado de áreas impermeáveis é um dos principais fatores do incremento do escoamento superficial e da ocorrência de enchentes. Atualmente, as bacias hidrográficas sofrem um aumento significativo em termos de ocupação, isso influencia diretamente na taxa de permeabilidade; a bacia do Itaim, nos últimos dezessete anos, teve um aumento de aproximadamente 366% na classe urbana, o que refletiu diretamente nos processos de infiltração e escoamento superficial. Ainda segundo Centeno (2003), entre as alternativas para o mapeamento das áreas impermeabilizadas, encontram-se os dados do sensoriamento remoto, na forma de imagens de satélite, ou pelo uso da aerofotogrametria.

Conforme Pinto (2002), estes estudos demonstraram que a percolação da água não retira todo o ar existente em um solo saturado, permanecendo bolhas de ar que não são contidas pela tensão superficial da água. Assim, essas bolhas de ar constituem obstáculos ao fluxo da água. Dessa forma, o coeficiente de permeabilidade de um solo não saturado é menor do que apresentaria se estivesse saturado integralmente; entretanto a diferença não é grande. Portanto, a permeabilidade depende não só da quantidade de vazios do solo, mas também da disposição relativa dos grãos, que pode aumentar em solos considerados residuais, em virtude da presença de macroporos na sua estrutura. Este fator é bem significativo no caso de solos

compactados. Normalmente, em solos compactados mais secos, a disposição das partículas (estrutura floculada) permite maior passagem de água do que quando compactado mais úmido (estrutura dispersa), ainda que com o mesmo índice de vazios. Para o autor, existe também a influência da temperatura, pois o coeficiente de permeabilidade depende do peso específico e do líquido, sendo que estas duas propriedades da água variam com a temperatura, pois o peso específico pouco varia, mas a viscosidade sofre maior variação, sendo seu efeito sensível.

2.5.2 Estrutura do solo

Segundo Klar (1984), a distribuição ou agrupamento total, também chamada arranjo mútuo, orientação ou organização das partículas do solo chama-se estrutura. Considerando a complexidade deste arranjo, não existe uma metodologia de determinação prática e direta da estrutura, daí serem usados conceitos qualitativos.

A existência de grânulos assegura uma estrutura de solo desejável. No caso de excesso de irrigação, o uso do arado ou implemento nos solos de textura fina, quando estes estão úmidos, tendem a quebrar esses grânulos. Um solo bem tratado é chamado de “batido”, e tem uma estrutura pobre. A estrutura favorável dos solos de textura fina é essencial para o movimento satisfatório da água e do ar.

Para Baver (1948), os estudos da estrutura do solo têm demonstrado que o solo é um meio poroso, e ocorre grande variação com relação ao tamanho desses poros. A água que entra no solo, ora permanece nos poros, ora nos percolatos, até as camadas mais baixas. A característica do espaço poroso do solo determina considerável extensão da disposição da água infiltrada. Portanto, a retenção e o movimento da água constituem duas fases importantes da relação solo-umidade.

Para Andreola *et al.* (2000), o uso sem critérios do solo, aliado a condições inadequadas de manejo, concorre para a deterioração de suas propriedades físicas e isso se deve, principalmente, às modificações em sua estrutura.

Campos *et al.* (1995) afirmam que a degradação da estrutura causa ao solo perda de condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal, predispondo-o à erosão hídrica. Portanto, a condição estrutural pode ser avaliada segundo dois aspectos: através de avaliações de parâmetros relacionados à forma da estrutura, como também densidade do solo, porosidade, e outros atributos. Outro aspecto está relacionado à estabilidade da estrutura.

Martins *et al.* (2002) ressaltam a influência do tipo de cobertura vegetal no comportamento do solo no que diz respeito aos seus atributos. Para o autor, embora exista uma expansão de florestas homogêneas como pinus e eucalipto, poucos são os estudos relacionados aos impactos que estes florestamentos podem causar no solo, e conseqüentemente, em sua estrutura.

Secco *et al.* (2005) afirmam que alguns atributos físicos do solo, como densidade e espaço poroso podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Uma contínua avaliação, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não destes sistemas de manejo do solo quando se objetiva estabilidade estrutural.

Campos *et al.* (1995) ressaltam que as modificações das práticas de manejo e das culturas promovem alterações nas propriedades do solo, principalmente na sua estrutura. Dessa forma, a natureza dessas alterações pode ser temporária ou permanente. Assim, a estabilidade das unidades estruturais, agregados, tem demonstrado variação em função do tipo de manejo adotado e das culturas instaladas. Os autores ressaltam o sistema de rotação de culturas, como sendo uma técnica que propicia, com muita eficiência, a agregação do solo.

2.5.3 Textura do solo

Conforme Vargas (1977), o tamanho relativo dos grãos que formam a fase sólida do solo é denominado de textura, sendo sua medida a granulometria.

No estudo da textura, método usual é o do simples peneiramento; utilizam-se peneiras padronizadas de abertura de malhas rigorosamente estabelecidas. Assim, nas malhas das peneiras, ficam retidas porções de solos, no caso de solos mais finos como as argilas e os siltes, o peneiramento é impraticável considerando que as peneiras deveriam ter aberturas de malhas demasiadamente pequenas, impossível de serem obtidas industrialmente e impossível de serem preservadas com o uso. Portanto, utiliza-se usualmente o método da análise por sedimentação.

A textura do solo diz respeito à distribuição das partículas de acordo com o tamanho; em termos quantitativos, envolve as proporções relativas dos vários tamanhos de partículas num dado solo, cujas frações texturais básicas são a areia, o limo e a argila, considera-se que estas proporções relativas conferem denominações específicas aos diferentes solos. A textura pode ser considerada como uma qualidade inerente ao solo, e pode determinar seu valor (Klar, 1984).

Israelsen (1956) afirma que, nos solos em que as partículas são relativamente uniformes quanto ao tamanho, têm comparativamente maiores espaços entre estas; já aqueles solos nos quais o tamanho dos grãos varia muito tornam-se mais compactados e, dessa forma, o volume dos espaços entre os grãos é restrito. Os solos irrigados, que apresentam grãos mais finos, se forem apropriadamente administrados funcionarão como grânulos, cada um consistindo de muitas partículas. Nos solos de textura mais grossa, cada partícula funciona separadamente. Para o autor, as partículas minerais do solo são classificadas, de acordo com o tamanho, dentro de três grupos principais, chamados areia, silte (areia finíssima) e argila.

Existe grande variação do tamanho das partículas de cada grupo, e os limites que têm sido estabelecidos para os diâmetros variam de 2 até 0,06mm para areia, 0,06 até 0,002 mm para silte e menos do que 0,002 mm para argila. Ainda, quanto a esse aspecto, grãos de areia são granulados e podem ser facilmente distinguidos por um olho não treinado. O silte, dificilmente visível a olho-nu, tem a aparência de farinha. As partículas individuais da fração de argila, muitas das quais são colóides inorgânicos, não podem ser distinguidas pelo olho, e muitas delas são minúsculas para serem vistas por microscópio. É esta fração que faz com que os solos dilatam e fiquem viscosos quando estão úmidos, e há a capacidade de retraírem-se, ficando quebradiços, quando estão secos.

2.6 COMPACTAÇÃO

Segundo Goedert, Schermack e Freitas (2002), a compactação do solo constitui um tema de crescente importância, considerando o aumento da mecanização em áreas com atividades agrícolas. Isto tem acarretado desarranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso. Segundo os autores, os principais efeitos negativos da compactação do solo são o aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes.

Atividades agropecuárias, em que o pastejo intensivo seja usual, também aumentam a compactação, influenciando na infiltração e no escoamento superficial; a bacia do Itaim ainda sofre essas ações, comprometendo o armazenamento de água em pontos importantes.

Segundo Dias Junior *et al.* (2002), diferentes níveis de manejo podem gerar diferentes níveis de compactação, em função da classe de solo e da época da realização de operações que quase sempre são mecanizadas.

Alves e Suzuki (2004) afirmam que, em sistemas intensivos de uso do solo, faz-se necessária a definição de tecnologias adequadas para que se possa manter a sustentabilidade. Os autores avaliaram a influência de dois sistemas de preparo do solo, associados ao uso de plantas de cobertura, em três sucessões de culturas, na recuperação de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho do cerrado; alternativas que melhorem as condições físicas dos solos em estudo podem contribuir significativamente para um maior armazenamento de água nessas áreas.

Com relação à temática da compactação dos solos nessa região, Rezende (2004), ao estudar solos com diferentes tipos de cobertura em áreas situadas na intersecção da formação sedimentar de Taubaté e embasamento cristalino da serra da Mantiqueira, chegou a conclusão ao relacionar três tipos de cobertura vegetal, Floresta, Reflorestamento com Eucalipto e Pastagem, à compactação do solo, que o solo coberto com floresta apresentou menor ação de impacto, pois o mesmo manteve maior umidade e porosidade total, aliado ao fato de que a decomposição da parte aérea do sistema radicular, e da camada de serapilheira, influenciou benéficamente a agregação das partículas, favorecendo a drenagem capilar.

Ainda segundo Rezende (2004), na cobertura com pastagem, foi encontrado maior densidade e menor porosidade na profundidade de 20 cm a 40 cm, entretanto, houve maior retenção de água do que a cobertura com eucalipto, influência do efeito benéfico do maior volume de raízes superficiais na retenção de água.

Nesse estudo, a cobertura de eucalipto apresentou os maiores valores de compactação em profundidade, ressaltando o efeito da degradação do solo devido à compactação. Esse efeito, verificado pelo autor, demonstra o impedimento do

desenvolvimento do sistema radicular desse tipo de cobertura, favorecendo a ocorrência de erosão superficial; afirma também que o conhecimento da função da cobertura vegetal na preservação do solo, em relação às ações naturais de perda tem importância significativa e pode servir como referência ao estudo dos processos de recuperação ambiental.

2.7 RELAÇÃO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E COBERTURA VEGETAL

Segundo Vital *et al.* (1999), a evolução do uso do solo ao longo do Vale do Paraíba, semelhantemente ao ocorrido em outras regiões do País, envolveu a mudança da transformação da cobertura florestal original através de diversos ciclos de monocultura no decorrer da história. Em um primeiro momento, o ciclo da cana-de-açúcar, em seguida o da cultura cafeeira e o da pecuária leiteira, e a tendência é que a exploração da monocultura do eucalipto se consolide nos próximos anos. Atualmente, ocorre uma consolidação das áreas de pastagem, inclusive ocupando áreas de várzeas, outrora destinadas tradicionalmente à cultura do arroz.

Para os autores, essa transformação da paisagem original conduziu a uma diminuição da capacidade natural de suporte do solo, resultante do aumento do processo erosivo, da diminuição da fertilidade e da degradação das bacias hidrográficas. Assim, o reflorestamento com eucalipto é uma atividade crescente no Vale do Paraíba, principalmente porque supre a demanda industrial de madeira para a produção de celulose e papel.

Centurion, Cardoso e Natali (2001) afirmam que a alteração de ecossistemas naturais ocorre na medida em que são substituídos por atividades industriais ou produção de alimentos, propiciando degradação proveniente do uso e manejo inadequado dos solos. Ainda segundo esses autores, a retirada da cobertura vegetal original para outras atividades,

principalmente para agricultura, promove o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio físico, alterando suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Neste sentido, a infiltração de água é um indicativo de diferenças no comportamento hidrodinâmico do solo, em função da alteração de sua estrutura, e que essas alterações de solo são provocadas pela ação antrópica em coberturas vegetais, como pastagem e mata nativa.

De modo geral, as modificações que ocorrem em bacia hidrográfica interferem no escoamento superficial.

2.8 MÉTODO CURVA-NÚMERO – NRCS (USDA)

Smemoe, Nelson e Zhao (2004), ao desenvolverem um modelo de precipitação/escoamento para uma área de drenagem, observaram que uma das coisas mais importantes a considerar é a determinação da quantidade de chuva que é convertida em escoamento superficial. Assim, outros métodos têm sido idealizados para determinar a quantidade de precipitação convertida em escoamento. Esses autores afirmam que o método Curva-Número NRCS (Natural Resources Conservation Service) fornece uma boa introdução de como o escoamento, na bacia, é determinado a partir dos dados da precipitação.

Contudo, muitas destas suposições utilizadas pelo método CN (Curva-Número) são baseadas em observações empíricas da precipitação e do escoamento. Alternativamente, o método de Green e Ampt está mais baseado nas propriedades físicas do solo, portanto é útil comparar as suposições do método CN com aquelas do método Green e Ampt.

Segundo Pruski, Brandão e Silva (2004), o Método Curva-Número (NRCS-USDA) estima a lâmina (Volume por unidade de área) de escoamento superficial a partir de dados de precipitação e de outros parâmetros da bacia. Este estudo foi desenvolvido

pelo Natural Resources Conservation Service (1972), a partir de dados de grande número de bacias experimentais naquela região; a análise dessas informações permitiu evidenciar a seguinte relação:

$$\frac{I}{S} = \frac{ES}{Pe} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que:

I = Infiltração acumulada após o início do escoamento superficial (mm);

S = Infiltração potencial (mm);

ES = escoamento superficial total (mm).

Pe= Precipitação efetiva

Visando à simplificação do emprego do Método Curva-Número, a precipitação total de uso recomendado é aquela que corresponde ao total precipitado para determinar o período de retorno e duração de precipitação requerida (normalmente 6,12 ou 24 h); no estudo da quantificação do escoamento superficial na bacia do Itaim foi usado 24 h. Trabalhando-se matematicamente a equação acima, chega-se ao valor de uma série de hidrogramas associados a diferentes bacias hidrográficas, com a seguinte relação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que:

CN é o número da curva, cujo valor pode variar entre 1 e 100, e depende do uso e manejo da terra, do grupo de solo, da condição hidrológica e da umidade antecedente do solo.

Ainda segundo Pruski, Brandão e Silva (2004), os tipos de solo definidos para estimativa do escoamento superficial pelo NRCS-USDA são: A, B, C e D.

Equação do escoamento superficial:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que:

Q: escoamento superficial (mm)

P: Precipitação no Período de Retorno (mm)

S: Infiltração Potencial (mm)

Miranda *et al.* (2004), estudando o desenvolvimento de um modelo computacional para ser aplicado na avaliação do desempenho de terraços em nível, verificaram que nem sempre as práticas edáficas e vegetativas são suficientes para o controle da erosão, principalmente em regiões onde ocorrem chuvas de grande intensidade. Assim, é necessário, neste caso, a adoção de procedimentos complementares visando à redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, à capacidade de transporte de sedimentos, que pode ser alcançado quando se implementa barreiras mecânicas adequadas, tais como: terraços, canais escoadouros, bacias de captação de águas pluviais e barragens, entre outros. O primeiro procedimento dos autores foi a determinação do valor diário do escoamento superficial, mediante a aplicação do Método Curva-Número (CN). O modelo adotado possibilita ao usuário marcar os meses em que será realizado o preparo do solo e, em função disso, interpolar a tabela do SCS (USA, 1972) para determinação dos valores de CN conforme as classes de uso.

Ainda, segundo Miranda *et al.* (2004), a retenção potencial é função do Número da Curva (CN), cujo valor é tabelado e depende da cobertura e tipo do solo, da condição hidrológica e umidade antecedente. Neste caso, quanto maior o valor de CN, maior será o escoamento superficial e menor a retenção potencial e, em contrapartida, quando se diminui o valor deste parâmetro, o escoamento decresce e a retenção aumenta.

Amorim (1995), estudando os parâmetros hidrológicos de uma pequena bacia hidrográfica sob utilização agrícola, aplicou o método Curva-Número (NRCS) para a obtenção do escoamento superficial. Este modelo foi desenvolvido basicamente em função da precipitação e do armazenamento temporário da bacia. O autor considerou a bacia estudada como representativa para a região, enfatizando as características de solo e cobertura vegetal, o que demonstra que o modelo do NRCS é ajustável a bacias rurais.

2.9 MÉTODO DO INFILTRÔMETRO DE ANÉIS CONCÊNTRICOS

Bertoni (1985), estudando a velocidade de infiltração, pesquisou o uso de infiltrômetros e o modo como foram projetados. Observou que existe uma gama desses aparelhos com diversos graus de precisão, e que a velocidade de infiltração varia com o método usado na sua determinação. Entretanto, dos instrumentos, espera-se obter somente uma estimativa aproximada da verdadeira infiltração.

Segundo Aguiar (2001), dentre os métodos utilizados para determinação da condutividade hidráulica em solos não-saturados, o Infiltrômetro de Anéis Concêntricos (IANC) é o mais consagrado. Muito utilizado, no meio científico, esse infiltrômetro tem como características dois cilindros metálicos de três milímetros de espessura e 30 cm de altura, com

diâmetros de 30 e 50 mm, com uma das bordas biseladas para facilitar a penetração no solo (Figura 1), os quais são cravados a percussão.



Figura 1 – Infiltrômetro de anéis concêntricos

Otoni (2005) ressalta os inconvenientes apresentados pelo IANC, no que diz respeito ao tamanho dos anéis, à percolação horizontal e à modificação da estrutura superficial do solo devido à cravação dos anéis por percussão. No entanto, esse equipamento tem sido largamente empregado na obtenção de resultados que são utilizados para a resolução de inúmeros problemas relacionados aos recursos hídricos.

Coelho, Miranda e Duarte (2000), comparando duas metodologias distintas – Infiltrômetros de Anéis Concêntricos (IANC) e Infiltrômetros de Aspersores –, obtiveram

curvas de infiltração de água no solo e a velocidade básica de infiltração de água em um solo classificado como Terra Roxa Estruturada, “Série Luiz de Queiroz”, freqüentemente explorado com atividades agrícolas tradicionais. A superfície do solo apresentava-se isenta de vegetação, em decorrência de uma gradagem leve realizada e da aplicação posterior de herbicida dessecante com pulverizador costal. Neste período, ocorreu a acomodação natural da camada superficial do solo induzida por duas precipitações naturais de baixa intensidade (18 e 29 mm).

Souza e Campos (2001), avaliando as potencialidades de recarga dos diferentes regolitos presentes no Distrito Federal, efetuaram ensaios de infiltração *in situ*, utilizando dados genéricos de geologia, geomorfologia e pedologia. Neste estudo, os autores objetivaram o conhecimento da recarga dos aquíferos porosos, em função dos valores de condutividade hidráulica vertical. Eles não utilizaram dados pedológicos de detalhe, tais como perfis do solo ou curvas de distribuição granulométrica. Apesar de considerar como importantes os fatores que determinam o comportamento hidráulico dos regolitos, a investigação dos autores sobre a relação entre os parâmetros pedológicos e os valores de condutividade hidráulica limitou-se ao estudo apresentado.

De acordo com Wisler e Brater (1964), os infiltrômetros são de duas classes gerais: No primeiro caso, aqueles em que a taxa de infiltração é determinada diretamente, pela proporção de água que deve ser adicionada, no sentido de se manter uma altura constante dentro do infiltrômetro, e, em segundo lugar, os simuladores de chuva.

Da primeira classe geral, os mais comumente usados consistem em dois anéis concêntricos ou em um tubo único. No primeiro tipo, dois anéis cilíndricos baixos, de chapa metálica e de diâmetro variável, são colocados com a borda inferior algumas polegadas abaixo da superfície do solo e a superior salientando-se acima dela. Após esse primeiro procedimento, coloca-se água em ambos os compartimentos, mantendo-se o mesmo nível nos

dois. A função do anel externo é a de impedir que a água do espaço interno se espalhe sobre uma área mais extensa, depois de ter penetrado abaixo do fundo do anel. Da taxa segundo a qual a água deve ser adicionada no anel interno, para que o nível se mantenha constante, deduz-se a capacidade de infiltração e o modo como ela varia. No segundo tipo, um único tubo é colocado no solo, a uma profundidade pelo menos igual à da penetração da água, durante esse processo, sem ocorrer seu espalhamento. Observa-se, assim, a taxa segundo a qual a água deve ser adicionada, para que sua altura se mantenha constante dentro do tubo. O Infiltrômetro de Anéis Concêntricos (IANC) tem-se mostrado adequado às condições de campo em que está sendo submetido, nos testes realizados na bacia do Itaim.

O equipamento consiste de dois anéis que são posicionados de forma concêntrica no solo. O interno deve apresentar diâmetro de 300 mm, e o externo, diâmetro de 600 mm, com altura de aproximadamente 300 mm. Neste método, o anel externo tem a finalidade de reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Esse procedimento permite que a água do anel interno infiltre no perfil do solo em uma direção predominantemente vertical, o que evita a superestimativa da taxa de infiltração.

No período de realização do teste, deve-se manter a altura da lâmina d'água medida com régua colocada verticalmente dentro do anel interno.

Com relação ao anel externo, neste, a lâmina d'água deve ser mantida apenas para assegurar que o processo de infiltração não sofra nenhuma interrupção e, com isto, conseqüentemente, ocorra dispersão lateral da água infiltrada a partir do anel interno. O teste deve continuar até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, torne-se constante com o tempo. Normalmente, a taxa de infiltração é considerada constante quando o valor tomado da leitura da lâmina infiltrada do anel interno se repita pelo menos por três vezes.

Rodrigues, Silva e Vieira (2001), estudando a geomorfologia dos efeitos da disposição do lodo estabilizado sobre o solo de uma área cultivada com citrus, utilizaram

Infiltrômetro de Anéis para conhecer a capacidade de infiltração superficial de água no solo e caracterizam o comportamento da infiltração da água *in situ*. Os autores estudaram três locais, com diferentes usos em relação ao solo, verificando as diferenças ocasionadas pelo tipo de uso.

Um dos testes com Infiltrômetro de Anéis foi realizado no alinhamento de um pomar de laranja, com baixa compactação em superfície, porém com forte compactação na profundidade de 10 a 40 cm, onde para um tempo acumulado de 180min obteve-se a VIB de 22,2 cm/h. O segundo ponto amostral escolhido para os testes foi o corredor, na posição exata onde há o impacto das rodas dos veículos que circulam pela área, e, nesse ponto, identificou-se uma camada compactada em superfície, onde para um tempo acumulado de 180min obteve-se a VIB de 5,2 cm/h. Um terceiro ponto amostral foi escolhido no terreno localizado no corredor, mas sem influência do peso dos veículos. Nesse último ponto, foi detectada uma situação de compactação subsuperficial, abaixo de 10 cm, superior à encontrada nas linhas dos laranjais, onde para um tempo acumulado de 180 min obteve-se a VIB de 2,2 cm/h.

Com esse tipo de ensaio, os autores demonstraram a versatilidade do método e a sua capacidade de detectar com facilidade pontos compactados no terreno, quantificando, assim, a infiltração nessas áreas.

Vieira *et al.* (1978) observaram que, nos infiltrômetros de anéis, a infiltração decresce com o aumento da área molhada. Inferiram, também, que a infiltração inicial é tanto maior quanto maior for a carga d'água, e que o efeito dessa carga diminui gradualmente, com o tempo.

Quando se trabalha com infiltrômetros que aplicam “chuva artificial”, estes necessitam de força motriz e de uma série de equipamentos calibradores ou protetores.

Esses infiltrômetros, afirmam Vieira *et al.* (1978), contêm recipientes ou calhas coletoras de precipitação, anteparos para a proteção contra o vento, calhas e recipientes

graduados para a coleta do escoamento superficial gerado, lâminas metálicas para delimitação da área de ensaio e mecanismos adequados à obtenção de intensidade e precipitação constante. Essas observações sugerem dificuldades operacionais, na implantação desses aparelhos, além de limitações de custo e de pessoal treinado para obtenção de resultados confiáveis.

2.10 OUTROS MÉTODOS DE MENSURAÇÃO DA INFILTRAÇÃO

Segundo Costa *et al.* (1999), das características do solo, a capacidade de infiltração é uma das principais, pois reflete a capacidade máxima que o solo possui em permitir a entrada de água no seu interior.

Dentre os métodos mais usados para a determinação da infiltração, o autor ressalta o método de entrada e saída de água no sulco, anéis infiltrômetros e simuladores de chuva. O método dos sulcos de entrada e saída é de aplicação específica para o sistema de irrigação por sulcos. Os autores usaram um simulador de chuvas nos testes realizados em campo (nas mesmas condições de umidade e repetição dos testes) e o compararam com os testes realizados com os anéis infiltrômetros, possibilitando a comparação entre os dados de infiltração obtidos por um método dinâmico e outro estático, simulador de chuvas e os anéis infiltrômetros respectivamente.

Os autores concluíram que a capacidade de infiltração básica não se manteve constante nos ensaios, tanto para o simulador quanto para os cilindros, isto em função da variabilidade espacial entre as áreas amostradas.

2.10.1 Simuladores de Chuva

Segundo Souza (2004), os estudos sobre o efeito das chuvas em atributos do solo são difíceis de serem realizados com chuva natural. Neste caso não se tem controle sobre a duração/intensidade (distribuição e tipo de chuva). Uma alternativa que se apresenta é a utilização de simuladores de chuvas que possibilitam controlar as características das mesmas com a vantagem de poderem ser utilizados a qualquer tempo. Este tipo de equipamento já vem sendo utilizado em estudos de manejo de solos há bastante tempo. Já foram construídos vários modelos e atualmente existem alguns totalmente automatizados.

O autor construiu um simulador de chuva, e verificou a eficiência do mesmo para estudos de infiltração de água no solo, podendo ser utilizado também para estudos de formação de crosta, lixiviação de solutos, perdas de solo, perdas de água e nutrientes por escoamento superficial.

Segundo Guillermo e Fernández (1977), nos sistemas de canais de distribuição, as perdas por infiltração e por operação são problemas constantes para os gerenciadores dos recursos hídricos que, entre outras atividades, são responsáveis pela água utilizada pelos usuários agrícolas, nesse caso, irrigantes.

Esses profissionais devem estar atentos para os principais problemas de ordem técnica e de alta complexidade, que ocorrem nas perdas por infiltração, que podem levar à elevação dos lençóis freáticos nas terras de lavouras adjacentes ao canal.

Para os autores, no gerenciamento dessas atividades, os profissionais envolvidos devem ter em mente os métodos adequados para a medição das infiltrações. Como as

velocidades de infiltração afetam muitas variáveis, não é muito comum medir um valor da infiltração da “calha” que seja consistente para um trecho determinado de um canal. O autor estudou esse procedimento com o objetivo de definir aproximadamente um grupo de valores das perdas ocorridas por infiltração em relação à textura do solo e ao tamanho das dimensões da seção do canal.

3 PROPOSIÇÃO

A bacia hidrográfica do Rio Una tem, como um de seus afluentes, o ribeirão Itaim que foi declarado pelo DAEE-SP reserva técnica estratégica de água para o município de Taubaté, podendo ser utilizado em caso de colapso na captação do rio Una. Dado que somente 10 a 15% da água de abastecimento de Taubaté está sendo captado no Una, que no passado já respondeu por 100% do abastecimento, urgente se faz determinar as características de infiltração de água em suas sub-bacias como forma de estimativa do escoamento superficial e da garantia de oferta de água para abastecimento.

Este trabalho teve por objetivo estimar o escoamento superficial e a infiltração potencial da água, bem como suas alterações em função das diferentes coberturas vegetais existentes na bacia hidrográfica do ribeirão Itaim, no município de Taubaté/SP.

Avaliou-se a velocidade de infiltração, a infiltração potencial em áreas da bacia com coberturas de pupunha e pastagem em regeneração.

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia de Taubaté, que forma o preenchimento sedimentar do Vale do Paraíba, situado no sudeste do Estado de São Paulo, mostra as evidências de uma origem tectônica em que se refletem fortemente as características das relações mútuas entre o embasamento cristalino e o depósito sedimentar sintectônico. (SUGUIO, 2001).

A sub-bacia do ribeirão do Itaim (figura 2), região leste do Estado de São Paulo, onde foi realizado este trabalho, está incluída, na bacia de Taubaté, caracterizada por apresentar formação geológica sedimentar constituída de camadas seqüenciais de argilito (mais espessa) e arenito pertencendo aos períodos terciário (65 m.a.) e quaternário (2 m.a.). Possui também rochas metamórficas do tipo micaxistos (CORREA *et al.*, 1996).

Os solos presentes nessas formações estão classificados basicamente em dois grandes grupos: Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo. (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

O ribeirão Itaim, segundo Corrêa (2001), tem sua nascente nas coordenadas W 45° 36' 28" e S 23° 09' 46", com sua localização próxima à divisa de Taubaté, com os municípios de Caçapava e Redenção da Serra e sua foz, nas coordenadas W 45° 30' 23" e S 23° 01' 28", situada no interior da Fazenda Piloto do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté.

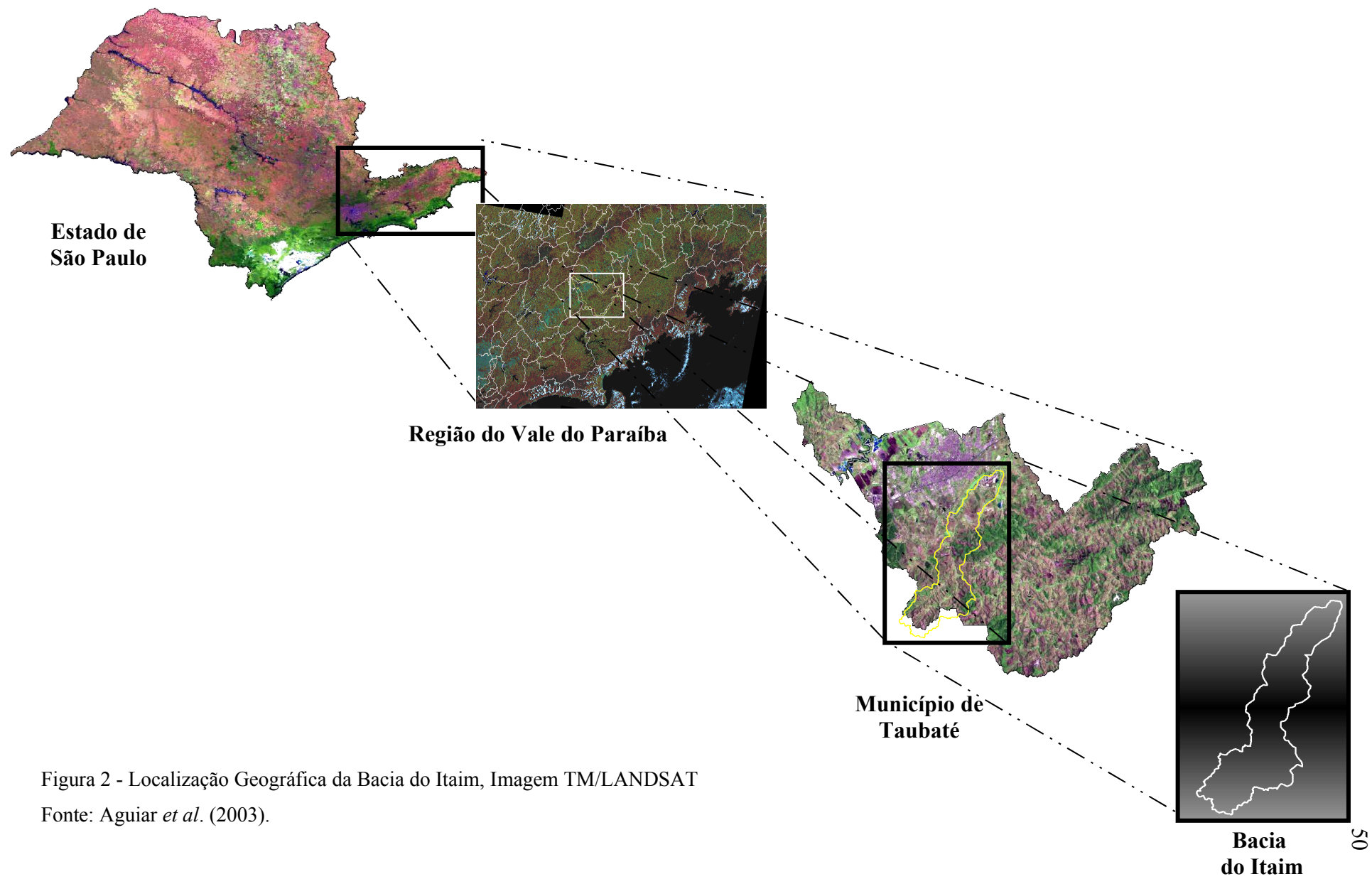


Figura 2 - Localização Geográfica da Bacia do Itaim, Imagem TM/LANDSAT

Fonte: Aguiar *et al.* (2003).

A Figura 3, adquirida no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté em 2003, ilustra a bacia hidrográfica do Itaim e sua proximidade com a área urbana do Município de Taubaté. É ressaltado na bacia, o avanço da malha urbana, com localização estratégica do Cavex.



Figura 3 – Imagem LANDSAT 7 – Sensor ETM, 14/08/2003 – Composição Colorida - 3B4R5G

Fonte: Lageo (2003)

4.2 CLIMATOLOGIA

Em termos de distribuição sazonal, o inverno (trimestre junho-julho-agosto) é seco na região. O Balanço Hídrico realizado por Fisch (1999) demonstra que, apesar de pouca precipitação, nos meses de inverno, devido às baixas temperaturas, o consumo de água pela evapotranspiração potencial (EVT) não é elevado, de tal forma que não ocorre *déficit* hídrico. A água armazenada, no solo, supre as necessidades hídricas das plantas, e a EVT sempre ocorre em sua taxa potencial.

O clima da região do Vale do Paraíba é CWA, segundo a classificação climática de Koeppen e caracteriza-se por ser quente e úmido, no verão, e frio e seco, no inverno (Fisch, 1999).

4.2.1 Pluviometria da Bacia no Período de 1995 a 2005

Os dados pluviométricos foram obtidos no posto meteorológico do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, sendo um parâmetro importante na compreensão da sazonalidade da chuva em um intervalo temporal e a influência desta no processo de infiltração nessa região (Anexo A).

A tabela 2 mostra os dados de chuvas obtidos por Fisch (1995), num período de seis anos, evidenciando os valores extremos de chuva obtidos nesse período.

Esses dados têm importância significativa, considerando que a intensidade da chuva, na bacia, pode servir como parâmetro para estudos hidrológicos na região, podendo-se estabelecer uma relação entre os valores de chuva intensa e o tempo de concentração, que pode ser baixo ou alto, variando em função de fatores como forma da bacia, grau de

antropização, declividade e intensidade. A tabela 2 mostra que a chuva pode ter ocorrido de duas maneiras: de uma só vez, nesse caso é considerada em mm/h e no caso de ter sido acumulada naquele dia, é considerada em mm/dia.

Tabela 2 – Chuvas extremas na bacia do Itaim

total (mm)	data
129,50	16/1/1985
80,00	26/3/1991
76,50	23/1/1987
68,90	26/1/1991
67,50	13/3/1989
66,50	26/1/1986
66,50	9/11/1989
65,50	4/3/1986
64,00	14/11/1982
62,50	2/11/1985
62,00	9/2/1988
59,50	11/1/1991
55,50	27/1/1983
54,00	9/2/1987
53,90	6/10/1991
57,70	15/1/1991
53,20	30/1/1992
52,50	16/2/1987

Fonte: Fisch (1999)

4.3 CLASSES DE USO DO SOLO NA BACIA DO ITAIM 2003

Segundo Machado (2002), o efeito das condições da superfície da bacia hidrográfica é avaliado por meio das classes de uso e manejo. Assim, o uso do solo pertence à cobertura da bacia hidrográfica, incluindo toda a vegetação nova, restos culturais, solo nu, além de superfícies impermeáveis como estradas e áreas urbanas. Com relação ao manejo do solo, o termo aplica-se especificamente para uso agrícola, práticas de manejo como pastejo intensivo e rotação de culturas.

A Figura 4 mostra as classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim em 2003.

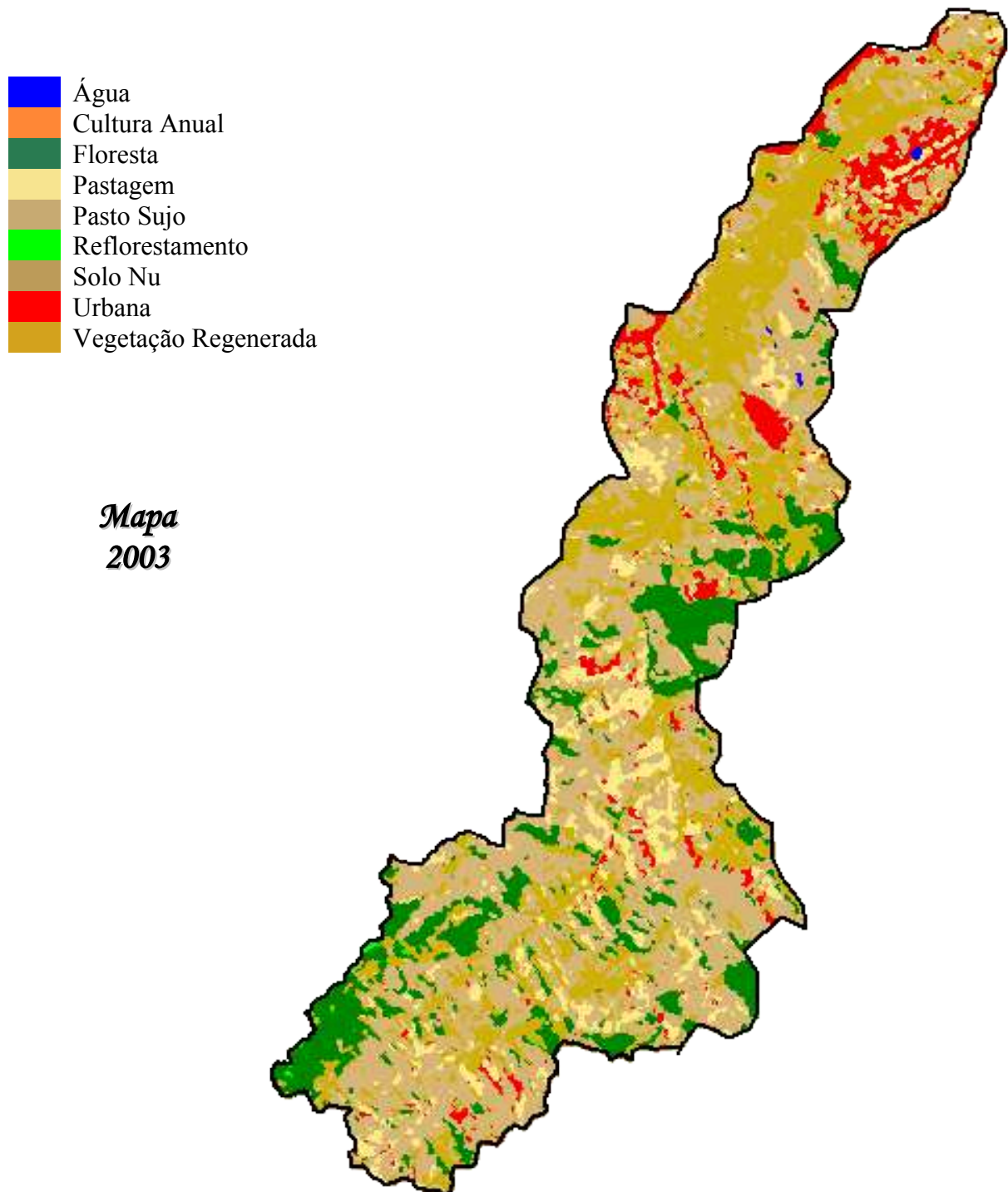


Figura 4 – Classes de uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim
Fonte Aguiar *et al.* (2003)

4.3.1 Mudanças na ocupação do solo na bacia

Aguiar *et al.* (2003), estudando a detecção de mudanças na bacia do Itaim por meio de geoprocessamento, em um período de 17 anos, verificaram uma série de alterações ocorridas em suas classes de uso, as quais podem ser observadas pelos dados da Tabela 3.

Tabela 3 – Mudanças na ocupação do solo na bacia do Itaim

Classes	1986		2003		% de mudança
	Área em ha	%	Área em ha	%	
Pasto sujo	2.159	37,2	2.053	35,4	- 4,91
Pastagem	1.439	24,8	526	9,1	- 63,45
Floresta	811	13,9	751	12,9	- 7,40
Vegetação Natural em Regeneração	687	11,8	1.563	26,9	127,51
Solo Nu	507	8,7	534	9,2	5,33
Reflorestamento	107	1,8	12	0,2	- 88,79
Urbana	78	1,4	363	6,2	365,38
Cultura anual	17	0,3	3	–	- 82,35
Água	4	0,1	4	0,1	0
Total das classes	5.809	100	5.809	100	

A classe Urbana teve o aumento mais significativo (366% aproximadamente), o que indica que o processo de ocupação da bacia foi intenso nesse período, principalmente em função de fatores relacionados à especulação imobiliária.

A classe Vegetação Natural em Regeneração, foi a segunda que mais incremento teve (128% aproximadamente). Esse fato ocorreu, provavelmente, em função da diminuição

da atividade agropecuária, na bacia, o que ocasionou menor ação antrópica e, conseqüentemente maior possibilidade de regeneração da vegetação em áreas que outrora eram usadas para a criação de animais.

As classes: Reflorestamento, Cultura Anual, Pastagem tiveram redução significativa em área, seguida das classes Floresta, Solo Nu, e Pasto sujo ou Pasto em Regeneração. Dessa forma, a redução das áreas dessas classes deve ser analisada, como já mencionado, num contexto mais amplo, não apenas do ponto de vista técnico e de forma isolada, mas de maneira interdisciplinar, o que dará maior subsídio para a confirmação das causas dessas tendências na bacia.

4.4 TIPOS DE COBERTURA VEGETAL ESTUDADA

Os testes de infiltração foram realizados em diferentes locais na bacia do Itaim, os quais são identificados pelas coordenadas geográficas obtidas por meio de receptor de sinais e documentação fotográfica. Os testes de infiltração foram realizados em solo com coberturas de restos culturais de milho, e área com pastagem, sendo priorizado este tipo de cobertura por ter maior representatividade na bacia, conforme pode ser observado na Tabela 4 e nas Figuras 5, 7 e 8.

Tabela 4 – Condições de uso e cobertura do solo e número de testes de infiltração

Tipos de uso e cobertura e pontos de testes de infiltração	Data do teste
Milho (1)	05/03/04
Pasto sujo (1)	25/02/05
Pasto sujo (2)	02/03/05
Pasto sujo (3)	03/03/05
Pasto sujo (4)	04/03/05
Pasto sujo (5)	07/03/05
Pasto sujo (6)	08/03/05



Figura 5 – Área com restos culturais de Milho



Figura 6 – Área de plantio de Pupunha



Figura 7 – Composição vegetal da bacia, predomínio da pastagem



Figura 8 – Infiltrômetro de anéis sobre *Brachiaria decumbens*



Figura 9 - Predominância da pastagem em regeneração



Figura 10 – Infiltrômetro de anéis e amostras retiradas com anel volumétrico



Figura 11 – Pastagem Bairro do Itaim



Figura 12 – Vegetação em regeneração dentro do Departamento de Ciências Agrárias

A figura 6 mostra um dos testes de infiltração sobre cobertura de pupunha, em área experimental no Departamento de Ciências Agrárias. A figura 9 mostra a pastagem em regeneração próximo à mata ciliar, nota-se a baixa declividade do terreno. Percebe-se uma zona de transição entre a pastagem em regeneração e a várzea, ao fundo vista do Cavex. A figura 10 mostra os pontos de coleta das amostras ao redor do infiltrômetro de anéis. Estas amostras, analisadas em laboratório, permitiram definir a textura do solo da área. A figura 11 evidencia a cobertura de pastagem sem ação antrópica, em início de regeneração, no bairro do Itaim. A figura 12 ilustra a vegetação em processo adiantado de regeneração, vista ao fundo do Departamento de Ciências Agrárias.

4.5 METODOLOGIA

Utilizou-se o método do Infiltrômetro de Anéis Concêntricos (IANC), na determinação da infiltração da água, na cobertura vegetal pasto sujo da bacia do Itaim, em função da sua facilidade de implantação, boa adequação às condições topográficas, baixo custo e por ser um método consagrado e muito utilizado em mensurações da infiltração em solos não saturados.

Por meio de percussão, utilizando-se uma marreta de ferro e um pedaço de madeira cravou-se os dois anéis no solo até a profundidade de 15 cm, posicionados de forma concêntrica, o interno com diâmetro aproximado de 30 cm e o externo, de 60 cm, com altura aproximada de 30 cm cada. O nivelamento dos anéis foi conferido com uso de nível de pedreiro de bolha. Detalhes da fixação dos anéis podem ser visualizadas na Figura 13.

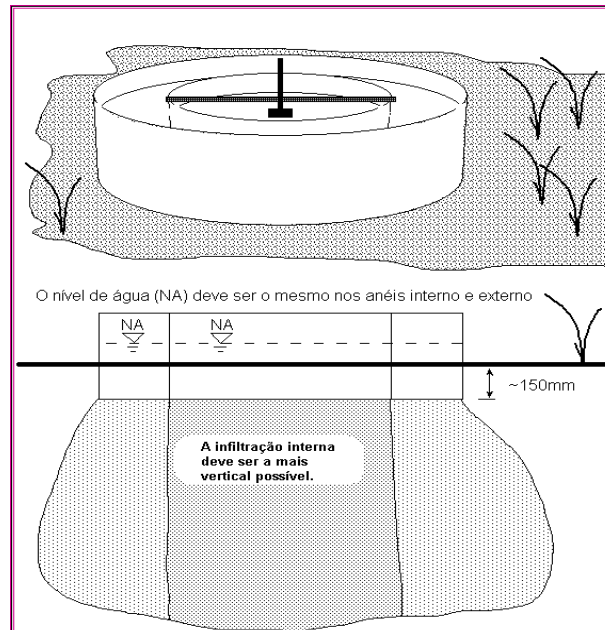


Figura 13 – Desenho esquemático do funcionamento do infiltrômetro de anéis concêntricos

A função do anel externo é evitar a dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Dessa maneira, a infiltração no anel interno será a mais vertical possível evitando que a taxa de infiltração seja superestimada.

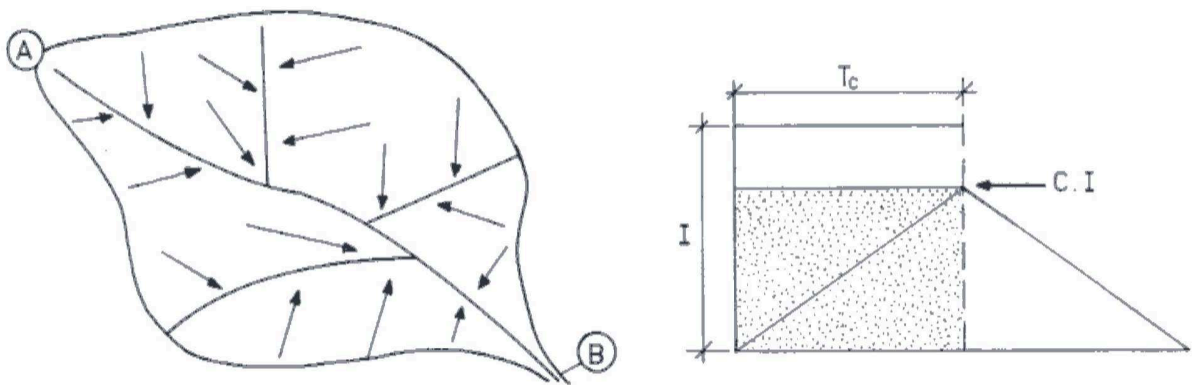
Foram usados também, na implantação do sistema: nível de pedreiro de bolha para o nivelamento correto dos anéis no solo, saco de lixo para evitar a imediata infiltração da água no anel interno durante o primeiro abastecimento, um pedaço de sarrafo de 15 cm e 1 polegada de espessura, aproximadamente, para evitar deformação nos anéis. Esse conjunto de materiais teve por finalidade aproximar ao máximo a infiltração da água de uma situação real, possibilitando que os dados gerados estejam representando o processo sem desvios acentuados, reafirmando a boa adequação do método.

4.6 DETERMINAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: MÉTODO CURVA-NÚMERO

4.6.1 Cálculo do Tempo de Concentração

O tempo de concentração é definido como o tempo necessário para a água que se desloca do ponto mais distante até a saída da bacia e se constitui em uma importante característica hidrológica da bacia. Este é o princípio que dá base para o método racional e significa que a mais elevada vazão ou escoamento da bacia ocorre em resposta a uma chuva intensa com duração igual ao tempo de concentração (SMEDEMA e RYCROFT, 1983).

Uma representação do desenvolvimento do escoamento, na bacia em função do método racional, é demonstrado na Figura 14.



□

Figura 14 – Concentração do escoamento em uma bacia (Smedema e Rycroft, 1983)

No presente trabalho, adotou-se o tempo de duração da chuva como sendo igual ao tempo de concentração e para o cálculo do escoamento superficial pelo método Curva-Número, utilizou-se a formula de Kirpich, Tucci *et al.*, (2000) para a determinação do tempo de concentração.

$$t_c = 57 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0,385}$$

Em que,

t_c = tempo de concentração (min).

L= comprimento do curso d'água (km).

H= diferença de altitude entre a nascente e a foz (m).

Segundo Corrêa (2001) para o Itaim, L=21 km, H = 483m (1060 – 577),

resultando um $t_c = 178 \text{ min} \cong 3 \text{ hs}$.

4.6.2 Cálculo do escoamento superficial (Q) pela equação do NRCS

O escoamento superficial foi calculado para o tempo de concentração da bacia do Itaim e precipitações máximas variando de 2 a 50 anos (Tabela 5) obtida de Martinez Junior e Magni (1999).

Tabela 5 - Previsão de máximas alturas de chuva (mm) para Taubaté, SP em função do período de retorno e da duração da chuva

Duração t (minutos)	Período de retorno T (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	14,8	19,8	23,1	25,0	26,3	27,3	30,4	33,4	36,5
20	24,0	31,7	36,7	39,6	41,6	43,1	47,9	52,6	57,3
30	30,2	39,6	45,8	49,3	51,8	53,6	59,5	65,2	71,0
60	41,0	53,2	61,3	65,8	69,0	71,5	79,1	86,6	94,1
120	50,1	64,8	74,5	80,0	83,8	86,8	95,9	104,9	113,9
180	54,4	70,3	80,8	86,7	90,9	94,1	103,9	113,7	123,5
360	59,9	77,6	89,3	95,9	100,5	104,1	115,1	126,0	136,8
720	63,7	83,0	95,7	102,9	108,0	111,9	123,8	135,7	147,5
1080	65,4	85,6	98,9	106,4	117,7	115,8	128,3	140,7	153,1
1440	66,5	87,3	101,0	108,8	114,2	118,4	131,2	144,0	156,8

Fonte: Martinez Junior & Magni (1999)

A determinação dos valores de CN, segundo Machado (2002), foi baseada, nas observações de Setzer e Porto (1979) em que foram estabelecidas diversas condições hidrológicas e coberturas de solos para bacias rurais e urbanas através de tabelas do NRCS.

Para calcular o escoamento superficial (Q), utilizou-se as Equações 3 e 4 do Método Curva-Número. Foram comparados os escoamentos obtidos para as precipitações máximas de tempo de duração (180 min) para Taubaté (bacia do Itaim) em função do tempo de retorno ($T_r = 2, 5, 10, 15, 25, 50$ anos), adotando-se o modo de obtenção dos parâmetros CN e S do método Curva-Número conforme demonstrado na Tabela 6.

A Infiltração Potencial (S), nesta metodologia, é obtida por meio da Equação 4 em função de parâmetro CN obtido na Tabela 9.

Neste trabalho, a Infiltração potencial (S) foi obtida de dois modos: o primeiro por meio da equação 4, e o segundo pela adoção do valor da infiltração acumulada (Iac) medida em campo como infiltração potencial.

Tabela 6 – Modo de obtenção dos parâmetros CN e S do método Curva-Número para determinação do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Itaim

Uso e cobertura e pontos de infiltração	CN ponderado pela área	S obtido pelo $CN_{ponderado}$	CN atribuído 70%área	S obtido pelo CN atribuído 70% área	S obtido campo
Ponderado	X	X			
Pasto sujo ponderado			X	X	
Pasto sujo (1)					X
Pastos sujo (2)					X
Pasto sujo (3)					X
Pasto sujo (4)					X
Pasto sujo (5)					X
Pasto sujo (6)					X

A determinação do valor do número da curva para ser aplicado na Equação 4, por meio da ponderação das áreas de cada classe de cobertura do solo existentes, na bacia, (CN_{pond}) foi feito conforme a Equação 6, o que possibilita uma estimativa do escoamento superficial mais aproximado da realidade.

$$CN_{pond} = \frac{\sum (CN_c(A_c))}{Area_t} \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

CN_{pond}= Valor do Número da Curva ponderado, adimensional.

CN_c = Valor do número da curva de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional.

A_c = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em ha.

A_t = Área total da bacia, em ha.

Contudo, o valor do número da curva CN precisa ser obtido, da Tabela 8, em função do tipo de uso e cobertura do solo, do tipo de superfície do solo e de sua condição hidrológica, associados ao grupo de solo.

Machado (2002) sugere que seja adotado o enquadramento dos solos de São Paulo em quatro grupos hidrológicos, conforme Tabela 7. O autor ressalta a importância desta classificação estar associada às distintas produções de escoamento de cada grupo. Na tabela 9, estão os valores de CN para cada classe de uso e cobertura do solo e o ponderado para a bacia. Aguiar e Targa (2004) estudando os solos da bacia, classificaram os mesmos como predominantemente pertencentes ao Grupo C.

Tabela 7 – Grupos hidrológicos de solos definidos para o Estado de São Paulo

Grupos Hidrológicos de Solo	
Grupo A:	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
Grupo B:	Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
Grupo C:	<i>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.</i>
Grupo D:	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros CN - (Setzer & Porto, 1979)

Cobertura vegetal ou tipo de uso de solo	Condição da superfície	Situação hidrológica	Grupo hidrológico do solo			
			A	B	C	D
Solo arado ou quase sem cobertura	SR	Má	65	80	88	92
	SR	Boa	65	78	86	90
Cultivo de ciclo curto e arações freqüentes	SR	Má	60	72	81	87
	SR	Boa	52	66	75	82
	C	Má	56	65	78	84
	C	Boa	48	60	72	78
	C-T	Má	52	62	74	80
	C-T	Boa	45	55	67	75
Cultivos de ciclo médio e arações anuais	SR	Má	58	65	73	82
	SR	Boa	54	62	70	79
	C	Má	55	64	72	78
	C	Boa	50	60	67	75
	T	Má	52	62	70	77
	T	Boa	48	55	65	73
Semeadura densa ou a lanço; cobertura curta, mas densa, como a das leguminosas e dos pastos em rodízio	SR	Má	56	64	72	80
	SR	Boa	50	58	66	76
	C	Má	54	60	69	76
	C	Boa	48	56	64	72
	T	Má	50	58	65	75
	T	Boa	45	52	60	70
Pastagem velha com arbustos		Má	65	70	78	85
		Boa	60	66	75	82
		Má	56	62	72	79
	C	Boa	55	62	70	78
	C	Má	42	59	67	75
	C	Boa	50	56	64	72
Reflorestamento	SR	Má	35	50	62	74
	SR	Boa	30	42	55	68
	C	Má	30	45	57	69
	C	Boa	25	36	52	64
Mata ou Capoeira Velha		Má	32	40	55	67
		Boa	18	25	42	58
Gramados Tratados		Má	65	72	78	84
		Boa	59	67	74	81
Estradas de Terra		Má	80	85	90	93
		Boa	74	80	85	90

Notas: SR=sulcos retos; T=terraceamento; C=cultivo em contorno, paralelamente às curvas de nível.
 Para estradas de terra: SR=quando a água é alojada ao pé do barranco; C=quando não atravessa a estrada.
 Fonte Setzer & Porto (1979).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo o método Curva-Número do NRCS para a determinação do escoamento superficial, obteve-se primeiramente o valor do CN_{pond}, para toda a bacia. Em função dos valores de CN de cada classe de uso e cobertura do solo utilizados (Tabela 9), resultou, no valor de CN_{pond} de 66,57, o qual foi aplicado à Equação 4 e determinou-se o valor de infiltração potencial S de 127,55 mm.

Tabela 9 – Classes de uso do solo (Aguiar, *et al.* 2004), condição hidrológica adotada e respectivos valores de CN para a bacia do Ribeirão Itaim

Classes	2003		Condição Hidrológica	CN	
	Área em ha	%		Sigla	Valor
Pasto sujo	2.053	35,4	Boa	CN _{ps}	75
Pastagem	526	9,1	Ruim	CN _p	86
Floresta	751	12,9	Boa	CN _f	55
Vegetação Natural em Regeneração	1.563	26,9	Boa	CN _{vnr}	42
Solo Nu	534	9,2	Boa	CN _{sn}	88
Reflorestamento	12	0,2	Boa	CN _r	55
Urbana	363	6,2	65%Impermeável	CN _u	90
Cultura anual	3	0,0005	Boa	CN _{an}	70
Água	4	0,1			
Área total das classes	5.809	100		CN_{pond}	66,57

Na Tabela 10 e na Figura 15, são mostrados os dados e o resultado do teste de infiltração realizado no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, em uma área utilizada para o plantio de culturas anuais nos últimos cinco anos, e que, no período do teste, estava com restos da cultura do milho. Esse teste foi realizado em uma área de intenso trânsito de máquinas, em função dos plantios sucessivos.

Tabela 10 – Resultados do teste de infiltração em área de cultura de milho no ponto 1

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
10:35	0		12,5	0		
10:40	5	5,00	11,7	0,8	8	1,60
10:45	5	10,00	10,4/12,5*	1,3	21	2,10
10:55	10	20,00	11,2	1,3	34	1,70
11:05	10	30,00	9,2/12,5*	2,0	54	1,80
11:15	10	40,00	11,1	1,4	68	1,70
11:25	10	50,00	10,0/12*	1,1	79	1,58
11:35	10	60,00	10,5/12,7*	1,5	94	1,57
11:45	10	70,00	11,5	1,2	106	1,51
11:55	10	80,00	10	1,5	121	1,51

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observa-se, na Tabela 10 e na Figura 15, que a velocidade de infiltração básica (VIB) refere-se ao momento em que a infiltração atinge um valor de velocidade constante. Neste teste, a estabilização da infiltração, ocorreu no tempo 80 minutos e neste tempo a infiltração acumulada foi de 121 mm. Para o solo em questão, a VIB foi de 1,51 mm/min ou 90,6 mm/h, o que classifica o solo como tendo uma velocidade de infiltração muito alta Reichardt (1987). Este teste, entretanto, teve a função de treinamento da metodologia e seus dados não foram utilizados na análise do escoamento superficial e observa-se, pela Figura 15, que os dados apresentaram um bom ajuste a uma equação do tipo potencial.

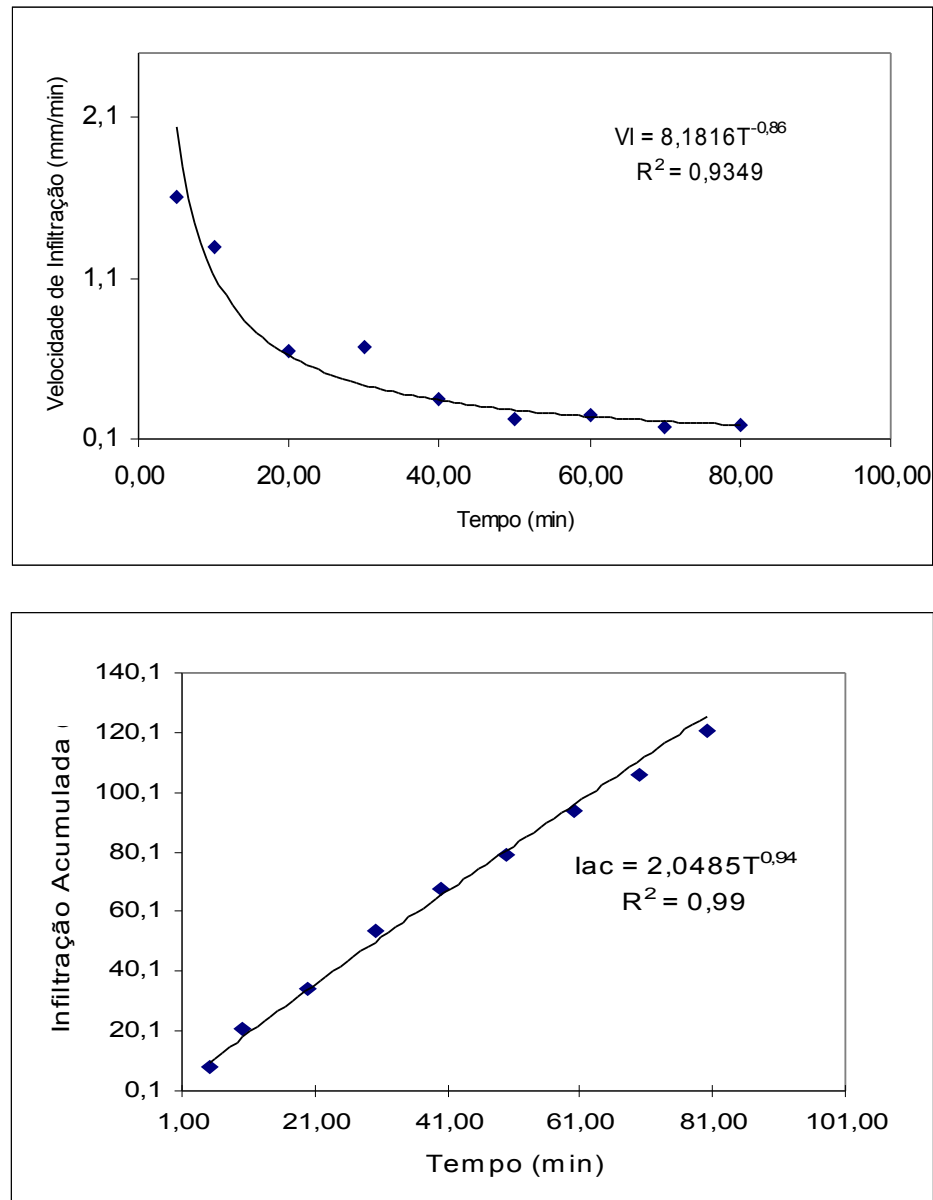


Figura 15 - Curvas características da velocidade de infiltração e infiltração acumulada em área de cultivo de milho no ponto 1

Dados referentes aos testes de infiltração de água no solo, em área com cobertura de pupunha nos pontos 1, 2 e 3, são encontrados nas Tabelas 11, 12 e 13, enquanto as curvas de velocidade de infiltração e infiltração acumulada para os mesmos pontos são encontradas nas Figuras 16, 17 e 18 respectivamente. Estes testes, entretanto, também tiveram a função de

treinamento da metodologia e seus dados não foram utilizados na análise do escoamento superficial da bacia do Itaim.

Tabela 11 – Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 1

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
12:28			15			
12:58	30,0	30,0	13,7	1,3	13,00	0,43
13:28	30,0	60,00	12,9	0,8	21,00	0,35
13:58	30,0	90,00	12,2/15*	0,7	28,00	0,31
14:28	30,0	120,00	14,5	0,5	33,00	0,28
14:58	30,0	150,00	14,1	0,4	37,00	0,25
15:28	30,0	180,00	13,7/15*	0,4	41,00	0,23
15:58	30,0	210,00	14,7	0,3	44,00	0,21
16:28	30,0	240,00	14,3	0,4	48,00	0,20
16:58	30,0	270,00	13,9	0,4	52,00	0,19

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observa-se, na Tabela 11 e na Figura 16, que a velocidade de infiltração da água no ponto 1, da área de cultivo de pupunha, apresentou tendência de estabilização por volta do tempo 150 minutos, apresentando um valor de Infiltração acumulada de 52 mm e que o tempo total do teste foi de 270 minutos. A velocidade de infiltração básica foi de 0,19 mm/min ou 11,4 mm/h o que caracteriza o solo como tendo uma taxa de infiltração média Reichardt (1987).

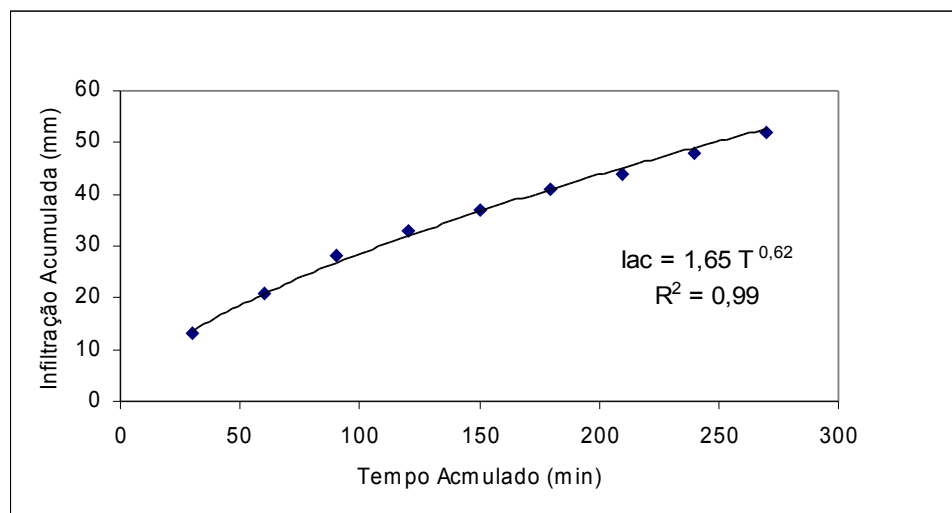
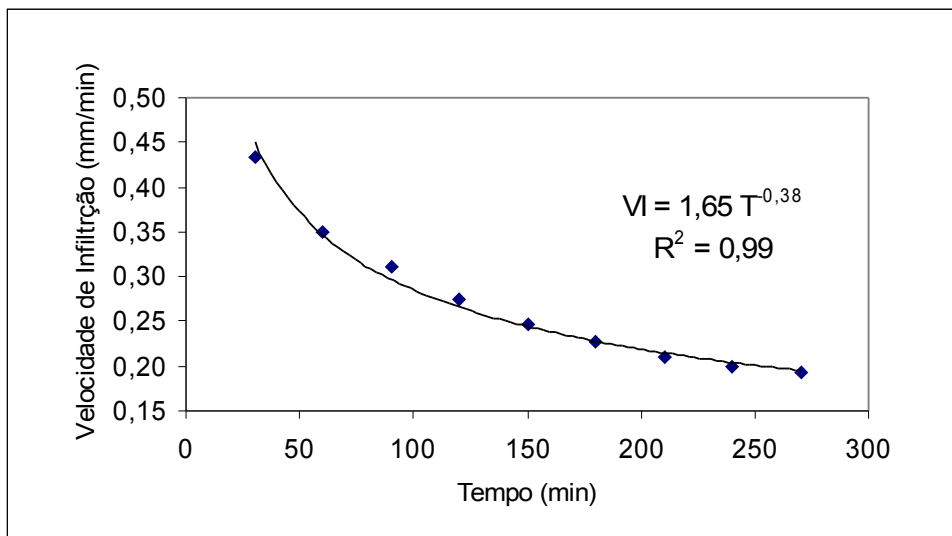


Figura 16 – Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada com cobertura de Pupunha no ponto 1

Tabela 12 – Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 2

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
08:05			15			
09:05	60,0	60,0	3,5	11,5	115,00	1,9
09:35	30,0	90,0	0,5/15*	3	145,00	1,6
10:05	30,0	120,0	11	4	185,00	1,5
10:35	30,0	150,0	6,9	4,1	226,00	1,5
11:05	30,0	180,0	4,8/15*	2,1	247,00	1,4
11:35	30,0	210,0	11,4	3,6	283,00	1,3
12:05	30,0	240,0	8	3,4	317,00	1,3
12:35	30,0	270,0	5,3/15*	3,3	350,00	1,3
13:22	47,0	317,0	9,5	5,5	405,00	1,3
13:52	30,0	347,0	6,9	2,6	431,00	1,2
14:22	30,0	377,0	4,2/15*	2,7	458,00	1,2
14:52	30,0	407,0	11,7	3,3	491,00	1,2
15:22	30,0	437,0	8,3	3,4	525,00	1,2
15:52	30,0	467,0	4,9	3,4	559,00	1,2

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Com relação ao segundo ponto de teste de infiltração em área com cobertura vegetal de pupunha, na Tabela 12 e na Figura 17, observa-se que a infiltração estabilizou aos 467 minutos de teste, apresentando um valor de infiltração acumulada, de 559 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 1,2 mm/min ou 72 mm/h, o que demonstra, segundo Reichardt (1987), que a taxa de infiltração é muito alta para este ponto da área do teste.

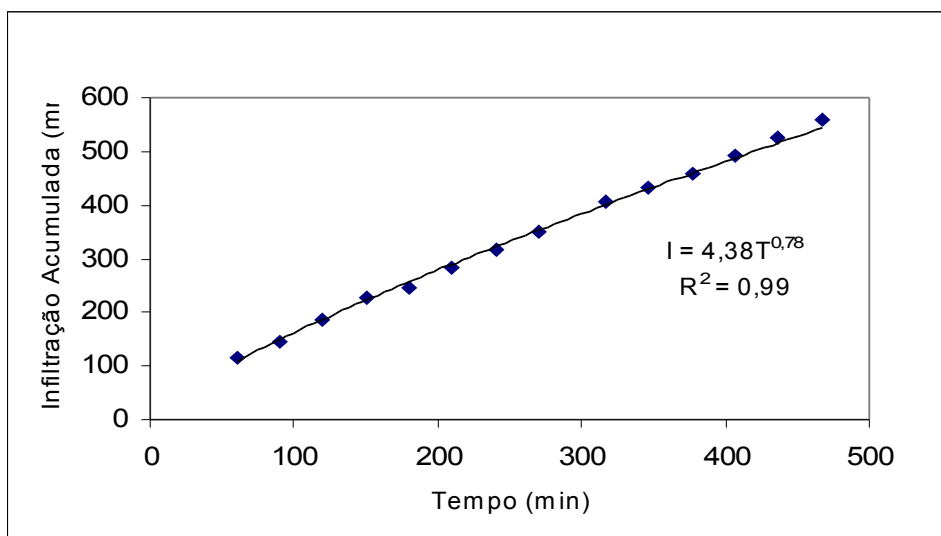
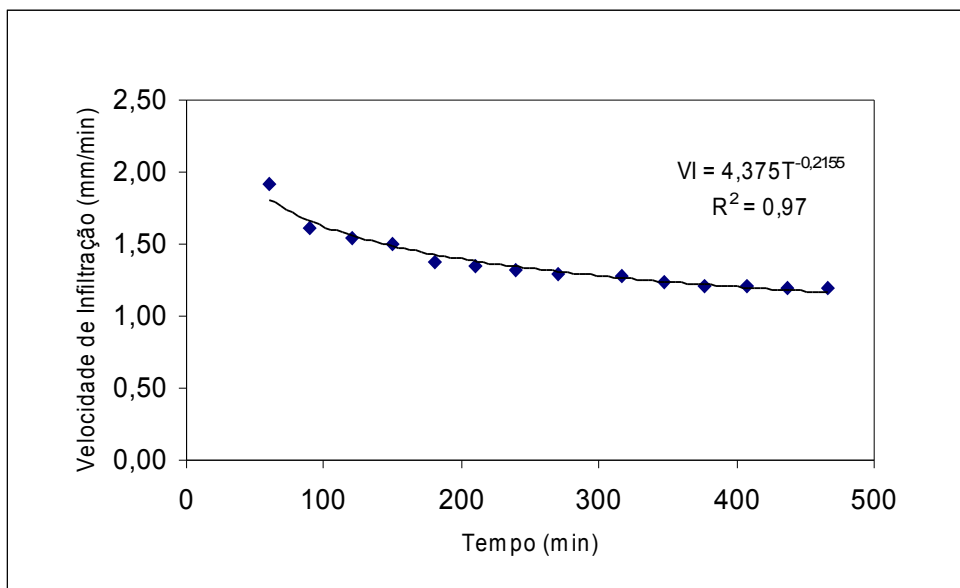


Figura 17 - Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de Pupunha no ponto 2

Tabela 13 – Resultados do teste de infiltração em área com cobertura de Pupunha no ponto 3

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
10:58	0	0	13,0	0,00		
11:01	3	3,00	11,5	1,50	15,00	5
11:05	4	7,00	10,0/12,5*	1,50	30,00	4,29
11:09	4	11,00	11	1,50	45,00	4,09
11:17	8	19,00	8,4	2,60	71,00	3,74
11:25	8	27,00	5,9/12,5*	2,50	96,00	3,56
11:33	8	35,00	9,90	2,60	122,00	3,49
11:43	10	45,00	6,9	3,00	152,00	3,38
11:53	10	55,00	4,5/12,9*	2,40	176,00	3,2
12:03	10	65,00	9,7	3,20	208,00	3,2
12:18	15	80,00	5,0/12,8*	4,70	255,00	3,19
12:33	15	95,00	8,4	4,40	299,00	3,15
12:48	15	110,00	4,5/13,1*	3,90	338,00	3,07
13:03	15	125,00	8,5	4,60	384,00	3,07
13:18	15	140,00	4,5/12,3*	4,00	424,00	3,03
13:33	15	155,00	8,3	4,00	464,00	2,99
13:48	15	170,00	4,8/13,0*	3,50	499,00	2,94
14:03	15	185,00	8,8	4,20	541,00	2,92
14:18	15	200,00	5,0/13,2*	3,80	579,00	2,9
14:35	17	217,00	8,1	5,10	630,00	2,9
14:50	15	232,00	4,8/12,0*	3,30	663,00	2,86
15:05	15	247,00	8,4	3,60	699,00	2,83
15:20	15	262,00	4,8/12,1*	3,60	735,00	2,81
15:35	15	277,00	5,5/12,6*	6,60	801,00	2,89
15:47	12	289,00	5,5/12,6*	7,10	872,00	3,02
16:02	15	304,00	8,9	3,70	909,00	2,99
16:17	15	319,00	5,4/12,4*	3,50	944,00	2,96
16:35	18	337,00	8,8	3,60	980,00	2,91
16:50	15	352,00	4,9/13,3*	3,90	1019,00	2,89
17:00	10	362,00	10,6	2,70	1046,00	2,89
17:10	10	372,00	8,1	2,50	1071,00	2,88
17:20	10	382,00	5,9/12,5*	2,20	1093,00	2,86
17:30	10	392,00	9,9	2,60	1119,00	2,85
17:40	10	402,00	7,5/12,4*	2,40	1143,00	2,84
17:50	10	412,00	10	2,40	1167,00	2,83

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observa-se, na Tabela 13 e na Figura 18, que a infiltração do solo, no teste realizado em cobertura vegetal de pupunha no ponto 3, atingiu a estabilização por volta dos 400 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada de 1167 mm. A velocidade de

infiltração básica foi de 2,83 mm/min ou 62,83 mm/hora, que significa que, neste local, a infiltração é alta. Esse comportamento da infiltração, nesse tipo de cobertura, pode estar associado aos atributos físicos do solo e ao agressivo sistema radicular da pupunha, o que sugere que, além da percolação vertical, tem-se uma percolação lateral.

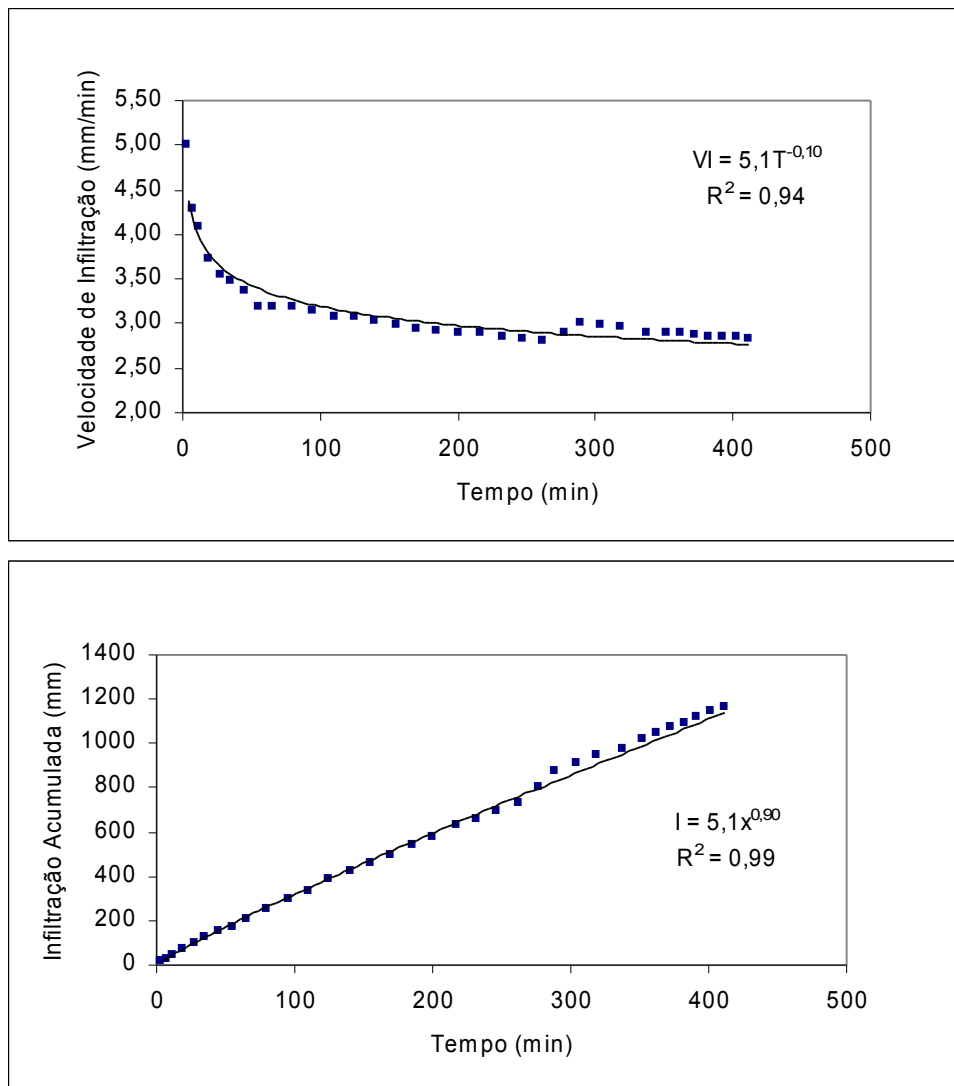


Figura 18 - Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de Pupunha no ponto 3

Na curva da Figura 18, observou-se, uma boa precisão na coleta dos dados experimentais conforme comprova o coeficiente de determinação (r^2). Além de se considerar as diferenças das características do solo, variabilidade espacial, densidade, textura e outros fatores, é importante ressaltar a alta capacidade de armazenamento de água que este tipo de cobertura propicia, ou seja, se for considerada uma precipitação dessa intensidade, toda água precipitada se infiltra.

A boa cobertura vegetal da pupunha propicia proteção contra o impacto das gotas de chuva e, considerando a presença de matéria orgânica vegetal, associada ao sistema radicular característico dessa planta, pode-se inferir que há aumento da permeabilidade do solo, interferindo na velocidade do fluxo.

As características botânicas desse tipo de cobertura sugerem um comportamento semelhante em áreas de floresta, o que denota a importância de se estender os testes em locais com composição vegetal semelhante. No caso da bacia do Itaim, será adequado esse estudo nas áreas com vegetação natural em regeneração, que possuem significativa abrangência na bacia. Esse valor representa que nesse momento, a capacidade de suporte desse tipo de cobertura é suficiente para uma chuva com essa intensidade, portanto os dados gerados nesse tipo de cobertura podem servir como parâmetro em estudos de infiltração em áreas de floresta, ou de culturas que apresentem dossel semelhante; os atributos físicos do solo da área devem ser criteriosamente avaliados nesse tipo de comparação.

Nas tabelas 15, 16, 17, 18, 19, 20 e Figuras 20, 21, 22, 23, 24 e 25, são encontrados os resultados dos testes de infiltração realizados em área de pasto sujo. Esta área está localizada, no quadrante noroeste do Departamento de Ciências Agrárias, acesso pela estrada municipal. Dr. José Luiz Cembranelli, conforme a figura 19. A topografia da área é ondulada, a altitude dos pontos onde foram realizados os testes varia entre 567 e 580 m, e as coordenadas geográficas dos seis pontos são mostradas na tabela 14.

Tabela 14 – Coordenadas Geográficas, em UTM, dos pontos onde foram realizados os testes de infiltração (Zona 23 - Hemisfério Sul – DATUM WGS 84)

Cobertura	E	N
Pasto Sujo 1	0446996	7452890
Pasto Sujo 2	0447015	7452818
Pasto Sujo 3	0446950	7452846
Pasto Sujo 4	0446987	7452868
Pasto Sujo 5	0446964	7452885
Pasto Sujo 6	0447041	7452848

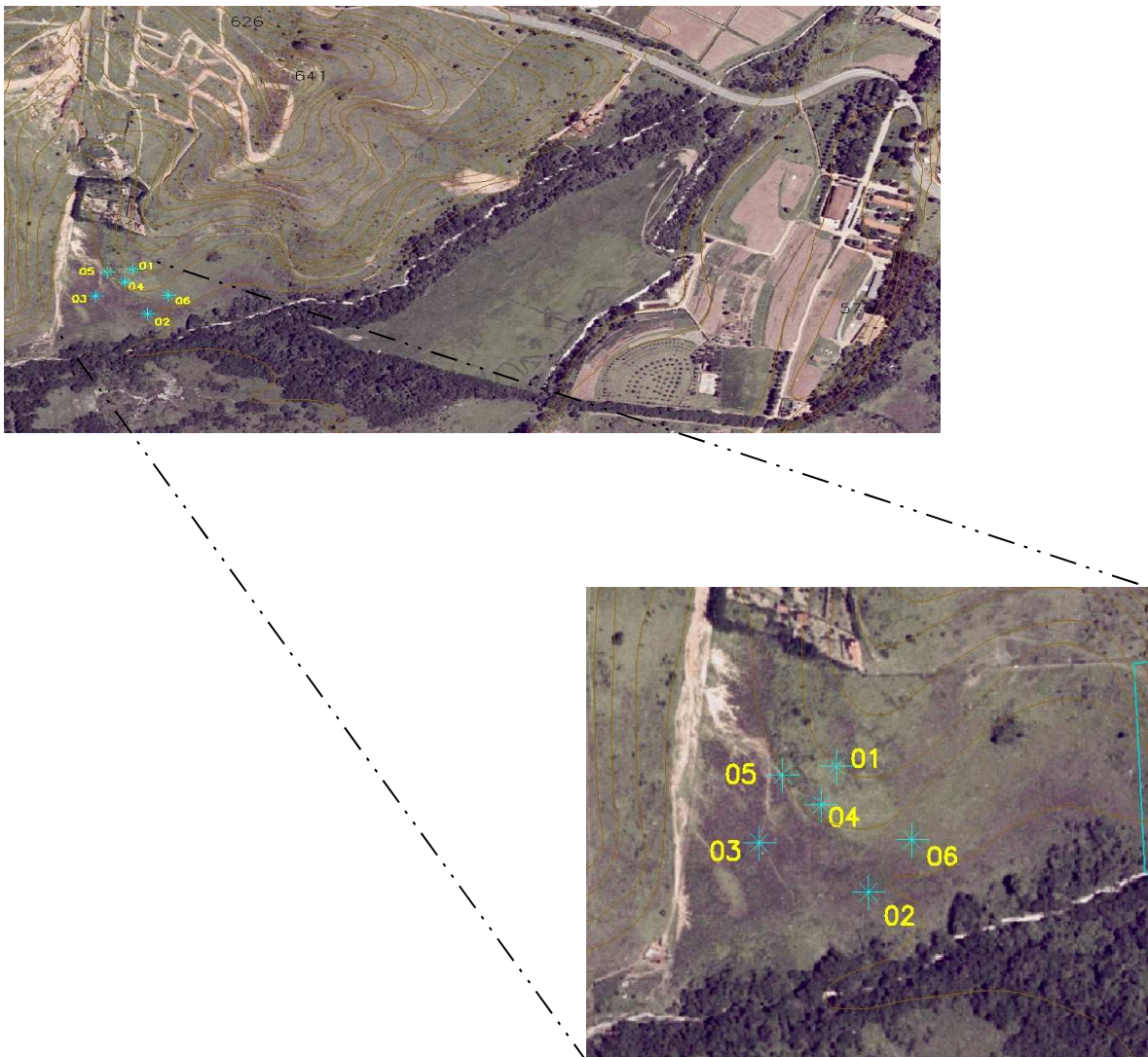


Figura 19 – Vista aérea da área com cobertura de pasto sujo dentro do Departamento de Ciências Agrárias, ressaltando os seis pontos onde os testes de infiltração foram realizados.

Esse tipo de uso e cobertura do solo foi priorizado, neste estudo, considerando que a pastagem é a cobertura mais representativa na bacia do Itaim. Na área onde foram realizados os testes, não há, atualmente, ação de pisoteio de animais, nem compactação pelo trânsito de máquinas, entretanto os dados gerados pelo IANC permitirão uma avaliação mais criteriosa da condição da infiltração e do escoamento nesta área, que pode ser gerado neste significativo tipo de cobertura do solo na bacia.

Tabela 15 - Resultados do teste de infiltração em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 1

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
10:00	0		13			
10:05	5	5,00	12,8	0,2	2,00	0,40
10:10	5	10,00	12,7	0,1	3,00	0,30
10:15	5	15,00	12,5	0,2	5,00	0,33
10:25	10	25,00	12,5/13*	0	5,00	0,20
10:35	10	35,00	12,9	0,1	6,00	0,17
11:00	15	50,00	12,50	0,4	10,00	0,20
11:30	30	80,00	12,2	0,3	13,00	0,16
12:00	30	110,00	11,9/13,1*	0,3	16,00	0,15
12:30	30	140,00	12,8	0,3	19,00	0,14
13:00	30	170,00	12,5	0,3	22,00	0,13

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observa-se, na Tabela 15 e na Figura 20, que a infiltração do solo, no teste conduzido na cobertura vegetal pasto sujo 1, estabilizou-se aos 170 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada de 22 mm. A velocidade de infiltração básica, neste teste, foi de 0,13 mm/min ou 7,8 mm/h, o que segundo Reichardt (1987) (Tabela 1), classifica esse solo com infiltração média.

Tabela 16 – Resultados do teste de infiltração em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 2

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
09:00	0		14,0			
09:05	5	5,00	13,8	0,2	2,00	0,40
09:10	5	10,00	13,7	0,1	3,00	0,30
09:15	5	15,00	13,5	0,2	5,00	0,33
09:20	5	20,00	13,3 / 14,0*	0,2	7,00	0,35
10:00	40	60,00	13,7	0,3	10,00	0,17
10:30	30	90,00	13,5	0,2	12,00	0,13
11:00	30	120,00	13,4	0,1	13,00	0,11
12:00	60	180,00	13,0 / 14,0*	0,4	17,00	0,09
13:00	60	240,00	13,8	0,2	19,00	0,08
14:00	60	300,00	13,5	0,3	22,00	0,07

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observou-se, na Tabela 16 e na Figura 21, que a infiltração do solo, no teste realizado em cobertura vegetal pasto sujo 2, estabilizou-se aos 255 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada de 22 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 0,07 mm/min ou 4,2 mm/h, o que demonstra, segundo Reichardt (1987) (Tabela 1).

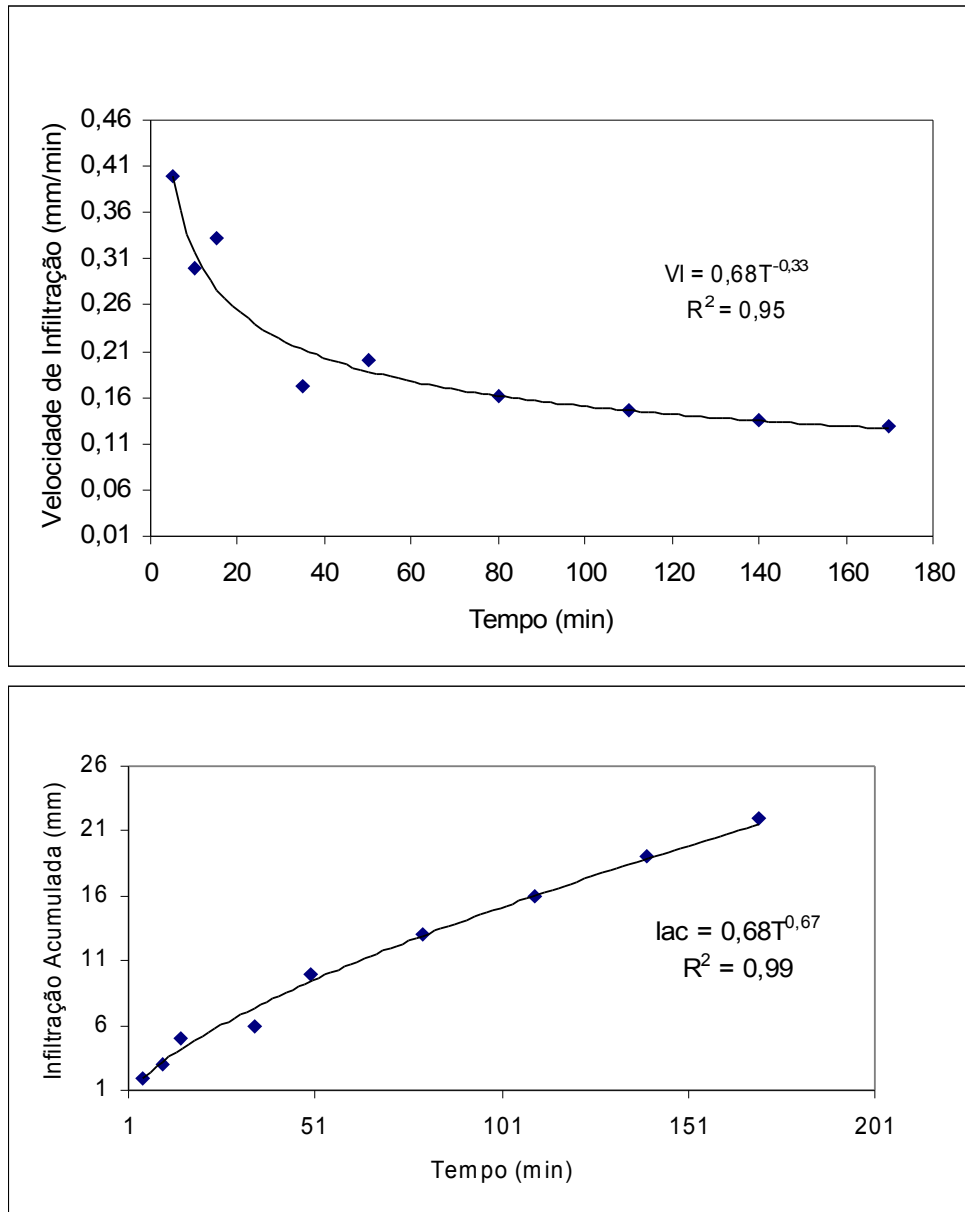
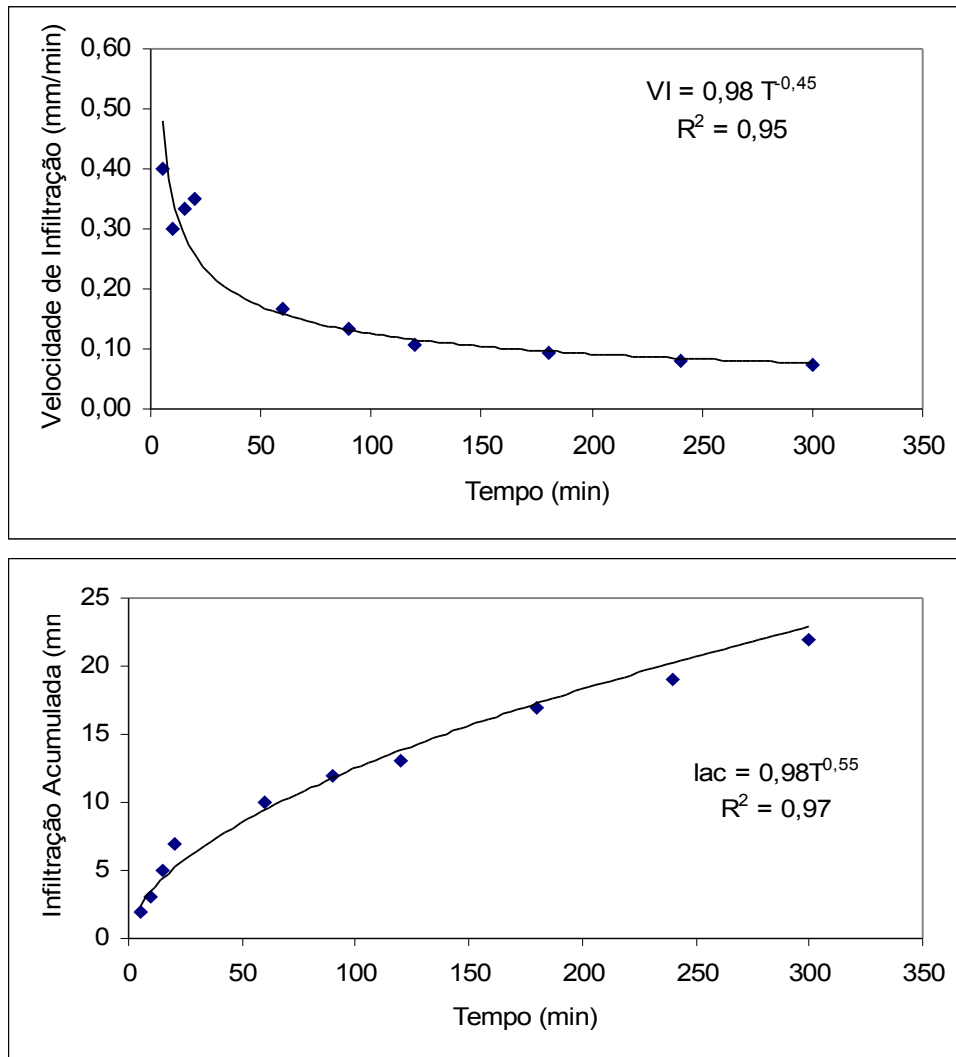


Figura 20 – Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 1



Figuras 21 – Velocidade de infiltração em função do tempo e infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 2

Tabela 17 - Resultados do teste de infiltração realizado em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 3

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
09:57	0		13,4			
10:07	10	10,00	12,9	0,5	5,00	0,50
10:17	10	20,00	12,5	0,4	9,00	0,45
10:27	10	30,00	12,0 / 13,5*	0,5	14,00	0,47
10:37	10	40,00	13,2	0,3	17,00	0,43
10:47	10	50,00	13,0	0,2	19,00	0,38
10:57	10	60,00	12,5	0,5	24,00	0,40
11:07	10	70,00	12,2 / 13,5*	0,3	27,00	0,39
11:17	10	80,00	13,4	0,1	28,00	0,35
11:27	10	90,00	13,0	0,4	32,00	0,36
11:37	10	100,00	12,8	0,2	34,00	0,34
11:47	10	110,00	12,5 / 13,5*	0,3	37,00	0,34
11:57	10	120,00	13,3	0,2	39,00	0,33
12:07	10	130,00	13	0,3	42,00	0,32
12:17	10	140,00	12,9	0,1	43,00	0,31
12:27	10	150,00	12,6 / 13,5*	0,3	46,00	0,31
12:37	10	160,00	13,4	0,1	47,00	0,29
12:47	10	170,00	13,3	0,1	48,00	0,28
12:57	10	180,00	13,1	0,2	50,00	0,28
13:07	10	190,00	12,9 / 13,5*	0,2	52,00	0,27
13:17	10	200,00	13,4	0,1	53,00	0,27
13:27	10	210,00	13,2	0,2	55,00	0,26
13:37	10	220,00	13	0,2	57,00	0,26

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

Observa-se, na Tabela 17 e na Figura 22, que a infiltração do solo, no teste realizado em cobertura vegetal pasto sujo 3, estabilizou-se aos 220 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada de 57 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 0,26 mm/min ou 15,6 mm/h, o que segundo Reichardt (1987) (Tabela 1) classifica esse solo com alta infiltração.

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
09:50			14,2			
10:00	10	10,00	14,0	0,2	2,00	0,20
10:10	10	20,00	13,9	0,1	3,00	0,15
10:20	10	30,00	13,8	0,1	4,00	0,13
10:30	10	40,00	13,7 / 14,2*	0,1	5,00	0,13
11:00	30	70,00	13,8	0,4	9,00	0,13
11:30	30	100,00	13,6	0,2	11,00	0,11
12:00	30	130,00	13,5	0,1	12,00	0,09
12:30	30	160,00	13,3 / 14,2*	0,2	14,00	0,09
13:00	30	190,00	14,1	0,1	15,00	0,08

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

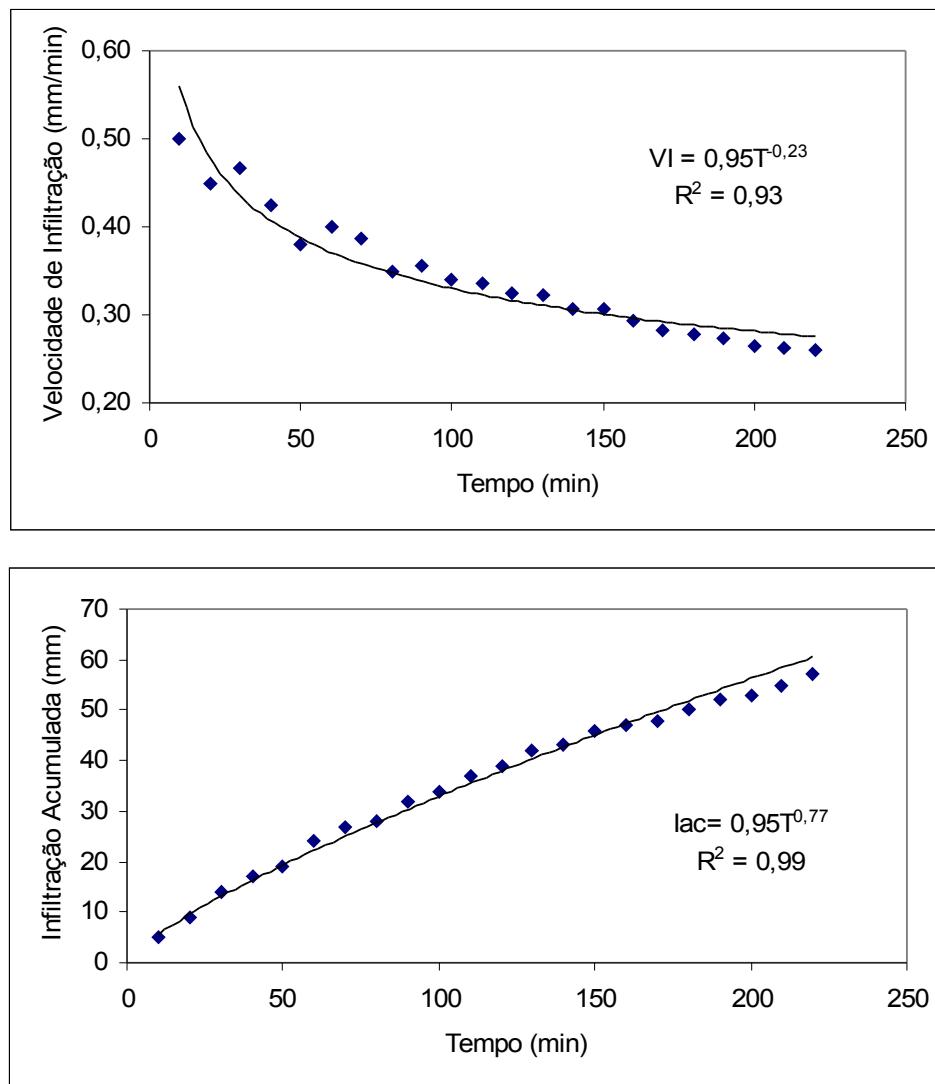


Figura 22 – Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 3

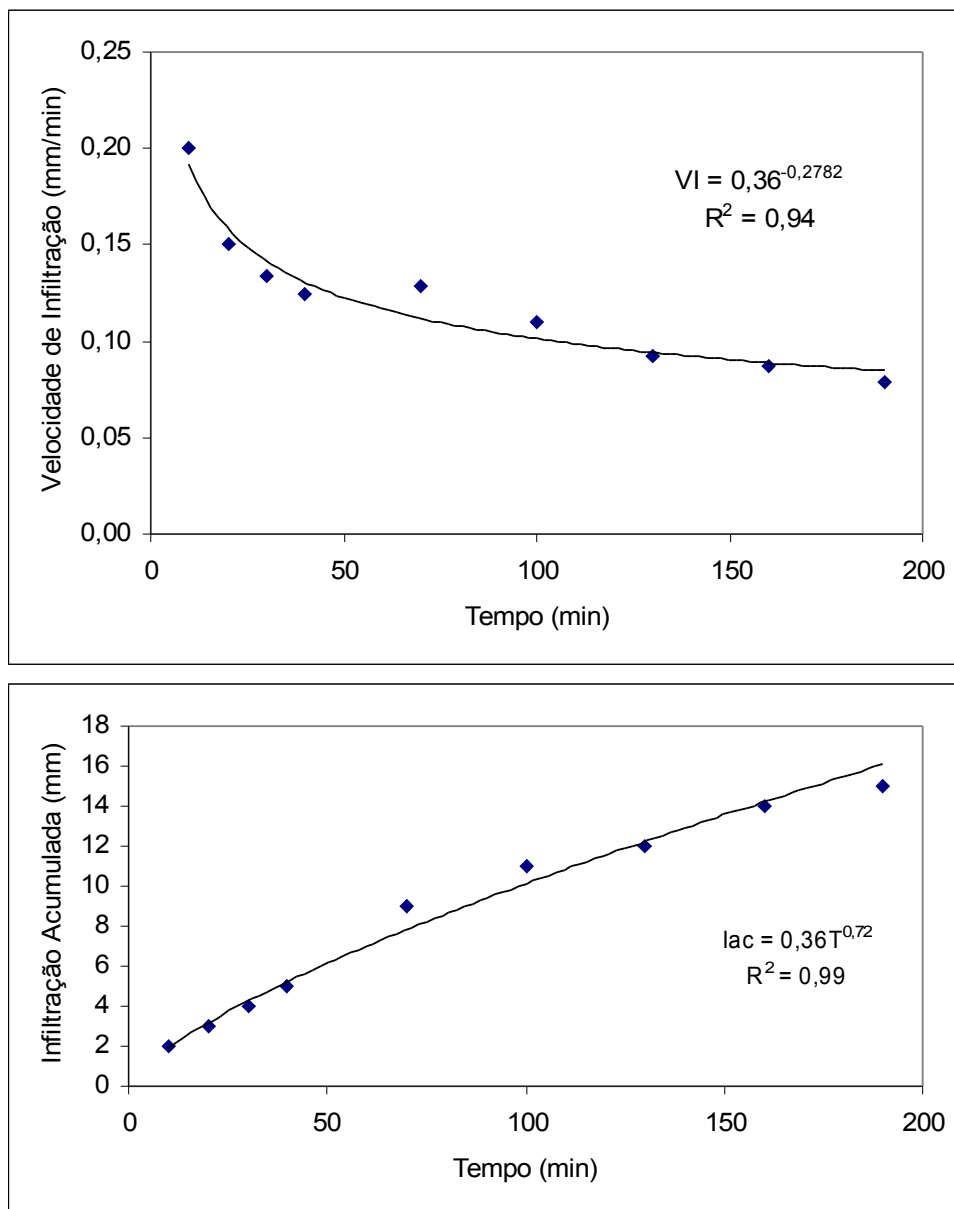


Figura 23 – Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 4

Observa-se, na Tabela 18 e na Figura 23, que a infiltração do solo no teste realizado em cobertura vegetal pasto sujo 4, apresentou estabilização aos 160 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada (infiltração potencial) de 15 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 0,08 mm/min ou 4,8 mm/h, que segundo a classificação de Reichardt (1987) (Tabela 1) considera esse solo de baixa infiltração.

Tabela 19 – Resultados do teste de infiltração realizado em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 5

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
09:49	0		13,0			
09:54	5	5,00	12,8	0,2	2,00	0,40
09:59	5	10,00	12,7	0,1	3,00	0,30
10:04	5	15,00	12,6 / 13,1*	0,1	4,00	0,27
10:14	10	25,00	13,0	0,1	5,00	0,20
10:24	10	35,00	12,9	0,1	6,00	0,17
10:54	30	65,00	12,5	0,4	10,00	0,15
11:24	30	95,00	12,2 / 13,1*	0,3	13,00	0,14
11:54	30	125,00	12,8	0,3	16,00	0,13
12:54	60	185,00	12,4	0,4	20,00	0,11
13:54	60	245,00	11,8	0,6	26,00	0,11

* significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

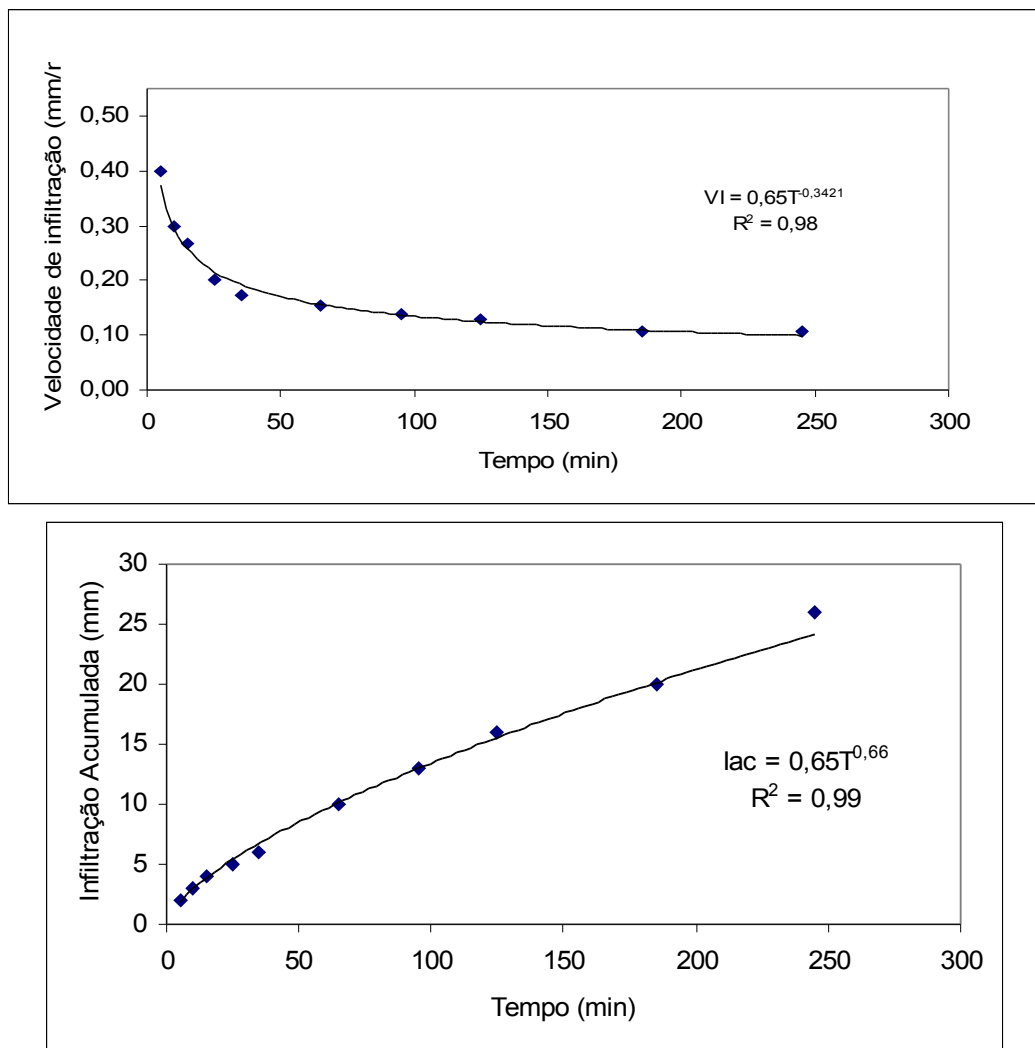


Figura 24 - Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 5

Observa-se, na Tabela 19 e na Figura 24, que a infiltração do solo, no teste realizado em cobertura vegetal pasto sujo 5, estabilizou-se aos 245 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada (infiltração potencial) de 26 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 0,11 mm/min ou 6,6 mm/h, que segundo a classificação de Reichardt (1987) (Tabela 1), considera esse solo de baixa infiltração.

Tabela 20 – Resultados do teste de infiltração realizados em cobertura vegetal do tipo pasto sujo 6

Tempo (horas)	Diferença Tempo (min)	Tempo Acumulado (min)	Altura Infiltrada (cm)	Diferença Altura Infiltrada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)	Velocidade Infiltração (mm/min)
09:23	0		13,4			
09:28	5	5,00	13,3	0,1	1,00	0,20
09:33	5	10,00	13,2	0,1	2,00	0,20
09:43	10	20,00	13	0,2	4,00	0,20
09:53	10	30,00	12,9/13,4*	0,1	5,00	0,17
10:23	30	60,00	13,2	0,2	7,00	0,12
10:53	30	90,00	13,00	0,2	9,00	0,10
11:23	30	120,00	12,9	0,1	10,00	0,08
12:23	60	170,00	12,7/13,4*	0,2	12,00	0,07
13:23	60	230,00	13	0,4	16,00	0,07

*significa valor correspondente ao reabastecimento de água no cilindro interno

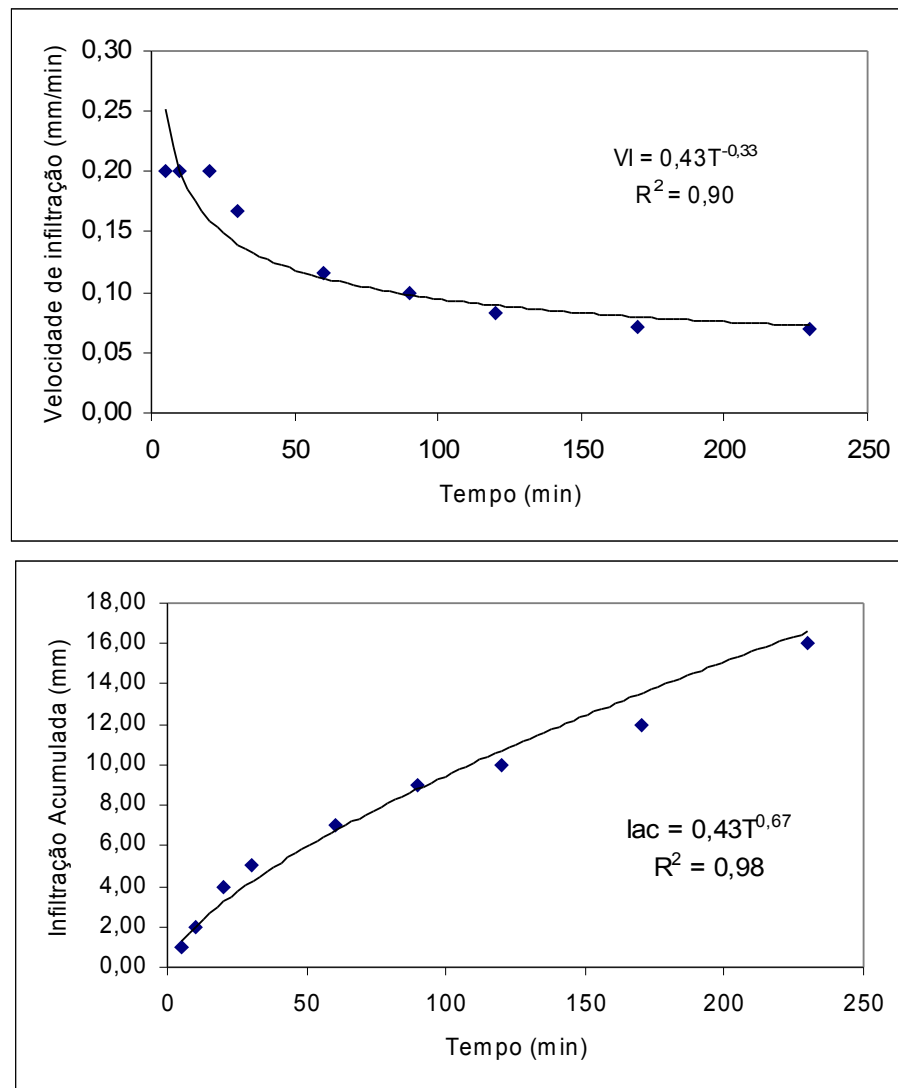


Figura 25 - Velocidade de infiltração em função do tempo e Infiltração acumulada, em área com cobertura de pasto sujo no ponto 6

Observa-se, na Tabela 20 e na Figura 25, que a infiltração do solo no teste realizado em cobertura vegetal pasto sujo 6, estabilizou-se aos 230 minutos, apresentando um valor de infiltração acumulada (infiltração potencial) de 16 mm. A velocidade de infiltração básica foi de 0,07 mm/min ou 4,2 mm/h, que segundo a classificação de Reichardt (1987) (Tabela 1), considera esse solo de baixa infiltração.

Na Tabela 21, é mostrado um resumo da equação obtida em cada teste e a precisão do ajuste das curvas obtidas como resultado de cada teste de infiltração para cada tipo de cobertura vegetal, evidenciando um elevado valor do coeficiente de determinação r^2 .

Tabela 21 – Equação de infiltração acumulada característica e sua precisão para cada tipo de cobertura vegetal

TIPO DE COBERTURA	ENSAIO	EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA DA CURVA $I = a \times Tc^b$	COEFICIENTE PRECISÃO CURVA - r^2
Pupunha	1	$lac = 1,65 \times T^{0,62}$	0,99
Pupunha	2	$lac = 4,38 \times T^{0,78}$	0,99
Pupunha	3	$lac = 5,10 \times T^{0,90}$	0,99
Pasto Sujo	1	$lac = 0,68 \times T^{0,67}$	0,98
Pasto Sujo	2	$lac = 0,98 \times T^{0,55}$	0,97
Pasto Sujo	3	$lac = 0,95 \times T^{0,77}$	0,99
Pasto Sujo	4	$lac = 0,36 \times T^{0,72}$	0,99
Pasto Sujo	5	$lac = 0,65 \times T^{0,66}$	0,99
Pasto Sujo	6	$lac = 0,42 \times T^{0,67}$	0,98

Na Tabela 22, são apresentados os valores da infiltração acumulada obtidos por meio das equações dos testes de infiltração em campo, para a cobertura vegetal tipo pasto sujo, nos seis pontos estudados, considerando o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração.

Tabela 22 – Infiltração acumulada calculada por meio das equações obtidas dos testes de infiltração em campo para cada cobertura vegetal, considerando o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração

TIPO DE COBERTURA	Ponto	TEMPO CONCENTRAÇÃO [min]	EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA DA CURVA $I = a \times Tc^b$	INFILTRAÇÃO ACUMULADA [mm]
Pasto Sujo	1	180	$lac = 0,68 \times 180^{0,67}$	22,32
Pasto Sujo	2	180	$lac = 0,98 \times 180^{0,55}$	17,27
Pasto Sujo	3	180	$lac = 0,95 \times 180^{0,77}$	51,88
Pasto Sujo	4	180	$lac = 0,36 \times 180^{0,72}$	15,47
Pasto Sujo	5	180	$lac = 0,65 \times 180^{0,66}$	19,79
Pasto Sujo	6	180	$lac = 0,42 \times 180^{0,67}$	14,06

Deve ser considerado, nesse tipo de cobertura, que a antropização atual é mínima, não ocorrendo o pisoteio de animais, e nem o trânsito de máquinas pesadas; isso permite a regeneração da vegetação ao longo do tempo o que também pode influir no escoamento superficial.

Para o primeiro modo de determinação do escoamento superficial, utilizaram-se os resultados de Infiltração acumulada (Iac) obtidos na Tabela 22, os quais foram, então, assumidos como sendo a Infiltração Potencial (S) e utilizados para o cálculo do escoamento superficial (Q) em mm, para a cobertura vegetal Pasto Sujo, em vários pontos na bacia do Itaim, por meio do método Curva-Número.

Os valores obtidos pelos testes de infiltração são importantes, no sentido de poder se obterem dados e informações que possibilitem avaliar o quanto esta seção da bacia está gerando de escoamento superficial, e suas conseqüências ao longo da bacia.

Essas informações constituem-se, portanto, parâmetros significativos para pesquisadores que possam vir utilizar essa metodologia em seus estudos hidrológicos.

Tabela 23 – Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 1 e valor de infiltração acumulada (S=22,32 mm)

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	49,94	2493,60	72,26	34,51
3	5	70,3	65,84	4334,38	88,16	49,17
3	10	80,8	76,34	5827,18	98,66	59,07
3	15	86,7	82,24	6762,76	104,56	64,68
3	20	90,9	86,44	7471,18	108,76	68,70
3	25	94,1	89,64	8034,61	111,96	71,77
3	50	103,9	99,44	9887,52	121,76	81,21

Tabela 24 – escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 2 e valor de infiltração acumulada ($S=17,27$ mm).

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	50,95	2595,49	68,22	38,05
3	5	70,3	66,85	4468,39	84,12	53,12
3	10	80,8	77,35	5982,40	94,62	63,23
3	15	86,7	83,25	6929,90	100,52	68,94
3	20	90,9	87,45	7646,80	104,72	73,02
3	25	94,1	90,65	8216,70	107,92	76,14
3	50	103,9	100,45	10089,40	117,72	85,71

Tabela 25 – escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 3 e valor de infiltração acumulada ($S=51,88$ mm)

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	44,02	1938,11	95,90	20,21
3	5	70,3	59,92	3590,89	111,80	32,12
3	10	80,8	70,42	4959,54	122,30	40,55
3	15	86,7	76,32	5825,35	128,20	45,44
3	20	90,9	80,52	6484,11	132,40	48,97
3	25	94,1	83,72	7009,71	135,60	51,69
3	50	103,9	93,52	8746,74	145,40	60,15

Tabela 26 – escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 4 e valor de infiltração acumulada ($S= 15,47$ mm).

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	51,31	2632,31	66,78	39,42
3	5	70,3	67,21	4516,65	82,68	54,63
3	10	80,8	77,71	6038,22	93,18	64,80
3	15	86,7	83,61	6989,96	99,08	70,55
3	20	90,9	87,81	7709,89	103,28	74,65
3	25	94,1	91,01	8282,09	106,48	77,78
3	50	103,9	100,81	10161,85	116,28	87,39

Tabela 27 – Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 5 e valor de infiltração acumulada ($S= 19,79$ mm).

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	50,44	2544,40	70,23	36,23
3	5	70,3	66,34	4401,26	86,13	51,10
3	10	80,8	76,84	5904,69	96,63	61,10
3	15	86,7	82,74	6846,24	102,53	66,77
3	20	90,9	86,94	7558,91	106,73	70,82
3	25	94,1	90,14	8125,58	109,93	73,91
3	50	103,9	99,94	9988,40	119,73	83,42

Tabela 28 – Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo no ponto 6 e valor de infiltração acumulada ($S= 14,06$ mm).

t_c (h)	TR (anos)	P(mm)	P - 0,2S	$(P - 0,2S)^2$	P + 0,8S	Q (mm)
3	2	54,4	51,59	2661,32	65,65	40,54
3	5	70,3	67,49	4554,63	81,55	55,85
3	10	80,8	77,99	6082,13	92,05	66,08
3	15	86,7	83,89	7037,20	97,95	71,85
3	20	90,9	88,09	7759,50	102,15	75,96
3	25	94,1	91,29	8333,50	105,35	79,10
3	50	103,9	101,09	10218,78	115,15	88,74

Para o segundo modo de determinação do escoamento superficial considerou-se que a cobertura vegetal da bacia é predominantemente (+ de 70%) constituída de Pasto Sujo, atribuindo-lhe da Tabela 9, o valor de CN igual a 75, para o cálculo da infiltração potencial (S), o que resultou no valor $S = 84,67$ mm, o qual foi utilizado para o cálculo do escoamento superficial em mm (Q) da bacia do Itaim, por meio do método Curva-Número, cujos resultados podem ser observados, na Tabela 29 e na Figura 26.

Tabela 29 – Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, para cobertura de pasto sujo e valor de infiltração acumulada ($S= 84,67$ mm)

Tempo de Concentração (horas)	Tempo de Retorno TR (anos)	Precipitação P (mm)	escoamento superficial Q (mm)
3	2	54,4	11,49
3	5	70,3	20,63
3	10	80,8	27,46
3	15	86,7	31,52
3	20	90,9	34,49
3	25	94,1	36,80
3	50	103,9	44,07

Para o terceiro modo de determinação do escoamento superficial, considerou-se a cobertura vegetal da bacia e definição do valor de $CN_{ponderado}$ para cada classe de uso e cobertura. Conforme a Tabela 9, por meio da ponderação do CN das classes, chegou-se ao valor de $CN = 66,57$ e ao valor de infiltração potencial que resultou no valor $S = 127,56$ mm, o qual foi utilizado para o cálculo do escoamento superficial em mm (Q) da bacia do Itaim, por meio do método Curva-Número, cujos resultados podem ser observados na Tabela 30 e na Figura 26.

Tabela 30 – Escoamento superficial em função das precipitações máximas com duração de 180 minutos e períodos de retorno, variando de 2 a 50 anos, obtido por ponderação de cada classe de cobertura vegetal do solo, na bacia do Itaim e valor de infiltração acumulada ($S= 127,56$ mm).

Tempo de Concentração (horas)	Tempo de Retorno TR (anos)	Precipitação P (mm)	escoamento superficial Q (mm)
3	2	54,4	5,33
3	5	70,3	11,64
3	10	80,8	16,72
3	15	86,7	19,83
3	20	90,9	22,16
3	25	94,1	23,98
3	50	103,9	29,83

Na figura 26, encontram-se as curvas referentes ao Escoamento Superficial Q em mm, em função período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25 e 50 anos provenientes das Tabelas 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30.

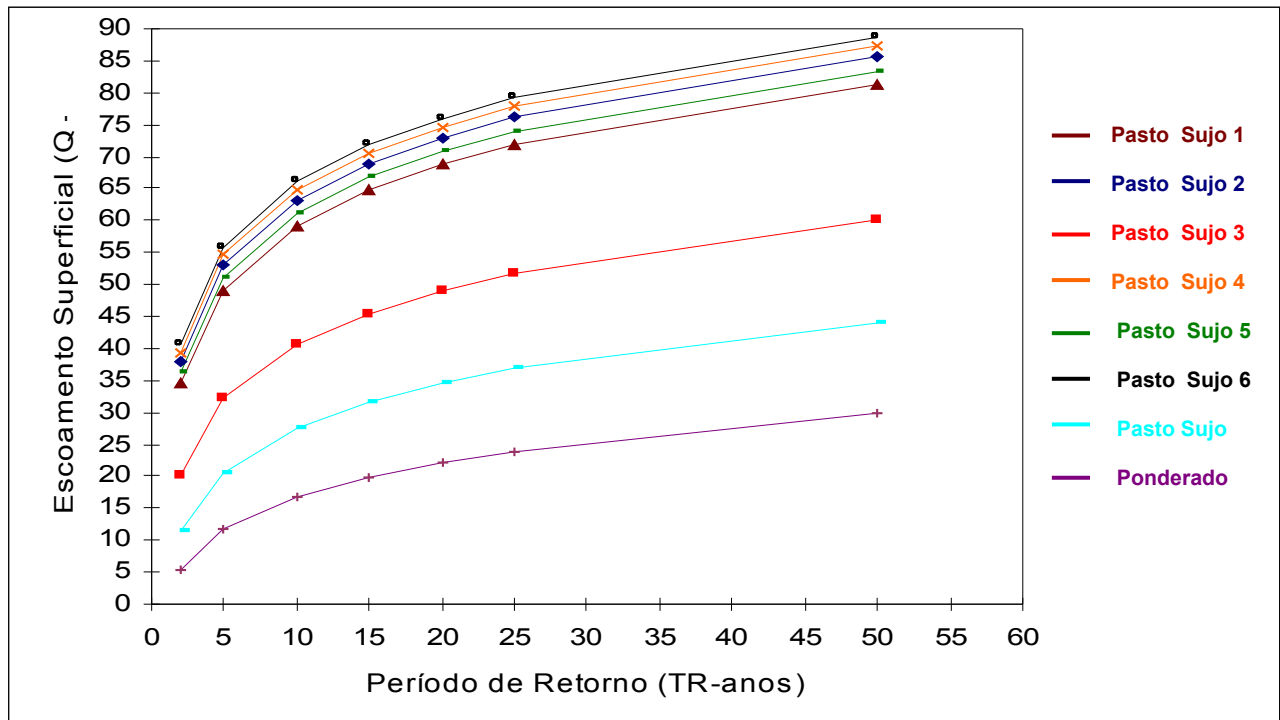


Figura 26 – Variação do escoamento superficial, em função do período de retorno da precipitação máxima, com tempo de duração igual ao tempo de concentração

Conforme se observa na Figura 26 para o mesmo período de retorno da precipitação máxima, ocorre acréscimo do escoamento superficial de acordo com o aumento do período de retorno da chuva. Os maiores acréscimos no escoamento superficial foram obtidos pela ordem quando o modo envolveu a determinação da infiltração potencial no campo, sendo pela ordem do maior para o menor o Pasto sujo 6, 4, 2, 5, 1 e 3 respectivamente. Esta seqüência de resultados reflete a ordem dos pontos com valores de infiltração indo do menor para o maior. Observa-se também com relação aos resultados de escoamento superficial obtidos, quando se utilizou o valor de infiltração no campo como sendo o parâmetro S (infiltração potencial) para o método Curva-Número, no caso do Pasto

sujo 3, que apresentou valor de escoamento bem inferior aos demais pontos. Isto deveu-se principalmente ao valor de infiltração neste ponto ($S = 51,88 \text{ mm}$) que foi quase 2,9 vezes superior à média dos demais ($S = 17,78 \text{ mm}$).

A curva referente ao escoamento superficial, admitindo que a bacia toda tivesse cobertura vegetal pasto sujo ($CN = 75$), gerou uma infiltração potencial de $84,7 \text{ mm}$, atingindo valores de escoamento que variaram de 11 a 44 mm , sendo muito inferior aos valores gerados pelo Curva-Número; quando utilizaram os valores de infiltração acumulada ou potencial obtidos em testes de campo, denotando que, ao assumir um único tipo de cobertura para a bacia, está-se superestimando o valor de infiltração e com isso reduzindo o escoamento.

Quando se utilizou a ponderação do valor de CN ($66,57$) para todas as classes de uso da bacia, obteve-se um valor de infiltração potencial da ordem de 127 mm e conseqüentemente valores mais baixos ainda de escoamento superficial, tais como entre $5,5 \text{ mm}$ e 33 mm .

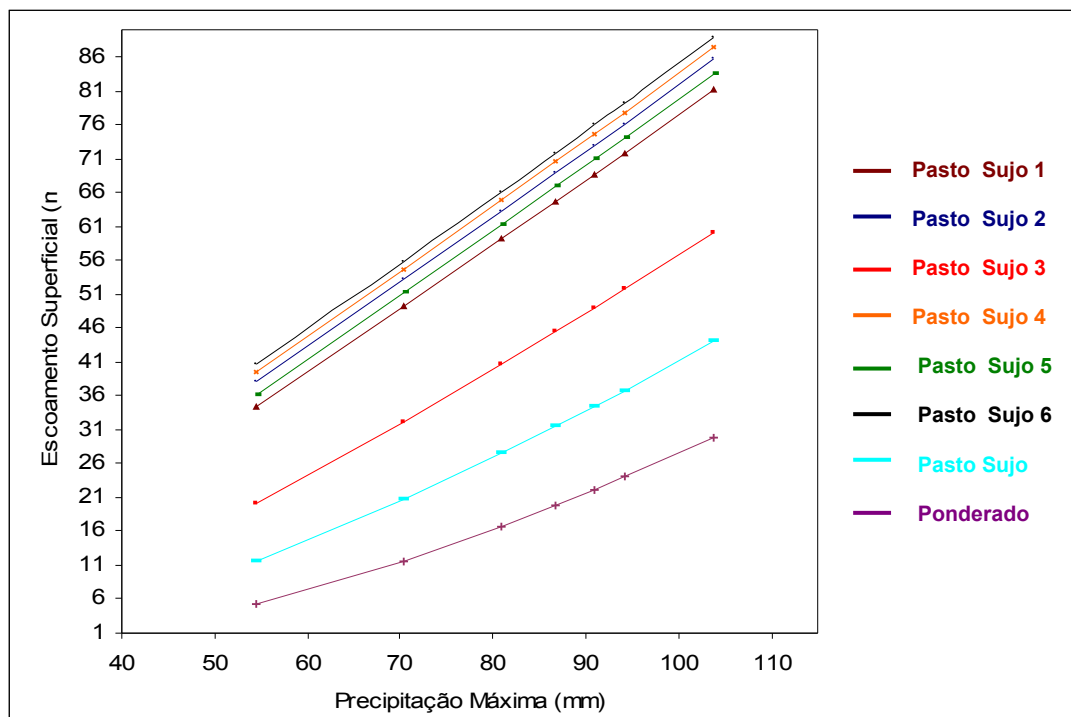


Figura 27 – Variação do escoamento superficial, em função da precipitação máxima na bacia, com tempo de duração igual ao tempo de concentração.

Na figura 27, são mostradas as curvas que evidenciam o escoamento superficial (Q) em (mm) em função das precipitações máximas para a bacia do Itaim conforme dados obtidos na tabela 5, para um tempo de concentração de 180 minutos. Observa-se que, no geral, o escoamento superficial aumentou na medida em que aumentou a precipitação máxima. O aumento foi mais acentuado quando utilizaram dados de infiltração potencial levantados no campo (Modo 1). Conforme se observa na Tabela 22, os valores baixos e médios de Infiltração obtidos no campo, fornecem, como resposta, a cada precipitação máxima, maior escoamento. Os valores de infiltração potencial foram $S = 84,7$ mm e $S = 127$ mm respectivamente quando se considerou a cobertura vegetal pasto sujo ($CN = 75$) para toda a bacia (Modo 2) e quando se utilizou o valor de $CN_{ponderado}$ (Modo 3) para a área de cada classe de uso e cobertura do solo ($CN_{pond} = 66,57$), denotando que, ao assumir um único tipo de cobertura para a bacia, está-se superestimando o valor de infiltração e com isso reduzindo o escoamento.

6 CONCLUSÕES

As metodologias adotadas na mensuração da infiltração e na determinação do escoamento superficial apresentadas mostraram-se adequadas e permitiram a estimativa do escoamento superficial da bacia com cobertura de pastagem de forma consistente.

O método Curva-Número com dados tabelados subestimou os resultados de escoamento superficial, necessitando de ajustes para aplicações locais.

Os valores de infiltração potencial obtidos em campo apresentaram valores mais baixos que o obtido pelo Curva-Número.

7 RECOMENDAÇÕES

É desejável que os ensaios realizados, até o momento, sejam estendidos para outras coberturas vegetais que ocorrem dentro da bacia. Esse procedimento ampliará a pesquisa iniciada, neste trabalho, principalmente no que diz respeito à variação do escoamento na bacia do Itaim, em função da cobertura vegetal.

Coberturas como Eucalipto, Florestas Secundárias de Nativas, Culturas Anuais, Frutíferas e Capineiras devem ser aproveitadas, neste estudo, pois são cultivadas na bacia, embora a pastagem predomine. Os testes, nessas coberturas, podem gerar um banco de dados importante, dando suporte para a determinação do escoamento superficial em seções representativas da bacia.

Sugere-se, também, ensaios em locais que tenham a mata ciliar preservada, pois é sabida a influência significativa que esta exerce nas relações hidrológicas e na paisagem de uma bacia hidrográfica.

Resultados dos ensaios de campo deste trabalho indicam a necessidade de mais pesquisas relacionadas à temática da infiltração e do escoamento superficial em bacias hidrográficas. Neste sentido, a utilização de outros métodos deve ser estimulada, pois diferentes metodologias podem fornecer valores diferentes e, portanto, importantes para a validação dos resultados apresentados nesta Dissertação. Estudos detalhados sobre o assunto podem permitir o avanço nas pesquisas sobre o comportamento da infiltração e do escoamento superficial em bacias de importância estratégica como a do Itaim, e fornecer subsídio para o entendimento das principais conseqüências ambientais relacionadas ao uso e à cobertura do solo dessas bacias.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. B. **O emprego do permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo de camadas de lixo e sua cobertura.** 2001. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AGUIAR, L. S. G. *et al.* Dinâmica do uso e ocupação do solo na microbacia do ribeirão Itaim utilizando dados de sensoriamento remoto e S.I.G. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2003; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO, 4., 2003, Taubaté. **Resumo...** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2003. p. 255.
- AGUIAR, L. S. G.; TARGA, M. S. Estimativa do escoamento superficial e da infiltração potencial em função da modificação do uso do solo na Bacia do Ribeirão Itaim no Município de Taubaté - SP. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2004; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO, 5., 2004, Taubaté. **Resumo...** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2004. p. 257.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. E. A. S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 27-34, 2004.
- AMORIM, R. F. C. **Estimativas de parâmetros hidrológicos de uma pequena bacia de drenagem na região central do Estado de São Paulo.** 1995. 130 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência 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**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- ANTONINO, A. C. D. *et al.* Distribuição probabilística do fator de escala de dois solos do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 220-224, 2004.
- BAVER, L. D. **Soil physics.** 2. ed. New York: Chapman & hall, 1948. 398 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, F. **Conservação do solo.** Piracicaba: Livroceres, 1985. 392 p.
- BRAGA JUNIOR, B. P.; CONEJO, J. G. L. Simulação digital do ciclo hidrológico através do “Stanford Watershed Model IV”. In: **Hidrologia Dinâmica: curso de engenharia hidrológica**, v. 1. São Paulo: EPUSP/DAEE/ABRH, 1983, p. B1-B23.
- CAMPOS, B. C. *et al.* Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p.121-126, 1995.

CENTENO, J. A. S. *et al.* Mapeamento de áreas permeáveis usando uma metodologia orientada a regiões e imagens de alta resolução. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 55/1, jul. 2003.

CENTURION, F. J.; CARDOSO J. P.; NATALI, W. Efeitos 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, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I: infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p.137-41, 2000.

CORREA, I. C. S. *et al.* **Evolução sedimentológica e paleogeográfica da plataforma continental sul e sudeste do Brasil**. Porto Alegre: CECO/IG/UFRGS, 1996. Notas Técnicas, 9. p. 51-61.

CORRÊA, R. C. **Avaliação das atividades antrópicas sobre a bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim, Taubaté, SP**. 2001. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Universidade de Taubaté, Taubaté, 2001.

COSTA, E. L. *et al.* Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuva e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 131-134, 1999.

DIAMOND, J.; SHANLEY, T. Infiltration rate assessment of some major soils. **Irish Geography**, v. 36, n. 1, p. 32-46, 2003.

DIAS JR., M. S. *et al.* Avaliação da sustentabilidade da estrutura de argissolos em sistemas florestais. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 103-114, 2002.

FERNÁNDEZ, J. M. **Investigación en la zona no saturada del suelo**. 2003. Disponível em: <<http://www.zonanosaturada.com/znsinfo.html>>. Acesso em: 7 dez. 2003.

FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2001. 598 p.

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; SPAROVEK, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 671-679, abr. 2000.

FISCH, G. Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté (SP). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 1, n. 1, p. 81-90, jul./dez. 1995.

_____. Distribuição da precipitação em Taubaté, Vale do Paraíba (SP). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 5, n. 2, p. 7-11, jul./dez. 1999.

FRANCO, M. R. **Estudos de correlação entre determinações da capacidade de infiltração de solos, com auxílio de um simulador-de-chuva-infiltrômetro de anéis concêntricos**. 1980. 101 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GOEDERT, W. G.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, fev. 2002.

GUILLERMO, A; FERNÁNDEZ, L. G. **El Calculo de las perdidas por filtracion em los canales**. México: Secretaria de Agricultura Y Recursos Hidráulicos Subsecretaria de Agricultura Y Operacion Direccion General de Distritos de Riego, 1977. Memorandum Técnico, 362.

ISRAELSEN, O. W. **Irrigation principles and pratctices**. 2. ed. New York: Chapman & Hall, 1956.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

LINSLEY JR., R. K.; FRANZINI, J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978. 798 p.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MARTINS, S. G. *et al.* Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 32-41, 2002.

MIRANDA, J. H. *et al.* Dimensionamento de terraços de infiltração pelo método do balanço volumétrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 169-174, 2004.

OLIVEIRA, J. B. *et al.* **Mapa pedológico do estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1999. 64 p.

OLIVEIRA, L. F. C. *et al.* Rotina computacional para a determinação da velocidade de sedimentação das partículas do solo em suspensão no escoamento superficial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 126-136, jan./abr. 2005.

OTTONI, M. V. **Classificação Físico-Hídrica de Solos e Determinação da Capacidade de Campo *in situ* a partir de Testes de Infiltração**. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355 p.

PREVEDELLO, C. L. *et al.* Comparação dos métodos do perfil instantâneo e de Van Genuchten na obtenção da condutividade hidráulica de uma areia marinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 1-5, 1995.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento Superficial**. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2004. 87 p.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

REICHARDT, Klaus. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 186 p.

REZENDE, M. V. O. **Avaliação das propriedades físicas de um solo no controle de sua qualidade ambiental sob diferentes tipos de usos**. 2004. 53 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Departamento de Ciências Agrárias, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RODRIGUES, S. C.; SILVA, J. B. da; VIEIRA, W. C. Análises das características de materiais superficiais em função da aplicação de lodo estabilizado em área de cultivo de citrus, em Araguari (MG). **Caminhos de geografia**, v. 2, n. 4, p. 55-72, jun. 2001. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/volume04/artigo04_vol04.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2005.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Recursos Hídricos. Saneamento e Obras. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. In: **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. Coordenação de Francisco Martinez Junior, Nelson Luiz Goi Magni. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.sirgrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/ecisp/index.htm>>. Acesso em: 6 maio 2005.

SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e produtividade de culturas em um latossolo vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SELKER, J. **Física de Solo**. Disponível em <<http://www.bioe.orst.edu/Faculty/selker/Chilean/20%Soil%20Physics%20Lectures/Utalca>>. Acesso em: 7 nov. 2003.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal, nas condições do estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, v. 2, n. 2, p. 81-104, 1979.

SIMÕES, G. F. **Hidrologia urbana**: conceitos básicos sobre os escoamentos superficiais e o cálculo de cheias. Disponível em: <<http://www.etg.ufmg.br/tim2/drenagem.doc>>. Acesso em: 5 nov. 2005.

SMEDEMA, L. K.; RYCROFT, D. W. **Land drainage**: planning and desing of agricultural drainage systems. London: BT Batsford, 1983. 376 p.

SMEMOE, C. M., NELSON, E. J., ZHAO, B. Spatial averaging of land use and soil properties to develop the physically-based green and ampt parameters for HEC-1. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, n. 6, p. 525-535, 2004.

SOBRINHO, T. A. *et al.* Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 191-196, 2003.

SOUZA, M. D. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 20 p. Disponível em <http://www.cnpma.embrapa.br/download/documento_37>. Acesso em: 3 abr. 2005.

SOUZA, M. T.; CAMPOS, J. E. G. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 3, p. 191-198, 2001.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. 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**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003.

SUGUIO, K. **Geologia do quaternário e mudanças ambientais.** São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 2001. 366 p.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 943 p.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509 p.

VIEIRA, H. A. *et al.* Comportamento de quatro infiltrômetros na determinação da velocidade de infiltração básica d'água no solo. **Revista Ceres**, v. 25, n. 141, p. 428-433, 1978.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

VITAL, A. R. T. *et al.* Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Forestalis**, n. 55, p.17-28, 1999.

WENDLAND, W. M. Temporal responses of surface-water and ground-water to precipitation in illinois. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 3, p. 685-693, 2001.

WISLER, C. O.; BRATER, E. F. **Hidrologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1964, 484 p.

ANEXOS

ANEXO A: Tabelas com os dados meteorológicos da Bacia do Itaim

Ano/Mês	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril	
	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal
1995	4,80	151,00	12,60	353,50	6,30	197,80	1,00	31,00
1996	6,9	215,8	7,90	229,30	11,70	364,80	1,60	48,10
1997	7,2	223,5	1,70	49,20	2,30	70,40	0,80	25,80
1998	3,9	120,7	9,00	254,30	5,10	158,40	1,50	45,60
1999	12,1	377,6	14,30	401,40	2,60	80,50	1,35	40,60
2000	11	342	5,80	169,10	8,40	260,10	0,30	8,30
2001	3,5	109,9	3,90	108,60	3,90	123,40	0,80	25,80
2002	8,5	265,3	6,80	192,70	3,60	113,10	1,90	56,80
2003	9,2	288,2	1,70	48,50	4,20	131,10	0,80	27,30
2004	8,10	251,10	9,50	276,40	5,50	172,70	4,60	137,60
2005	10,70	331,80	2,80	78,50	3,90	121,60	2,40	72,60

Ano/Mês	Maio		Junho		Julho		Agosto	
	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal	Média Diária	Precipitação Mensal
1995	2,10	67,50	0,20	8,10	2,00	63,90	0,30	11,90
1996	1,00	31,90	0,70	22,90	0,16	5,10	0,80	26,10
1997	1,80	57,40	2,30	69,30	0,20	9,00	0,60	18,40
1998	2,90	89,10	0,40	12,40	0,40	12,30	0,34	10,60
1999	0,60	19,00	2,30	68,60	0,35	11,00	0,15	4,80
2000	0,30	9,40	0,01	0,40	1,90	60,50	2,90	92,40
2001	2,60	81,00	0,20	6,20	1,00	31,00	1,90	60,70
2002	2,30	71,90	0,06	1,80	0,30	9,20	2,50	78,80
2003	0,90	29,50	0,04	1,30	0,50	15,70	0,80	25,70
2004	2,80	87,90	1,70	52,80	2,70	84,60	0,03	1,00
2005	3,40	105,20	0,60	18,10	0,90	27,70	0,05	1,70

Ano/Mês	Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		Média da Precipitação Anual
	Média Diária	Precipit/Mensal	Média Diária	Precipit/Mensal	Média Diária	Precipit/Mensal	Média Diária	Precipit/Mensal	
1995	1,20	38,20	8,60	266,50	4,00	120,30	5,90	183,10	124,40
1996	4,90	149,20	4,00	124,10	6,30	189,50	6,50	201,30	134,01
1997	3,70	112,60	2,00	63,80	8,10	243,80	4,60	142,40	90,47
1998	4,70	141,10	6,80	211,10	2,21	66,40	4,20	130,50	104,38
1999	2,10	65,00	0,80	26,50	2,40	71,40	4,80	150,00	109,70
2000	3,00	90,40	1,80	56,00	7,60	227,80	7,60	235,90	129,36
2001	2,40	71,10	4,40	137,10	4,00	121,10	8,70	270,40	95,53
2002	2,00	60,20	3,20	99,60	10,00	301,00	3,70	114,90	113,78
2003	0,70	22,90	6,00	188,40	5,60	170,30	2,80	88,10	86,42
2004	1,40	41,90	4,90	152,90	7,50	225,90	4,10	126,70	134,29
2005	3,10	94,50	4,20	131,10	4,60	139,40	6,30	198,00	110,02