

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**VARIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DEVIDO A
ALTERAÇÕES DE USO DO SOLO: ESTUDO DE
CASO DE IMPLANTAÇÃO DE FLORESTA EM BIOMA
PAMPA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Calinca Barão de Avila

Santa Maria, RS, Brasil

2014

VARIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DEVIDO A ALTERAÇÕES DE USO DO SOLO: ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE FLORESTA EM BIOMA PAMPA

por

Calinca Barão de Avila

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dra. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado.

**VARIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DEVIDO A ALTERAÇÕES DE USO DO
SOLO: ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE FLORESTA EM
BIOMA PAMPA**

elaborada por
Calinca Barão de Avila

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA

Jussara Cabral Cruz, Dr^a.
(Presidente/Orientadora)

Jean Paolo Gomes Minella, Dr. (UFSM)

Rafael Cabral Cruz, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, 28 de Fevereiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, que possibilitaram a realização do curso de Mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

À Professora Dra. Jussara Cabral Cruz por sua orientação, amizade, apoio, ensinamentos e dedicação, o meu muito obrigada.

Aos Professores, Jean Paolo Gomes Minella e Ana Paula Moreira Rovedder, pela coorientação e contribuição com o aprimoramento desse trabalho. Ao professor Rafael Cabral Cruz por estar presente no final dessa etapa e por compor a banca deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelos ensinamentos durante a pós-graduação.

Ao meu esposo Éder, que esteve sempre ao meu lado com seu amor e carinho, me inspirando, de forma única, a buscar novos conhecimentos e desafios. Tu foste imprescindível e fundamental.

Agradeço, de maneira especial, aos colegas do Grupo de Pesquisa- GERHI pelas trocas de conhecimento ajuda em viagens a campo, bem como momentos de confraternização. Obrigada à vocês: Vinicius F. Dulac, Marciano Friedrich, Pamina D. Lampert, Damáris G. Padilha, Josita Soares, Edner Baumhardt, Elisandra Mazieiro, Catarine Consensa, Pedro Pascotini, Michele B. Leite, Maicon N. Silveira, Romário C. Neto, Yuri R. Vitá Sá, Francisco Horn , Tatiana Reckziegel e Régis L. Lopes da Silveira.

Ao Laboratório de Física do Solo- UFSM, pela infraestrutura, apoio técnico e aos amigos Júlio W. Soares, Cristina Redin, Paulo E. Schaefer, Rodrigo Ludwig e Elton Schaefer por terem me ajudado nos trabalhos de campo e laboratório.

Aos colaboradores da pesquisa, o Sr. Ildo José Spanevello, proprietário da fazenda São Carlos e a equipe da Empresa Stora Enso RS de Rosário do Sul que mantiveram as áreas nas condições adequadas ao bom andamento do estudo.

Aos vizinhos Robson Lukrafka e Ana Queli pela amizade, ajuda e força.

Agradeço aos meus pais (Wilson e Oriana) e a minha irmã (Talita) pelo apoio sempre prestado durante minhas decisões e escolhas nesta trajetória. Muito Obrigada.

“A mente que se abre a uma nova ideia
nunca mais voltará ao seu tamanho original.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

VARIAÇÃO DA INFILTRAÇÃO DEVIDO A ALTERAÇÕES DE USO DO SOLO: ESTUDO DE CASO DE IMPLANTAÇÃO DE FLORESTA EM BIOMA PAMPA

AUTOR: CALINCA BARÃO DE AVILA

ORIENTADORA: JUSSARA CABRAL CRUZ

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 28 de Fevereiro de 2014.

O presente estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar o comportamento do processo de infiltração de água no solo, em parcela florestada com eucalipto, em reserva legal e campo nativo com pastoreio convencional, em região característica do Bioma Pampa. A investigação ocorreu em encostas que apresentam diferentes usos do solo em duas microbacias experimentais, uma de pastagem nativa com 21 ha, ocupada por criação extensiva de gado, e outra de silvicultura de *Eucalyptus* spp. com 95 ha, contendo Área de Preservação Permanente e Reserva Legal. As microbacias localizam-se no município de Rosário do Sul/ RS, e possuem características semelhantes de solo, regime de precipitação e relevo. Para cada uso do solo, foram consideradas duas posições (cota superior e inferior) na mesma vertente para a caracterização da infiltração do perfil no relevo. Foram realizados em dois períodos com condições do tempo distintas entre si, um total de 48 testes de infiltração por meio de infiltrômetro de anéis concêntricos e os valores dos ensaios modelados, a partir das equações de Horton, Kostiaikov e Kostiaikov-Lewis. Em cada área, foram coletadas amostras de solo, com estrutura preservada, e estrutura deformada para obtenção dos parâmetros físicos do solo, como densidade, porosidade (macro, micro e total), textura (argila, silte e areia) e a condutividade hidráulica saturada. Dentre os modelos testados o modelo Horton representou de forma satisfatória o ajuste da taxa de infiltração observada. Nas três áreas estudadas observou-se que a posição no relevo influenciou na capacidade de infiltração, sendo que nas cotas inferiores ocorreram as maiores infiltrações. O componente do modelo de Horton I_f , correspondente a infiltração básica pode ser utilizado como indicador de impacto do uso do solo nos processos hidrológicos. A área florestada com silvicultura de eucalipto possui uma taxa de infiltração significativamente maior que a área de reserva legal e a área de campo nativo com pastoreio, respectivamente. Desse modo pode-se afirmar que, neste experimento, perceberam-se variações na capacidade de infiltração, devido a alterações de uso do solo.

Palavras-chave: Infiltração de água. Usos do solo. Infiltrômetro de anéis concêntricos.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduate Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria

INFILTRATION VARIATION DUE TO ALTERATION IN THE SOIL USAGE: STUDY OF AN IMPLANTATION CASE OF A FOREST IN "BIOMA PAMPA"

Author: Calinca Barão de Avila

Advisor: Jussara Cabral Cruz

Place and Date of Defence: Santa Maria, February 28th, 2014.

The present study was conducted with the objective to evaluate the behavior of the process of water infiltration in the soil, in a portion forested with eucalyptus, in a legal reserve and native field with conventional pasturage, in the characteristic zone of Pampa Biome. The investigation occurred in hillsides that presented different uses of the soil in two experimental small watershed, one is a native pasturage area with 21 hectares occupied by cattle breeding, and another with 95 hectares of Eucalyptus silviculture, the last one is a Permanent Preservation Area and Legal Reserve. The small watersheds are located in the city of Rosário do Sul – RS, and they have similar characteristics in the soil, precipitation rate and relief. For each soil usage, there were considered two positions (superior and inferior height) in the same hillside to characterize the infiltration in the ground profile. There were performed a total of 48 infiltration test using concentric rings infiltrometers with distinct weather condition, and the trial values modeled from the Horton, Kostiakov and Kostiakov-Lewis equations. There were collected soil samples in each area, with preserved and misshapen structure to obtain the soil physical parameters as density, porosity (macro, micro and total), texture (clay, silt and sand) and the saturated hydraulic conductivity. Among the tested models, the Horton model represented in a satisfactory way the adjustment of the observed infiltration rate. In the three areas of this study, we observed that the relief position influenced the infiltration capacity, and the higher infiltrations rate have occurred in the inferior heights. The component of the Horton *f* model, corresponding to the basic infiltration can be used as an indicator of the impact of the soil usage on hydrological processes. The forestry area with Eucalyptus silviculture has a infiltration rate significantly higher than the Legal Reserve and the Native Field with Pasturage, respectively. Therefore we can affirm that, in this experiment, we noticed variations in the infiltration capacity due to the alteration in the soil usage.

Key-words: Water infiltration. Soil usage. Concentric ring infiltrometer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria com a indicação dos municípios que a compõem.....	26
Figura 2- Mapa de localização das microbacias com as respectivas coordenadas. .	28
Figura 3 - Microbacia Florestada e área de reserva legal, Rosário do Sul (RS).....	29
Figura 4 - Área de reserva legal em detalhe, Rosário do Sul (RS).....	30
Figura 5- Reserva Legal em detalhe, vegetação arbustiva, Rosário do Sul (RS).....	31
Figura 6 – Microbacia de campo nativo com pecuária extensiva, Rosário do Sul (RS).	32
Figura 7- Vista geral da vegetação da área de CN, Rosário do Sul (RS).....	32
Figura 8- Realização dos testes (A), apoio tanque de abastecimento (B), Rosário do Sul (RS).....	34
Figura 9- Mapa do uso do solo e localização dos testes de infiltração na encosta representativa da microbacia de campo nativo com pecuária extensiva, Fazenda São Carlos, Rosário do Sul (RS).	35
Figura 10- Mapa de uso do solo e localização dos testes de infiltração na encosta representativa da microbacia florestada e área de reserva legal, Fazenda Estância Tarumã, Rosário do Sul (RS).....	36
Figura 11- Infiltrômetro na área de CN (A), área da FL e RL (B, C), Rosário do Sul (RS).	37
Figura 12- Croqui do experimento.....	38
Figura 13- Diagrama textural do horizonte A das áreas em estudo.	41
Figura 24- Trincheiras realizadas nas áreas de estudo, por posição do perfil no terreno (cota superior e inferior) com os horizontes do solo.....	42
Figura 15- Vista do sistema radicular da FL no perfil do solo, Rosário do Sul (RS). .	49
Figura 16- Vegetação nativa das áreas de RL (A) e CN (B), Rosário do Sul (RS)....	50
Figura 17- Desenho esquemático do comportamento da lâmina de água infiltrada com a dispersão lateral. Na campanha do verão com condições de tempo severas (B) não se consegue apenas infiltrar verticalmente como na campanha do inverno (A).	51
Figura 18- Taxa de infiltração média observada por intervalo de tempo na RL na cota superior (campanha do verão).	52
Figura 19- Taxa de infiltração média observada por intervalo de tempo no CN na cota superior (campanha do inverno).	52
Figura 20 - Comparação da taxa de infiltração entre os resultados observados e o ajuste dos modelos.....	53
Figura 21- Valores médios da capacidade de infiltração, ajustado pelo modelo Horton.....	55
Figura 22- Médias do parâmetro β nas diferentes posições no relevo.	56
Figura 23 - Comparação entre os valores observados e estimados pelos modelos. 61	

LISTA DE TABELAS

Tabela.1- Horizontes das áreas em estudo e classificação textural, por posição do perfil no terreno (cota superior e inferior).	43
Tabela 2 - Granulometria, densidade e condutividade hidráulica do solo nas áreas avaliadas.	44
Tabela 3- Valores médios dos parâmetros físicos do solo na camada superficial do solo.....	45
Tabela 4- Valores médios dos parâmetros físicos do solo no horizonte B textural do solo.....	46
Tabela 5- Valores médios observados da infiltração e umidade inicial do solo.....	47
Tabela 6- Coeficiente de determinação r^2 dos modelos ajustados.....	54
Tabela 7- Matriz de correlação de Pearson geral dos parâmetros do modelo e propriedades físicas do solo na camada superficial.	57
Tabela 8 - Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros do modelo e propriedades físicas do solo nas diferentes posições do perfil no terreno na camada superficial.....	58
Tabela 9 - Equações de regressão para as posições no terreno.	60

LISTA SIGLAS E ABREVIATURAS

- APP:** Área de Preservação Permanente
- BEFLORESTA:** Bacia Escola Floresta
- BHRSM:** Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria
- CN:** Área de campo nativo com pastoreio
- EPA:** Environmental Protection Agency
- FL:** Área florestada com eucalipto
- GERHI:** Grupo de Pesquisa Gestão de Recursos Hídricos
- INMET:** Instituto Nacional de Meteorologia
- ISO 14.000:** Organização Internacional para Padronização
- MC:** Microbacia de Campo
- MF:** Microbacia Florestada
- RL:** Área de reserva legal
- RS:** Rio Grande do Sul
- SPSS:** Statistical Package for Social Science for Windows
- SAS:** Statistical Analysis System
- SBCS:** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
- UFMS:** Universidade Federal de Santa Maria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo Geral.....	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 Infiltração de água no solo.....	16
3.2 Métodos de determinação	18
3.3 Modelos para a estimativa da infiltração.....	20
3.4 Fatores que influenciam na capacidade de infiltração	22
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Localização e caracterização das áreas de estudo.....	26
4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.....	26
4.1.2 Áreas de estudo	27
4.1.2.1 Encosta na Microbacia Florestada	29
4.1.2.2 Encosta na Microbacia de Campo Nativo.....	31
4.2 Determinação da infiltração de água no solo	33
4.3 Determinação das características físicas do solo.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1 Dados experimentais	41
5.1.1 Propriedades físicas do solo	41
5.1.2 Influência do uso nas propriedades do solo	45
5.1.3 Testes de infiltração	47
5.1.4 Análise de consistência.....	50
5.2 Ajuste dos modelos	52
5.2.1 Análise comparativa entre modelos	53
5.2.2 Influência da posição no perfil do relevo na capacidade de infiltração.....	55
5.3 Correlação entre propriedades do solo e a capacidade de infiltração.....	57
5.4 Regressões dos parâmetros	59
6 CONCLUSÃO	62
7 RECOMENDAÇÕES.....	63
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

No Rio Grande do Sul (RS) intensificaram-se os debates relativos aos impactos da implantação da silvicultura, principalmente de eucalipto. Dentre as pesquisas em andamento para avaliar o impacto da implantação dessas florestas na metade sul do RS, encontra-se o projeto denominado Bacia Escola Floresta (Befloresta), criado pelo grupo de pesquisa em Gestão de Recursos Hídricos (GERHI) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), cujo objetivo principal é avaliar a influência da cobertura vegetal sobre o regime hidrológico, por meio do balanço hídrico local, utilizando-se duas microbacias, uma florestada com espécie do gênero *Eucalyptus* sp. e outra, com pastagem natural.

Frente à importância frequentemente debatida, sobre o uso racional dos recursos hídricos e, conseqüente, impacto das ações antrópicas sobre tal sistema, esta pesquisa experimental, com foco nos estudos da capacidade de infiltração, insere-se nessa questão. Integra também os estudos de análise dos impactos referentes à mudança de uso tradicional do solo (campo nativo com pastoreio) em substituição a outros usos do solo, como área florestada com eucalipto e área de reserva legal, em Bioma Pampa, na metade sul do RS. A dissertação foi gerada a partir do projeto BEFLORESTA citado anteriormente.

A utilização desordenada e a falta de gerenciamento dos recursos hídricos geram prejuízos relativos à disponibilidade e à qualidade da água e do solo, sendo que em muitas bacias hidrográficas já não existe água suficiente para atender às demandas em épocas de estiagem. Nesse contexto, o processo de infiltração de água no solo é de fundamental importância para o manejo, conservação do solo e da água.

Dessa forma, o conhecimento de suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (REICHARDT; TIMM, 2004), além de solucionar os problemas relativos às áreas de irrigação e drenagem, conservação da água e do solo e controle do deflúvio superficial (FIORIN, 2008).

O processo de infiltração sofre influência de diversos fatores, como: características da precipitação, umidade no solo antecedente à precipitação,

histórico de uso e manejo, cobertura vegetal, atividade biológica, rugosidade superficial, declividade e relevo (REICHERT et al., 1992), além da textura, porosidade e da estrutura do solo (SILVA; KATO, 1997).

Tendo em vista o exposto e que o processo de infiltração em dado tipo de solo, é dependente das condições de uso do solo as quais determinam as condições de permeabilidade superficial formula-se a seguinte hipótese: A mudança de uso tradicional do solo (campo nativo com pastoreio) em substituição a outros usos do solo, como área florestada com eucalipto e área de reserva legal afetam o comportamento do processo de infiltração.

O estudo do comportamento do processo de infiltração pode ser um indicador de impacto de alteração do uso do solo, pois se espera que, alterando-se o uso, modifique-se o grau de impermeabilização da superfície alterando as condições de infiltração.

Estudos de planejamento de recursos hídricos, por exemplo, necessitam conhecer os possíveis impactos decorrentes da implantação de determinados tipos de empreendimentos. A magnitude e a escala dos empreendimentos de silvicultura podem alterar significativamente esse processo de infiltração. O presente estudo visa contribuir para o crescimento desse conhecimento.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o comportamento do processo de infiltração como indicador de impacto da alteração do uso do solo em parcela florestada com eucalipto, reserva legal e campo nativo com pastoreio convencional, em Bioma Pampa na metade sul do RS.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o comportamento da capacidade de infiltração nos três diferentes usos;
- b) Avaliar a capacidade de infiltração em dois períodos com condições do tempo distintas entre si;
- c) Analisar a influência da posição do perfil no terreno no processo de infiltração de água no solo;
- d) Comparar modelos matemáticos que representam o processo de infiltração de água no solo;
- e) Identificar se o componente do modelo de Horton (If), correspondente a infiltração básica pode ser utilizado como indicador de impacto de alteração do uso do solo nos processos hidrológicos;
- f) Verificar a possibilidade de regionalizar os parâmetros do modelo selecionado associando-o a características físicas do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Infiltração de água no solo

A infiltração de água no solo é um processo físico extremamente complexo, uma vez que o solo é um meio heterogêneo, que pode apresentar grande variabilidade espacial, com características que sofrem alterações diferenciadas no tempo e no espaço (REICHERT et al., 1992).

O processo de infiltração é o processo pelo qual a água penetra no perfil do solo. Inicialmente, o volume infiltrado é mais elevado, decrescendo com o tempo e tornando-se constante no momento em que o solo chega à saturação (SOBRINHO et al., 2003).

As características do solo e da água, os fenômenos de entrada de água pela superfície, bem como a transmissão por intermédio do perfil e a capacidade de armazenamento do solo definem a infiltração e o escoamento na superfície do terreno. Pela compactação da sua camada superficial, o solo sofre aumento da densidade e redução da porosidade total, principalmente da macroporosidade, alteração na distribuição do tamanho dos agregados e diminuição na capacidade de adsorção de água pelo solo (MAIA et al., 2005; REICHERT et al., 2009), oferecendo à água maior dificuldade para penetrar, mesmo que, abaixo da camada compactada, o perfil apresente condições favoráveis à infiltração.

A taxa de infiltração de água é considerada um bom indicativo da qualidade física do solo (BERTOL et al., 2000). Quando a infiltração é reduzida a níveis muito baixos, aumenta o risco de erosão, de déficit hídrico e nutricional nas plantas, fazendo com que as raízes desenvolvam-se superficialmente, diminuindo a sua produtividade (MORAES et al. 1995).

Segundo Monegat (1991) a taxa de infiltração de água é a característica que melhor reflete a qualidade estrutural de um solo. Uma boa qualidade estrutural determina, além de maior infiltração, a redução do escoamento superficial e, em consequência, um melhor controle da erosão.

De acordo com Brandão et al. (2006), é da água que infiltra no solo e reabastece os aquíferos subterrâneos que dependem das vazões dos cursos d'água nos períodos de estiagem. Dessa forma, a melhoria das condições de infiltração da água no solo é uma condição essencial para o aumento da disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, o processo de infiltração é de fundamental importância para o manejo e a conservação do solo e da água. Sendo este fator limitante para a ocorrência de escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis como a erosão e as inundações (BRANDÃO et al., 2006).

A capacidade de infiltração é a taxa máxima com que um determinado solo pode absorver água em uma dada condição (MARTINS; PAIVA, 2001). Seu valor depende do conteúdo de água no solo, permeabilidade, temperatura do solo e da profundidade da camada impermeável, grau de compactação e cobertura vegetal. Esse é um parâmetro de maior importância no processo de transformação de chuva em vazão.

A redução da taxa de infiltração básica de água no solo pode ser atribuída a vários fatores, como por exemplo, cobertura do solo, declividade do terreno, presença de camadas subsuperficiais compactadas, conteúdo de água no solo antecedente à precipitação e à formação de selo superficial (REICHERT et al., 1992).

A infiltração de água no solo envolve três processos interdependentes: entrada de água no topo do solo, armazenamento dentro do solo e transmissão de água através do solo (REICHARDT, 1990). Portanto, qualquer alteração em um desses processos, especialmente alteração na infiltração no topo do solo modificará a resposta hidrológica de uma vertente (DUNNE; LEOPOLD, 1978).

A ocorrência de uma camada de menor permeabilidade da água no perfil do solo limita a sua capacidade de infiltração. O perfil do solo apresentará uma capacidade de infiltração igual à permeabilidade da camada limitante. Essa camada de impedimento poderá ser tanto arenosa como argilosa, dependendo da condição inicial de umidade do solo (LORENSI, 2011). Uma camada argilosa limita a infiltração em condições de saturação do solo enquanto que uma camada arenosa limita a infiltração em condições não saturadas do perfil (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

A taxa de infiltração é um fator de extrema importância prática nas relações água-solo-planta-atmosfera, visto que, muitas vezes, permite determinar a

precipitação efetiva infiltrada e o escoamento superficial do solo. Nos diversos sistemas de plantio, sua influência será maior ou menor, dependendo da umidade inicial, permeabilidade, das características físicas e químicas do solo, bem como do conteúdo da matéria orgânica e do grau de compactação do mesmo (SILVA, 2002).

3.2 Métodos de determinação

Para determinar a capacidade de infiltração de água no solo podem ser utilizados métodos simples que possam representar as condições em que o mesmo se encontra. Para tanto, é necessário que os métodos adotados permitam a reprodução de condições semelhantes àquelas observadas durante o processo ao qual o solo é submetido (PRUSKI et al., 1997). A taxa de infiltração é amplamente influenciada pelas condições de superfície e de conteúdo de umidade do solo. O conhecimento dessas condições é de fundamental importância para a interpretação dos resultados das análises (LORENSI, 2008).

Dentre as metodologias existentes para determinação da infiltração destacam-se os infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva (BUBENZER; MEYER, 1965; SOBRINHO et al., 2002), os infiltrômetros de anéis concêntricos ou duplo anel (AVILA, 2011; BERNARDO, 1995; FIORIN, 2008; LORENSI 2009), os permeômetros (REYNOLDS et al., 1992), os infiltrômetros de tensão ou permeômetros de disco (BORGES et al., 1999) e os infiltrômetros de pressão (ELRICK ; REYNOLDS, 1992). O infiltrômetro de anéis concêntricos e o simulador de chuvas são os mais usados em estudos hidrológicos.

É importante destacar que cada método apresenta aplicações específicas, com vantagens e desvantagens, dependendo do objetivo do trabalho e das características do sistema. Dessa forma, os resultados obtidos representam situações homogêneas de uso, manejo, relevo e solo, indicando que a transposição para diferentes escalas é de grande incerteza (LORENSI, 2008).

Infiltrômetros de aspersão ou simuladores de chuva são ferramentas de pesquisa projetadas para produzir precipitações de água de forma similar às chuvas naturais. Contudo, as características da chuva devem ser simuladas adequadamente, aos dados de escoamento superficial e erosão. Os resultados

devem ser analisados de maneira cuidadosa, para que sejam obtidas, informações de confiança para as condições em que as chuvas simuladas foram aplicadas (SILVEIRA; SALVADOR, 2000).

O simulador de chuvas deve permitir as características da precipitação, ou seja, intensidade e duração sejam ajustadas. Para isto, deve ser possível o ajuste de uma ampla faixa de intensidades de precipitação, de forma que sejam reproduzidas as características da chuva da região geográfica em análise (MOORE et al., 1983).

O simulador de chuvas é considerado o método de determinação da infiltração de água no solo que melhor representa a realidade do local. Com esse método é possível simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas. Contudo, fatores como tamanho, peso e custo do equipamento podem representar impedimento para a sua utilização. Nesse aspecto, os infiltrômetros de anéis concêntricos são os mais utilizados, pois apresentam vantagens, por serem relativamente pequenos, leves, de fácil transporte; os inconvenientes residem no fato de possuírem grande variabilidade espacial e elevado tempo de determinação (BRANDÃO et al., 2004).

O infiltrômetro de anéis concêntricos em função da grande variabilidade dos resultados necessita de um elevado número de determinações para que os resultados obtidos sejam confiáveis (FABIAN, 1993). Esse inconveniente decorre da pequena profundidade de penetração dos anéis, que possibilita maior efeito de bordadura, e a pequena área amostrada, além da variabilidade das características do solo.

Costa et al. (1999) utilizando o infiltrômetro de duplos anéis concêntricos e o simulador de chuvas, compararam os resultados obtidos na determinação da capacidade de infiltração de água de um Latossolo-Roxo distrófico, na região de Lavras, Minas Gerais (MG). Os pesquisadores observaram que a velocidade básica de infiltração na média de três repetições de cada metodologia, indicou valores de 21,90 mm h⁻¹ para o simulador de chuvas e de 47,22 mm h⁻¹ para os anéis concêntricos. Os achados apontaram que o valor da capacidade de infiltração determinada pelo simulador de chuvas foi menor que o obtido com os anéis concêntricos, devido à ação combinada da chuva e do escoamento superficial,

sugerindo o emprego do simulador de chuvas para projetos de irrigação por aspersão.

3.3 Modelos para a estimativa da infiltração

A infiltração de água no solo é um processo que pode ser descrito por diversas equações ou modelos, alguns desenvolvidos a partir de considerações físicas, enquanto outros são de forma empírica. De acordo com EPA (1998), as categorias de modelos de infiltração podem ser classificadas em função do objetivo do estudo, condições limites e natureza do sistema superficial.

Os modelos teóricos são regidos pelas leis físicas de fluxo em meios porosos, que normalmente são baseados na equação de Richards ou na equação de Darcy. A equação de Darcy é válida somente para condições na qual existe uma relação linear entre o fluxo e o gradiente hidráulico, o que só é verificado no regime de escoamento laminar (BRANDÃO et al., 2006).

Dentre os modelos teóricos, destacam-se os de Green e Ampt, Phillip e Morel-Seytoux. Esses modelos, ainda que sejam baseados em equações que descrevem o movimento de água em meios porosos, frequentemente superestimam a infiltração por não considerarem, em suas formulações, as características variáveis da estrutura do solo (BRANKENSIEK; RAWLS, 1983).

Dentre os modelos teóricos, um dos mais utilizados é o desenvolvido por Green e Ampt, que é baseado na equação de Darcy. Esse modelo admite no seu desenvolvimento as seguintes premissas (PRUSKI et al. 1997): existência de uma carga hidráulica constante na superfície do solo; solo com perfil homogêneo e profundidade infinita; existência de uma frente de umedecimento abrupta; potencial de água no solo, na frente de umedecimento, constante no tempo e ao longo da profundidade considerada (BRANDÃO et al., 2006).

O modelo de Philip é considerado um apropriado modelo para descrever a infiltração, uma vez que é baseado numa solução da equação de Richards. Entre as limitações apresentadas por esse modelo, estão a heterogeneidade do solo, a existência de solos pouco profundos e a presença de lençol freático raso (BRANDÃO et al., 2006).

Já o modelo de Green e Ampt serviu de base para o desenvolvimento da equação de Morel-Seytoux. Essa equação foi obtida levando em consideração que o movimento de ar no solo ocorre de forma simultânea com o movimento de água e que a infiltração ocorre devido à presença de uma lâmina de água na superfície (BRANDÃO et al., 2006).

Os modelos empíricos apresentam a vantagem de permitir relacionar os parâmetros do modelo às características do solo, sem que estes obrigatoriamente tenham significado físico e englobar, na determinação de suas constantes, fatores que são difíceis de ser considerados nos modelos teóricos, como por exemplo, a heterogeneidade do solo (FIORIN, 2008).

A principal desvantagem do emprego de equações empíricas é que os dados ajustados são válidos unicamente para as condições em que eles foram determinados, ou seja, não podem ser adotados para outros tipos de solo.

Uma das equações empíricas mais utilizadas é a desenvolvida por Horton em 1940. No modelo de Horton a redução de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que agem na superfície do solo, tais como selamento superficial, fenômenos de expansão e contração do solo (PREVEDELLO, 1996).

O parâmetro β do modelo de Horton representa a velocidade de decaimento da capacidade de infiltração. Quanto menor for o valor de β , mais rapidamente a capacidade de infiltração se reduz, diferentemente dos casos em que ele é mais elevado. O parâmetro I_f , que representa a taxa de infiltração final tem o valor máximo limitado pela percolação, recebendo influência dos macroporos (PINHEIRO, et al., 2009).

Outro modelo empírico utilizado é o modelo de Kostiaikov, o qual é limitado à situação em que existe disponibilidade de dados de infiltração observados para a determinação dos parâmetros k e α da equação, já que tais não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais, podendo ser determinados estatisticamente (BRANDÃO et al., 2006).

Esse modelo é uma equação do tipo potencial onde os dois parâmetros, k e α , são constantes que dependem do solo, das suas condições iniciais de umidade e segundo Carvalho et al. (1999) da taxa de variação da quantidade de água que se infiltra ao longo do tempo.

O modelo de Kostiaikov, ainda que seja estritamente empírico, apresenta valor de taxa de infiltração inicial tendendo para o infinito e taxa de infiltração para longos

valores de tempo tendendo a um valor próximo a zero, e não a um valor constante. O valor constante corresponde à taxa de infiltração estável, ou mesmo à condutividade hidráulica do meio saturado (BRANDÃO et al., 2006).

O comportamento do parâmetro k representa a taxa de infiltração sob condições de insaturação, sendo que quanto maior a capacidade de infiltração maior o valor de k . Valores mais altos de capacidade de infiltração são esperados para valores menores de umidade inicial do solo. O parâmetro α representa a infiltração acumulada com o tempo. Se essas taxas diminuem ao longo do tempo, o expoente α terá seu valor elevado para refletir uma relação mais linear entre a infiltração acumulada e o tempo (CARVALHO et al., 1999).

O modelo de Kostiaikov não pode ser aplicado a outros tipos de solo em condições diferentes daquelas em que seus parâmetros foram determinados (BRANDÃO et al., 2006).

Outro modelo amplamente empregado em manejo de irrigação é a equação de Kostiaikov-Lewis. Segundo Brandão et al. (2006), normalmente esse modelo é utilizado para a estimativa da infiltração acumulada, cujos parâmetros não têm significado físico próprio e são estimados a partir de dados experimentais.

Sobrinho et al. (2003), estudando a adequação das equações de Horton e Kostiaikov-Lewis, sob condição de chuva simulada de 60 mmh^{-1} em áreas de plantio direto e plantio convencional, concluíram que a equação de Horton mostrou-se mais adequada para a estimativa da taxa de infiltração de água.

O modelo empírico de Holtan parte da premissa de que a umidade, a porosidade e as fendas criadas no solo pelo sistema radicular da cultura (caminhos preferencias) são os principais fatores que afetam a capacidade de infiltração. Pela equação de Holtan é calculada a taxa de infiltração com base na capacidade de armazenamento de água disponível na camada superficial. É comumente utilizada para avaliar a infiltração de água advinda de chuvas (BRANDÃO et al., 2006).

3.4 Fatores que influenciam na capacidade de infiltração

A infiltração de água no solo é influenciada por um grande número de fatores relativos ao solo e às condições a que ele é submetido. Dentre esses fatores estão

as propriedades físicas do solo, principalmente a textura e a estrutura que influenciam expressivamente a movimentação da água. O tamanho das partículas e a macroporosidade são os atributos que influenciam na capacidade de infiltração (SILVA; KATO, 1997). A natureza e a quantidade de cobertura do solo, por evitar o impacto direto das gotas de chuva e pela formação de canais preferenciais formados pelo sistema radicular das plantas, também são fatores determinantes do processo de infiltração (FARIA et al. 1998).

Na relação floresta-água, a cobertura florestal produz influência positiva sobre a hidrologia do solo, oferecendo melhorias aos processos de infiltração, percolação e armazenamento da água, e reduzindo o escoamento superficial. Nessa ação, é muito importante a participação da vegetação herbácea e da manta orgânica, que normalmente recobrem o solo florestal, desempenhando papel fundamental na dissipação da energia das gotas das chuvas e na redução da velocidade de escoamento, colaborando também para a diminuição de processos erosivos (LIMA, 1986).

Segundo Reichert et al. (2009), outro aspecto importante da cobertura vegetal é atribuído ao sistema radicular da vegetação, pois durante o crescimento das raízes formam-se canais que facilitam o movimento das águas no perfil.

É importante ressaltar que são vários os fatores que podem afetar o processo de infiltração da água no solo. Dentre esses podemos citar: conteúdo inicial da água no solo; condutividade hidráulica do solo; superfície do solo (compactação por selamento devido ao impacto das gotas de chuva); presença de camadas com baixa permeabilidade; duração da chuva ou irrigação (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

Todos os fatores que influenciam na infiltração de água no solo, interferem também no escoamento superficial resultante (PRUSKI et al., 2003). O escoamento superficial tende a aumentar pela intensidade e a duração da precipitação e da área abrangida pela mesma. A cobertura e os tipos de uso do solo, além de seus efeitos sobre as condições de infiltração da água no solo, exercem importante influência na interceptação da água advinda da precipitação. Ao atingir o solo descoberto, a gota da chuva promove a formação de uma microcratera compactada que pode ser de até quatro vezes o tamanho da gota, reduzindo dessa forma as condições favoráveis à infiltração da água no solo (FIORIN, 2008).

O aumento da densidade do solo diminuiu a infiltração de água. Os valores críticos dessa propriedade variam de acordo com a classe textural do solo, indicando

limites críticos de densidade do solo para solos franco-arenosos, franco argilosos e francos de 1,41 a 1,53 Mg m⁻³ e para solos franco siltosos de 1,25 a 1,46 Mg m⁻³ (DIEBOLD, 1954).

Valores mais elevados de densidade do solo em superfície, em plantios florestais, podem estar relacionados ao tempo de utilização da área, arquitetura do sistema radicular, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas, trânsito de máquinas e implementos agrícolas e condições de umidade do solo no preparo do solo e no plantio das mudas (COSTA et al., 2003).

Martins et al. (2002), estudando as alterações dos atributos físicos do solo sob diferentes coberturas florestais observaram que solos sob floresta nativa apresentaram menor densidade, na camada superficial, do que solos sob povoamentos florestais de *Pinus* sp., *Eucalyptus* sp. e *Hevea brasiliensis*.

A textura do solo é uma característica pouco variável no tempo e pouco afetada pelo manejo (REINERT et al., 2001). Dessa forma, as modificações físicas dos solos estão associadas a sua estrutura. A textura e a estrutura são características que influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, uma vez que determinam a quantidade de macroporos presentes em seu perfil, os quais são de extrema importância na condutividade hidráulica apresentada pelos solos (FIORIN, 2008). Também interferem expressivamente na infiltração a forma dos poros e a sua continuidade. Solos de textura grossa, ou seja, arenosos, possuem maior quantidade de macroporos que os de textura fina (argilosos) e, conseqüentemente, apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração (FIORIN, 2008).

A quantidade e o modo como os poros estão distribuídos no solo afetam diretamente no processo de infiltração de água no solo (ELTZ et al., 1989), bem como na capacidade de armazenamento e no movimento da água no solo (HILLEL, 1980). A distribuição dos poros depende da textura e estrutura do solo, e pode ser obtida por meio da curva característica de água no solo. A água presente nos macroporos é facilmente drenada pela ação da gravidade e, parte da água retida nos microporos não é disponível às plantas (REICHERT et al., 2003).

Outros fatores também influenciam na infiltração de água no solo além da sua estrutura e estabilidade, como já exposto. Ankeny et al. (1990) apontam a densidade do solo, porosidade do solo e selamento superficial; Singh et al. (1994) fazem referência à cobertura do solo e carbono orgânico. Oka (1988) destaca que a

presença de macroporos contínuos, como os poros construídos por minhocas e outros organismos, também aumenta a infiltração de água no solo.

Contudo, para que o macroporo influencie na infiltração de água, é necessário que esse esteja aberto até a superfície do solo, já que, teoricamente, havendo potencial matricial no solo, não há movimento de água do solo para o poro quando este estiver obstruído na superfície (GARDNER, 1979). Portanto, o tamanho, a quantidade, a continuidade, a distribuição e a configuração dos poros são importantes características de estrutura do solo (RUSSEL, 1941).

Fatores como infiltração de água, resistência a penetração de raízes, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo são indicadores do estado em que a estrutura do solo se encontra e do seu estado de compactação (REICHERT et al., 2003), porém, a infiltração da água é o indicador mais importante, pois integra vários fatores como distribuição do tamanho de poros e continuidade de poros.

Além de a distribuição e o diâmetro dos poros regular o comportamento físico-hídrico no solo, os microporos são responsáveis pela retenção de água e solutos no solo, já os macroporos são responsáveis pela drenagem, tendo influência sobre a infiltração, drenagem e perdas de solo e de água por erosão, as quais afetam negativamente o desenvolvimento das culturas e qualidade ambiental (ABREU et al., 2004).

Os processos de infiltração de água no solo, projetos de irrigação e drenagem, perdas de fertilizantes e de solo por erosão e de substâncias químicas por lixiviação geralmente estão relacionados ao fluxo de água, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos solo e água. Dentre as variáveis que influenciam este fluxo, a condutividade hidráulica do solo se destaca. Ela é um parâmetro que representa a facilidade com que o solo transmite água. O valor máximo de condutividade hidráulica é alcançado quando o solo se encontra saturado, e é denominado de condutividade hidráulica saturada (REICHARDT, 1990).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização das áreas de estudo

4.1.1 Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHRSM) situa-se na fronteira sudoeste do Rio Grande do Sul (RS); faz divisa com o Uruguai, abrangendo os municípios de Bagé, Dom Pedrito, Rosário do Sul, Santana do Livramento, São Gabriel, Lavras do Sul e Cacequi, conforme pode ser observado na Figura 1. Possui área de 15.754 km², o que corresponde a, aproximadamente, 5,6% da área do RS (SILVEIRA et al., 2005).

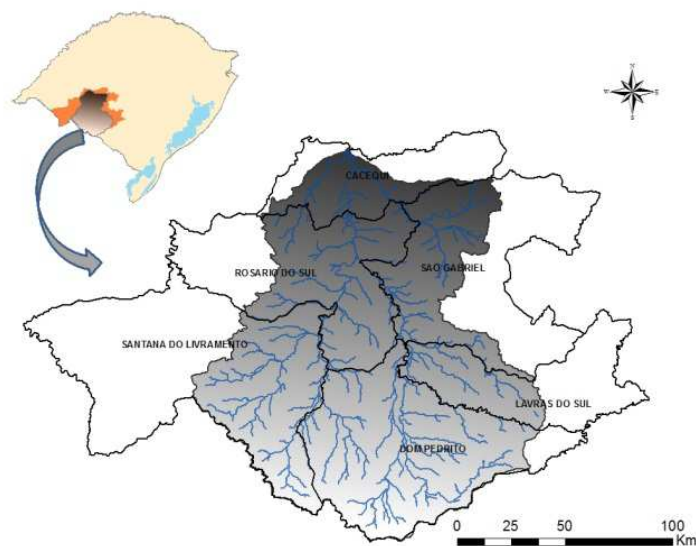


Figura 1- Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria com a indicação dos municípios que a compõem.

Fonte: Adaptado UFSM, 2006.

Essa bacia hidrográfica caracteriza-se, principalmente, pela atividade agropecuária, apresentando paisagens típicas da fronteira gaúcha. Nessas paisagens, de campos entremeados com várzeas ocupadas por rotação de pastagem natural e lavoura de arroz, a pecuária extensiva tradicional se mescla com a orizicultura moderna (UFSM, 2006).

Segundo Forgiarini (2006), a maior parte da BHRSM encontra-se nas áreas de ocorrência das vegetações do tipo Estepe (Campanha Gaúcha) e Savana (Campos). Segundo o mesmo autor, a ocorrência de florestas está mais restrita a floresta estacional decidual aluvial pelas margens dos principais rios da região, juntamente com florestas de galeria que ocorrem em alguns locais.

De acordo com Hausman (1995), através do sistema Köppen, a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria pode ser classificada em dois tipos essenciais de clima, o C_{fah} e o C_{fak}. Ambos são temperados quentes ou mesotermiais sem estação seca, do tipo fundamental e subtropical com verões quentes. O C_{fah} é o que mais ocorre, caracterizando em torno de 75% da área da bacia, segundo Descovi Filho (2008), com invernos moderados e temperatura média anual superior a 18°C. Já o C_{fak}, segundo o mesmo autor, apresenta inverno frio, com temperatura média anual inferior a 18°C.

Segundo Eckert e Caye (1995), o clima é Temperado Tropical, apresentando uma faixa de variação de precipitação entre 1500 e 1600 mm por ano. A temperatura média anual é de, aproximadamente, 18°C, com mínima média próxima dos 12°C e máxima média em torno dos 23°C, podendo apresentar temperaturas negativas no período de outono/inverno e geadas.

4.1.2 Áreas de estudo

Este estudo foi desenvolvido em encostas representativas de duas microbacias com características semelhantes de solo, regime de precipitação e relevo. As microbacias localizam-se no município de Rosário do Sul, na porção sudoeste do RS, entre os rios Santa Maria e Ibicuí da Armada (Figura 2) e possuem diferentes coberturas vegetais: área florestada com eucalipto (FL), área de reserva legal (RL) e área de campo nativo com pecuária extensiva (CN).

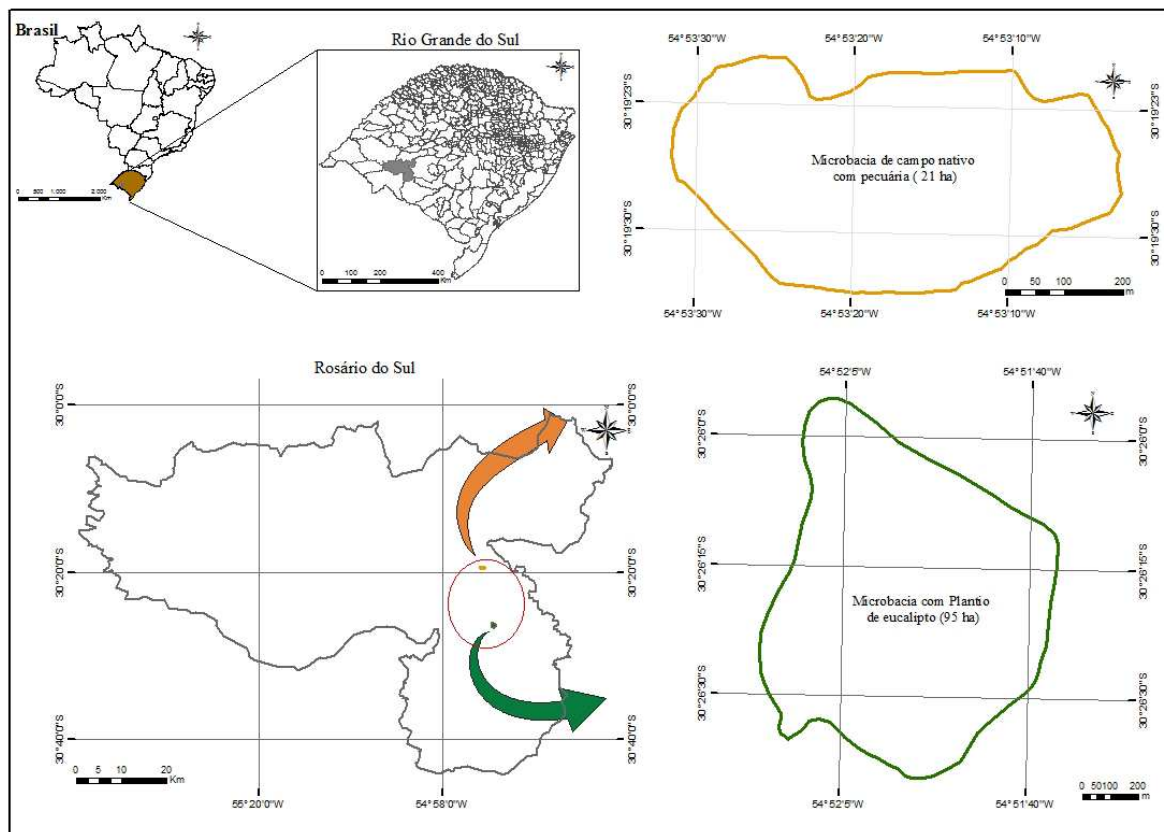


Figura 2- Mapa de localização das microbacias com as respectivas coordenadas.

Fonte: Adaptado de Baumhardt (2010).

De acordo com a classificação de Ab'Saber (1970), as áreas de estudo apresentam características morfológicas e geológicas do tipo “coxilha” com relevo bastante homogêneo, composto, de modo geral, por colinas suaves, bem arredondadas e com declividade em torno de 8 a 10% (RADAMBRASIL, 1986).

Em relação ao solo, ambas as áreas pertencem à Unidade de Mapeamento Santa Maria, cujos solos se caracterizam por serem medianamente profundos, com cores bruno-acinzentadas no horizonte A e bruno-amareladas no horizonte B (STRECK et al., 2008).

Segundo Reinert et al. (2007), a formação do solo ocorreu a partir de siltitos e arenitos de deposição lacustre da Formação Santa Maria. Apresentam moderada a forte suscetibilidade à erosão e possuem boa capacidade de retenção de água, podendo apresentar, porém, deficiência devido à ocorrência de períodos secos na região.

4.1.2.1 Encosta na Microbacia Florestada

A Microbacia Florestada (MF), com silvicultura de eucalipto para celulose, pertence à multinacional Stora Enso e localiza-se na Fazenda Estância Tarumã (Figura 3). O cultivo do *Eucalyptus* spp. nesse local é regido pela legislação ambiental do RS e pelas normas de certificação, como a ISO 14.000. A área de abrangência dessa microbacia é de 95 hectares (0,95 km²), dos quais 48,85 hectares são cobertos por eucaliptos e 46,15 são Área de Preservação Permanente (APP) e de reserva legal (Figura 4).



Figura 3 - Microbacia Florestada e área de reserva legal, Rosário do Sul (RS).

Na microbacia, há três espécies cultivadas de eucalipto: *Eucalyptus urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, sendo a primeira responsável pela cobertura de 91,4% da área plantada.

O preparo do solo para a implantação dos povoamentos teve início em novembro de 2006, com o procedimento de subsolagem por meio do uso de subsolador com três hastes, incorporando 300 kg ha⁻¹ de fosfato natural reativo (GAFSA, 12 % P₂O₅ solúvel em ácido cítrico) na linha de plantio, a uma profundidade de 40 cm, e, após, grade leve (GUIMARÃES, 2013).



Figura 4 - Área de reserva legal em detalhe, Rosário do Sul (RS).

Na encosta a espécie cultivada é o *Eucalyptus urograndis* com espaçamento de 3,5 m x 2,5 m. Esse povoamento possui 1194,1 árvores/ha com área basal de 4,44 m², altura média dos indivíduos 23 m e DAP médio (diâmetro à altura do peito-1,30 m da superfície do solo) de 143,47 cm.

A RL caracteriza-se por campo nativo sem pastoreio e está a esse tipo de uso do solo desde a implantação dos povoamentos de eucalipto.

As principais espécies arbustivas identificadas que se apresentam em maior frequência nessa área, foram: *Eragrostis plana*, *Paspalum notatum*, *Baccharis dracunculifolia*, *Axonopus affinis* e *Baccharis* sp, destacando-se as famílias Poaceae e Asteraceae. A ocorrência dessas espécies em maior frequência deve-se a retirada da pecuária nesta área, favorecendo no crescimento da vegetação arbustiva e, por conseguinte da arbórea, inibindo o crescimento de espécies heliófilas de pequeno porte (Figura 5).



Figura 5- Reserva Legal em detalhe, vegetação arbustiva, Rosário do Sul (RS).

4.1.2.2 Encosta na Microbacia de Campo Nativo

A Microbacia de Campo Nativo (MC) com pastoreio (Figura 6) situa-se na localidade do Campo Seco, a 11 km da sede do município, e pertence a Ildo Spanevello, agropecuarista, dono da Fazenda São Carlos. Essa microbacia destina-se, totalmente, à criação extensiva de gado para corte, sendo coberta por pastagem nativa do Bioma Pampa (vegetação campestre nativa) e contendo 21 hectares (0,21 km²) de área de captação da bacia.

A vegetação da área de estudo (CN), representa uma típica paisagem do bioma Pampa, contendo em meio à fisionomia rupestre fragmentos florestais no entorno de afluentes hídricos e em partes mais baixas do terreno (Figura 7).

Quanto à florística foram identificadas na área espécies rizomatosas estoloníferas de pequeno a médio porte, representadas especialmente por exemplares da família Poaceae, em termos de frequência de indivíduos destacam-se as espécies: *Paspalum dilatatum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum distichum* e *Eragrostis plana*. Também foi possível observar a presença de espécies arbustivas dispersas irregularmente pela área de estudo, destacando-se dentre essas *Baccharis* sp, *Baccharis trimera* e *Senecio brasiliensis*, todas pertencentes à família

Asteraceae. Segundo Abrão et al. (1988), em geral, os campos apresentam elevada incidência de espécies arbustivas como as observadas na área.



Figura 6 – Microbacia de campo nativo com pecuária extensiva, Rosário do Sul (RS).



Figura 7- Vista geral da vegetação da área de CN, Rosário do Sul (RS).

4.2 Determinação da infiltração de água no solo

Este estudo foi desenvolvido a partir de ensaios de infiltração (48 pontos amostrais) realizados em dois períodos com condições do tempo distintas entre si (período com chuvas acima e abaixo da média histórica), localizados em solos classificados como Argissolo Bruno Acinzentado Alítico em transição para os Planossolos da Depressão Central (STRECK et al., 2008).

A primeira campanha realizada no período com chuvas acima da média histórica da região foi em junho de 2011 e, para efeitos dessa dissertação será chamada daqui em diante “**campanha de inverno**”. Esse mês apresentou média pluviométrica 94 mm, sendo que a média histórica para essa região é de 137 mm, apresentando-se em 29,2% abaixo da média. A temperatura média foi de 21°C, umidade relativa do ar de 76,75% e evapotranspiração 27,85 mm (INMET, 2014).

A segunda campanha, com chuvas abaixo da média histórica da região ocorreu em janeiro de 2012 e, para efeitos dessa dissertação será chamada daqui em diante de “**campanha de verão**”. Observou-se média pluviométrica de 7,4 mm, estando 93,46% abaixo da média histórica (113 mm) caracterizando-se em um mês atípico de estiagem severa. A temperatura média foi de 28,4°C, umidade relativa do ar 56,25% e 131,9 mm de evapotranspiração (INMET, 2014).

Deve-se levar em consideração para a realização desse tipo de estudo condições de logística e equipe. Os testes de infiltração (Figura 8 A), as coletas de solo para análise das propriedades físicas do solo, foram realizados no mesmo dia para se ter as mesmas condições, em cada área de estudo demandando de equipe para cada atividade. A coleta de solo das trincheiras para complementação dos dados foi realizada em período distinto aos testes.

Na campanha realizada no verão a demanda de água para utilização nos testes foi maior, sendo necessário o apoio de tanque de abastecimento (Figura 8 B), diante das dificuldades de se conseguir água suficiente no local. Já na campanha do inverno a demanda foi menor, mas houve a necessidade de levar água armazenada em toneis de 100 litros.



Figura 8- Realização dos testes (A), apoio tanque de abastecimento (B), Rosário do Sul (RS).

Como cada teste de infiltração leva duas horas para finalização deve-se ter o controle do tempo de execução de todas as repetições por área de estudo antes da realização a campo. Também devem ser acompanhadas as condições do tempo em relação às precipitações antecedentes a data da realização dos testes.

A escolha de cada ponto de amostragem levou em conta a facilidade de acesso e os diferentes tipos de uso do solo.

Para cada uso do solo, foram consideradas duas posições na mesma vertente para a caracterização da infiltração no perfil do terreno (Figuras 9 e 10).

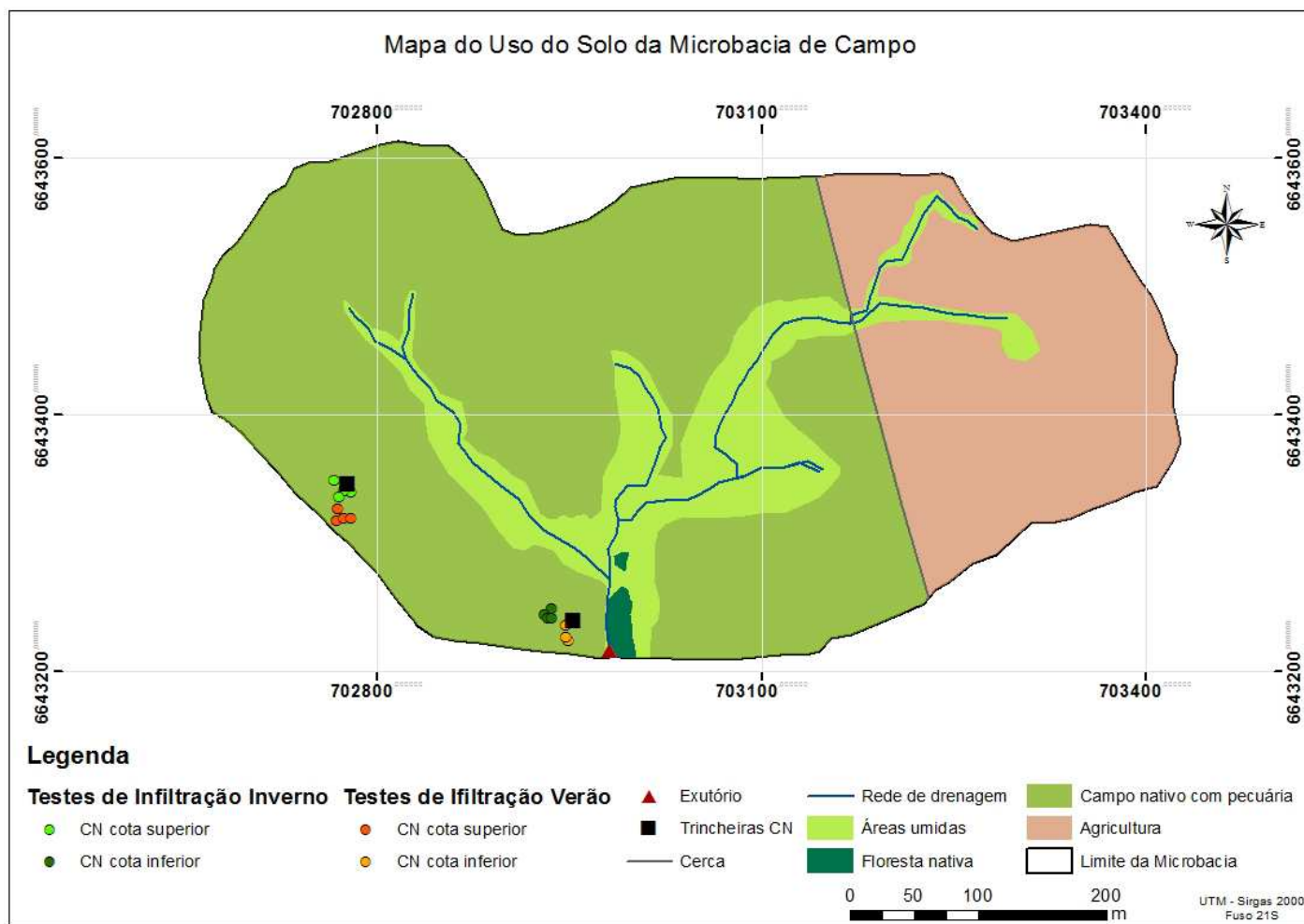


Figura 9- Mapa do uso do solo e localização dos testes de infiltração na encosta representativa da microbacia de campo nativo com pecuária extensiva, Fazenda São Carlos, Rosário do Sul (RS).

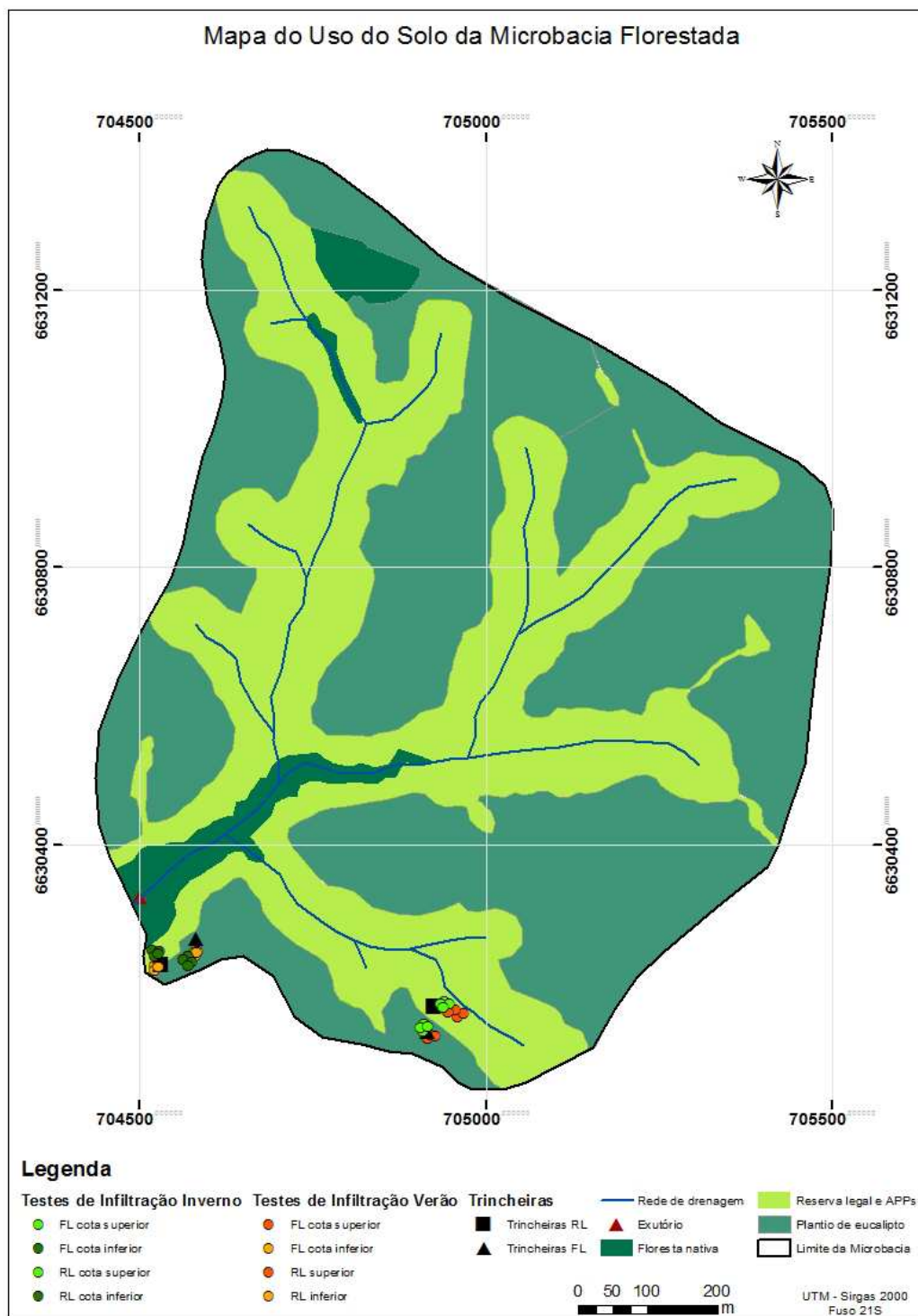


Figura 10- Mapa de uso do solo e localização dos testes de infiltração na encosta representativa da microbacia florestada e área de reserva legal, Fazenda Estância Tarumã, Rosário do Sul (RS).

Para determinação das quantias infiltradas, utilizou-se o infiltrômetro de anéis concêntricos ou de duplo anel (Figura 11), que é o equipamento comumente

empregado para mensuração da infiltração, devido, sobretudo, à simplicidade e facilidade de execução dos testes (BERNARDO, 1995).

Os anéis metálicos do infiltrômetro possuem diâmetros de 20 e 40 cm, ambos com 15 cm de altura e são penetrados a 10 cm de profundidade no solo. A infiltração foi medida pela determinação da variação de leitura (0 a 100 cm) obtida na régua instalada em um tubo de PVC de 150 mm de diâmetro. Este, suspenso por meio de um tripé de ferro e alocado sobre o anel menor diâmetro. Coloca-se água em ambos os anéis para que a infiltração ocorra de forma vertical, sendo mantida uma lâmina de água constante, com carga hidráulica de 4 cm de altura. O infiltrômetro utilizado é semelhante ao descrito por Siqueira e Denardin (1985) e adaptado por Lanzanova (2005).

As medições foram realizadas nos intervalos de tempo predeterminados conforme literatura (5, 10, 15, 20, 30, 60, 90 até 120 minutos).

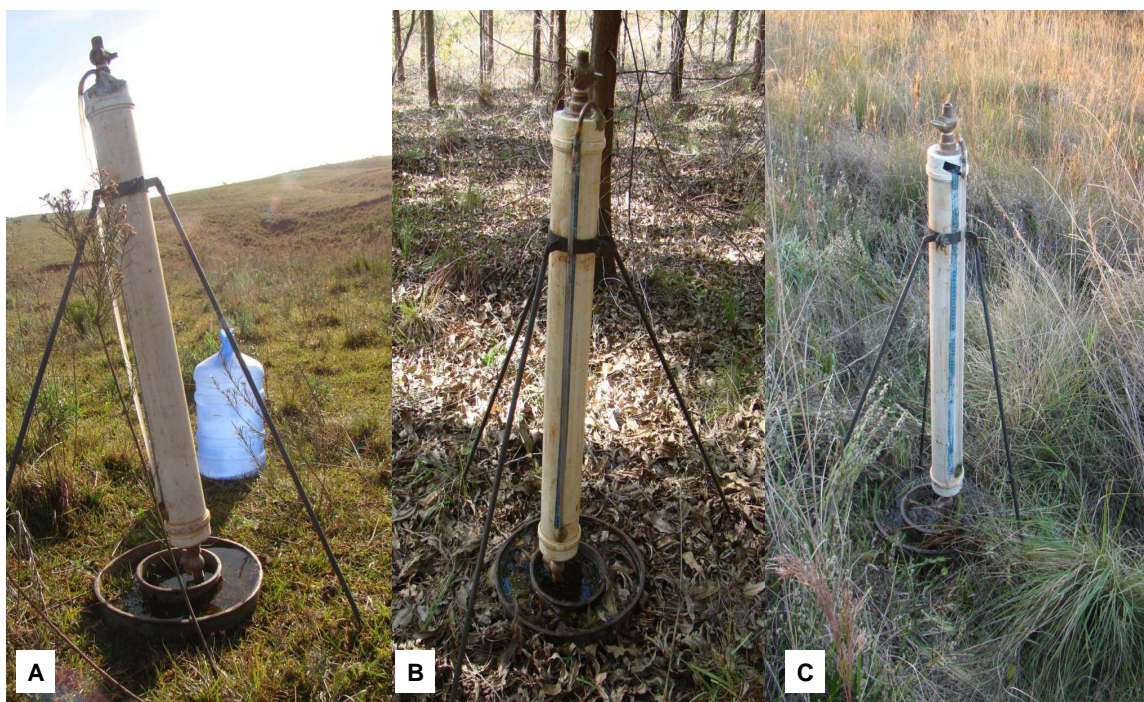


Figura 11- Infiltrômetro na área de CN (A), área da FL e RL (B, C), Rosário do Sul (RS).

A determinação da infiltração foi efetuada com oito repetições simultâneas por área, oito repetições na cota superior (áreas 1, 3 e 5) e oito repetições na cota inferior (áreas 2, 4 e 6) para cada uso diferenciado do solo - CN, FL e RL, totalizando seis áreas com 16 repetições cada, conforme esquema da Figura 12.

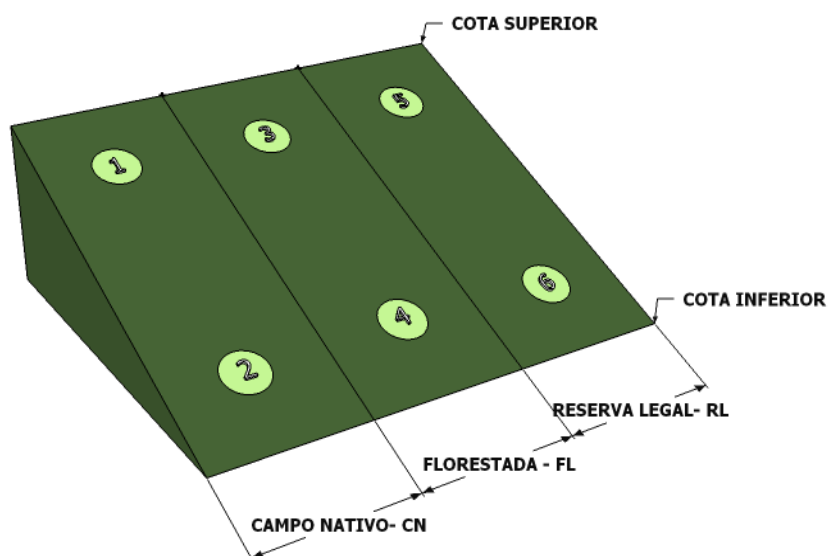


Figura 12- Croqui do experimento.

Fonte: Adaptado de Baumhardt (2014).

Com os dados obtidos de infiltração, foram ajustadas equações para taxa de infiltração, conforme os modelos de Horton (Equação 1), Kostiakov (Equação 2) e Kostiakov-Lewis (Equação 3), descritos por Brandão et al., (2006).

As equações de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis são expressas, respectivamente, por:

$$I = I_f + (I_i - I_f) \cdot e^{-\beta t} \quad (1)$$

$$I = \alpha k t^{(\alpha-1)} \quad (2)$$

$$I = (\alpha k t^{(\alpha-1)}) + I_f \quad (3)$$

Onde I é a taxa de infiltração em um instante qualquer (mm/h), I_i é a taxa de infiltração inicial (mm/h), I_f é a taxa de infiltração final ou básica – solo em condição de saturação (mm/h), t é o tempo (horas), α , k são os parâmetros determinados estatisticamente a partir das medições de campo e β representa a velocidade de decaimento da capacidade de infiltração.

Após a obtenção da taxa de infiltração para cada infiltrômetro, analisaram-se, individualmente, os resultados obtidos e, após, procedeu-se à análise de consistência e/ou eliminação dos testes quando houve falha do equipamento no momento da realização dos ensaios de infiltração.

Foi realizada análise comparativa entre os modelos a partir dos valores do coeficiente de determinação r^2 . O modelo que se ajustou de forma satisfatória foi adotado para as análises posteriores.

A fim de obter uma equação que representasse a infiltração a partir dos dados das propriedades físicas do solo, verificou-se o efeito destas sobre cada um dos parâmetros do modelo, por meio da análise de correlação de Pearson, que foi realizada no pacote estatístico SAS 9.2 (2009). As correlações foram analisadas por diferente posição no terreno e condição climática, com probabilidade de 1 e 5%.

Para ajustar as regressões foram utilizadas as variáveis que tiveram correlação com os parâmetros do modelo realizado no pacote estatístico SAS 9.2 (2009).

4.3 Determinação das características físicas do solo

Para analisar e interpretar os resultados da infiltração é importante conhecer o perfil do solo com as suas características tanto de granulometria como de estrutura, as quais determinam as condições hidráulicas do escoamento ao longo do perfil e os limites para infiltração. Para isso foram coletadas amostras de solo, simultaneamente aos testes de infiltração, e, para complementação das características físicas do solo, foram realizadas duas prospecções na forma de trincheiras para cada área de estudo. A locação das trincheiras foi realizada conforme as diferentes feições do relevo (cota superior, e cota inferior), próximas

aos locais dos testes de infiltração para reduzir a influência da variabilidade espacial dos atributos do solo.

A descrição dos perfis de solo, como também, as coletas de amostras deformadas e indeformadas foram realizadas conforme Santos et al. (2005).

As análises físicas dos solos foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria - RS. As determinações de densidade do solo (D_s), porosidade total (P_t), macroporosidade (Macro) e microporosidade (Micro) foram realizadas conforme Embrapa (1997). Foi determinado no permeâmetro de carga constante a condutividade hidráulica do solo saturado (K_{sat}) e a composição granulométrica seguiu o método da pipeta, conforme Embrapa (1997). A fração areia foi fracionada em malhas de 0.250 mm, 0.125 mm, 0.125 mm e 0.050 mm.

Para verificar o efeito do uso do solo, e do relevo sobre as características físicas do solo, foi realizado o teste de médias de Tukey a 5 % de probabilidade, no software ASSISTAT versão 7.6 betat (SILVA, 2011).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dados experimentais

5.1.1 Propriedades físicas do solo

Foram realizadas análises de solo para caracterização da área florestada com eucalipto (FL), área de reserva legal (RL) e área de campo nativo com pastoreio (CN). Os resultados apresentam-se nas Figura 13; 14 e nas Tabelas 1 e 2.

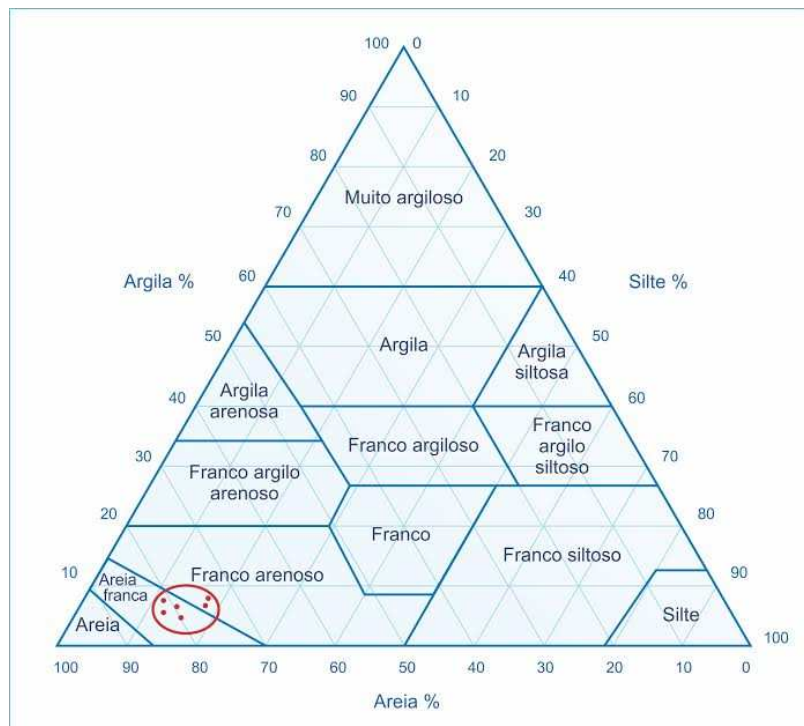


Figura 13- Diagrama textural do horizonte A das áreas em estudo.

Fonte: SBCS (2010).

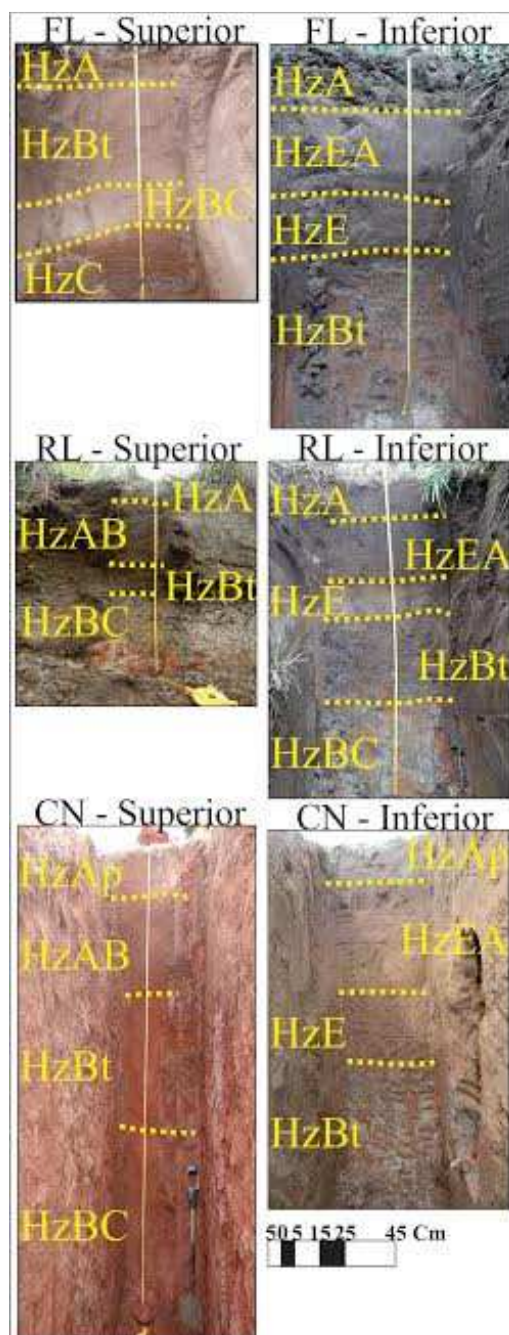


Figura 14- Trincheiras realizadas nas áreas de estudo, por posição do perfil no terreno (cota superior e inferior) com os horizontes do solo.

Tabela.1- Horizontes das áreas em estudo e classificação textural, por posição do perfil no terreno (cota superior e inferior).

Área	Profundidade (cm)	Horizontes	Classe textural
FL Superior	0-15	A	Areia franca
	15-41	Bt	Franco argiloso
	41-60	BC	Franco argilo arenoso
	60-150	C	Franco arenoso
FL Inferior	0-15	A	Franco arenoso
	15-62	EA	Franco arenoso
	62-104	E	Areia franca
	104 +	Bt	Franco argiloso
RL Superior	0-15	A	Franco arenoso
	15-57	AB	Franco arenoso
	57-72	Bt	Franco argiloso
	72-118	BC	Franco siltoso
RL Inferior	0-15	A	Areia franca
	15-45	EA	Areia franca
	45-63	E	Areia franca
	63-105	Bt	Franco argiloso
	105-155	BC	Franco argiloso arenoso
CN Superior	0-30	Ap	Areia franca
	30-85	AB	Franco arenoso
	85-165	Bt	Franco argiloso
	165-212	BC	Franco
CN Inferior	0-15	Ap	Areia franca
	15-55	EA	Areia franca
	55-110	E	Areia franca
	110-140	Bt	Franco argiloso

Tabela 2 - Granulometria, densidade e condutividade hidráulica do solo nas áreas avaliadas.

Área	Profundidade (cm)	Textura (%)						Ds (g cm ³)	Porosidade (%)			Ksat (mm/h ⁻¹)
		Argila	Areia ≥ 0.250 mm	Areia ≥ 0.125 mm	Areia ≤ 0.125 mm	Silte	Areia total		Macro	Micro	Pt	
FL Sup.	0-15	8,85	16,05	46,48	19,42	9,21	81,94	1,27	27,56	18,12	45,68	31,658
	15-41	12,08	21,29	38,30	16,56	11,78	76,14	1,41	20,21	18,72	38,93	7,525
	41-60	21,11	18,69	35,45	13,43	11,31	67,58	1,43	16,31	22,93	39,24	7,967
	60-150	18,45	13,81	38,23	15,90	13,61	67,94	1,50	11,74	31,79	43,52	0,779
FL Inf.	0-15	7,82	8,43	43,78	27,18	12,79	79,39	1,29	30,14	15,90	46,04	44,820
	15-62	8,94	8,03	41,47	30,27	11,30	79,77	1,49	20,34	18,53	38,87	6,652
	62-104	3,80	10,66	43,44	27,88	14,21	81,98	1,54	18,69	16,14	34,83	13,930
	104 +	27,73	8,60	37,65	13,46	12,55	59,72	1,55	14,61	23,38	37,99	17,080
RL Sup.	0-15	9,13	25,68	40,72	13,09	11,38	79,49	1,27	26,57	20,82	47,40	30,110
	15-57	13,22	20,99	43,09	11,60	11,10	75,68	1,45	14,70	19,65	34,35	8,745
	57-72	39,53	13,89	26,66	9,45	10,47	50,00	1,29	8,42	37,34	45,77	0,158
	72-118	26,49	11,47	21,10	3,30	37,64	35,86	1,33	7,75	37,77	45,53	0,141
RL Inf.	0-15	7,02	10,98	46,24	25,13	10,63	82,35	1,39	15,69	24,46	40,14	11,438
	15-45	6,52	10,99	47,17	25,54	9,78	83,69	1,51	15,77	15,54	31,31	8,062
	45-63	5,51	10,81	46,25	27,43	10,01	84,48	1,57	21,49	13,35	34,84	13,644
	63-105	36,28	6,45	27,79	16,77	12,70	51,02	1,46	6,91	34,95	41,86	0,213
	105-155	25,96	8,57	32,71	18,71	14,05	59,99	1,58	5,65	31,47	37,12	0,157
CN Sup.	0-30	8,07	8,697	38,370	33,936	10,93	81,00	1,40	23,98	16,23	40,21	16,944
	30-85	14,68	8,648	34,590	29,764	12,32	73,00	1,57	15,30	16,76	32,06	1,835
	85-165	37,74	7,871	25,076	17,457	11,86	50,40	1,55	15,69	16,19	31,88	0,430
	165-212	21,77	5,570	14,835	37,316	20,51	57,72	1,51	7,45	29,77	37,22	0,525
CN Inf.	0-15	6,71	10,170	54,860	18,988	9,27	84,02	1,54	17,09	17,99	41,18	4,550
	15-55	8,22	9,419	44,188	27,555	10,62	81,16	1,49	19,65	15,92	35,57	6,978
	55-110	6,01	8,809	51,451	23,023	10,71	83,28	1,50	20,64	17,05	37,69	8,380
	110-140	31,79	6,004	30,979	21,039	10,19	58,02	1,48	19,52	16,01	35,53	7,966

Areia total: 2,00 – 0,05 mm, Silte: 0,05 – 0,002 mm, Argila: < 0,002 mm, Ds: densidade do solo, Macro: macroporosidade, Micro: microporosidade, Pt: porosidade total do solo, Ksat: condutividade hidráulica do solo, FL: área florestada com eucalipto, RL: área de reserva legal, CN: campo nativo com pastoreio, Sup. : cota superior e Inf.: cota inferior.

5.1.2 Influência do uso nas propriedades do solo

As análises da influência do uso e propriedades do solo nas variáveis hidráulicas foram realizadas para os horizontes A e B textural do solo. A Tabela 3 apresenta os valores médios dos parâmetros físicos do solo na camada superficial do solo (horizonte A).

Tabela 3- Valores médios dos parâmetros físicos do solo na camada superficial do solo.

Uso	Variáveis				
	Ds	Macro	Micro	Pt	Ksat
RL	1,33 b	21,13 b	22,64 a	43,76 a	20,77 b
FL	1,27 b	28,85 a	17,01 b	45,85 a	38,23 a
CN	1,45 a	21,37 b	17,29 b	38,67 b	13,08 c

Cota	Variáveis				
	Ds	Macro	Micro	Pt	Ksat
Superior	1,30 b	26,76 a	18,17 a	44,94 a	26,23 a
Inferior	1,40 a	20,81 b	19,78 a	40,58 b	20,26 a

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ds (g cm^{-3}): densidade do solo; Macro (%): macroporosidade; Micro (%): microporosidade; Pt (%): porosidade total e Ksat (mm/h^{-1}): condutividade hidráulica do solo.

Em relação à densidade do solo considerando o CN como testemunha do que eram anteriormente as áreas de FL e RL podem-se visualizar mudanças nas propriedades físicas do solo. Percebeu-se uma menor densidade nas áreas da FL e RL em comparação ao CN. Essa menor densidade pode estar influenciando na diferença estatística da macroporosidade e condutividade hidráulica do solo (Ksat).

Embora o histórico da RL seja um pretérito de pecuária pode-se observar que os 7 anos da retirada do gado já esta influenciando na mudança do padrão físico do solo porque as áreas de RL e FL não diferiram significativamente em relação à densidade e porosidade total do solo, mas estatisticamente diferiram do CN.

Os valores de densidade encontrados, tanto para as diferentes áreas, quanto para as cotas avaliadas, estão de acordo com Brady (1989), o qual considera como

faixa adequada e não restritiva ao crescimento radicular das culturas em solos de textura arenosa a variação de 1,20 a 1,80 g cm⁻³.

A composição granulométrica das áreas é similar situando-se entre areia franca a franco arenoso, conforme diagrama textural do solo (Figura 13). Provavelmente a diferença encontrada entre as propriedades do solo, seja devida o diferente uso do solo, pois essas áreas apresentam similar textura.

Pode-se observar uma maior proporção de macroporos na área de FL e igual proporção nas áreas de RL e de CN. Esses resultados podem evidenciar o favorecimento do enraizamento das espécies florestais, a subsolagem no preparo do solo no plantio e a redução desses poros de aeração pelo efeito do aumento da densidade na camada superficial do solo devido ao pisoteio do gado presente na área de CN. No presente estudo, os resultados corroboram com os encontrados por Cavenage et al. (1999), pois ocorreu relação entre a densidade e a macroporosidade na camada superficial analisada.

O uso do solo pode estar influenciando a condutividade hidráulica (Ksat) na camada superficial do solo, sendo superior nas áreas FL, RL conforme se observa na Tabela 3.

A macroporosidade e a porosidade total (Pt) apresentam uma mesma tendência linear e relação crescente com o Ksat, pois quanto maior a quantidade de poros, maior o Ksat na camada superficial. Esses atributos físicos do solo são os que mais explicam a variação na condutividade hidráulica (Ksat), juntamente com a densidade e diferentemente da microporosidade.

A diferenciação das propriedades em relação à posição no terreno foi significativa para a microporosidade, não diferindo para as demais propriedades do solo na camada superficial (Tabela 3) e no horizonte Bt do solo (Tabela 4).

Tabela 4- Valores médios dos parâmetros físicos do solo no horizonte B textural do solo.

Uso	Variáveis				
	Ds	Macro	Micro	Pt	Ksat
RL	1,48 ab	15,23 b	17,59 ab	32,83 b	0,84 a
FL	1,44 b	20,27 a	18,62 a	38,89 a	0,71 a
CN	1,52 a	17,12 b	16,66 b	33,78 b	0,43 a

Cota	Variáveis				
	Ds	Macro	Micro	Pt	Ksat
Superior	1,47 a	16,67 a	18,51 a	35,19 a	0,60 a
Inferior	1,49 a	18,40 a	16,74 b	35,14 a	0,71 a

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Ds (g cm^{-3}): densidade do solo; Macro (%): macroporosidade; Micro (%): microporosidade; Pt (%): porosidade total e Ksat (mm/h^{-1}): condutividade hidráulica do solo.

Os valores de densidade encontrados na camada subsuperficial (B textural), tanto para as diferentes áreas, quanto para as cotas avaliadas, estão acima do limite crítico de densidade ($1,30$ a $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$) proposto por Reichert et al. (2003) para essa classe de solo (argiloso).

A condutividade hidráulica do solo não diferiu nas áreas e nem nas cotas estudadas para o horizonte B textural, diferentemente da camada superficial (horizonte A), onde em relação ao uso do solo foi significativo.

Em relação à densidade do solo em ambos os horizontes o CN apresentou o maior valor, seguido da RL e FL respectivamente. A macroporosidade também manteve esse mesmo padrão de variação nos horizontes estudados.

5.1.3 Testes de infiltração

A Tabela 5 apresenta os valores médios observados da infiltração inicial e final nas áreas de estudo, por campanha (inverno e verão) e posição do perfil no terreno (cota superior e inferior).

Tabela 5- Valores médios observados da infiltração e umidade inicial do solo.

Cota	Área	Condição	Ug	li	If	Condição	Ug	li	If
Superior	FL	Inverno	10,43	226,91	74,29	Verão	5,33	337,80	164,74
	RL		16,37	105,01	25,21		6,74	318,21	97,22
	CN		15,14	47,73	9,61		2,38	188,73	51,95
Inferior	FL		8,77	280,52	156,54		5,38	330,45	159,35
	RL		17,16	181,14	52,63		6,74	252,81	133,16
	CN		13,54	93,02	43,24		3,68	102,66	79,80

Onde: i_i (mm/h): taxa de infiltração inicial; i_f (mm/h): taxa de infiltração final; U_g (%): umidade inicial do solo; FL: área florestada com eucalipto; RL: área de reserva legal e CN: área de campo nativo com pastoreio.

Sistematicamente independente das situações de diferentes posições no terreno (cota superior e inferior) e das condições de tempo (período com chuvas acima e abaixo da média histórica) comparativas da FL, RL e CN, nota-se que tanto os valores iniciais e finais observados das taxas de infiltração mantêm uma mesma tendência em relação ao comportamento da infiltração de água no solo, onde a área de FL tem a maior capacidade de infiltração seguida da RL e do CN.

Na Tabela 1 pode-se observar que a profundidade do B textural nos perfis do solo variou entre 41 a 110 cm, sendo que nas maiores profundidades, dentro de um mesmo uso, ocorreram as maiores infiltrações de base (cotas inferiores). Provavelmente isto se deve ao fato de que a maior espessura do perfil arenoso, cuja camada possui um K_{sat} (Tabela 2) mais elevado, atue como fator determinante da maior infiltração de base.

No CN observou-se que a infiltração é menor na i_i quanto no i_f em comparação com os demais sítios. Embora a profundidade do Bt seja maior no CN a menor infiltração se dá pela diferença do acesso da água ao interior do solo, ou seja, provavelmente é consequência do adensamento da camada superficial pela atividade de pecuária. Este fato é observado, inclusive na campanha do verão que apresentou tendenciosidade em função das limitações do método dos anéis concêntricos.

Supõe-se que a maior quantidade de água infiltrada na FL, esteja relacionada ao seu sistema radicular, que contribui na melhoria da estrutura do solo com a formação de poros ao longo do perfil atingindo camadas mais profundas e aumentando a infiltração (Figura 15). Isso corrobora com a hipótese pré-estabelecida de que a FL favorece no processo de infiltração. Esse aumento também pode estar sendo favorecido pela reestruturação do solo no preparo da implantação dos povoamentos de eucalipto com o procedimento de subsolagem a uma profundidade de 40 cm.



Figura 15- Vista do sistema radicular da FL no perfil do solo, Rosário do Sul (RS).

Comparando-se as áreas de RL e CN, observou-se que a variação da infiltração entre elas foi significativamente superior para a RL. Essa diferença poder ser decorrente da presença de vegetação natural mais densa (Figura 16) com sistema radicular vigoroso os quais melhoram a estrutura do solo na RL, além de aumentarem o aporte de matéria orgânica e a estabilidade dos agregados.

Também pode estar relacionado ao fato da RL apresentar-se há 7 anos em pousio sem pastoreio onde o solo com sua diversidade biológica está se reestruturando naturalmente, enquanto que no CN em função do pastoreio há um maior adensamento na camada superficial do solo em comparação as demais áreas, conforme os valores de densidade observados na Tabela 2.

Em comparação das áreas de RL e FL a variação entre elas foi próxima sendo ligeiramente superior para a FL. Supõe-se que o fato da RL ter infiltrado em menor quantidade pode estar relacionado ao fato de não ter ocorrido preparo do solo (subsolagem) nesta área. Também pode estar relacionado à questão do sistema radicular da FL, conforme exposto anteriormente.

Prevedello (2008), em estudo onde avaliou a disponibilidade de água em povoamentos de eucalipto em comparação com área de campo nativo observou maior capacidade de infiltração para a área de eucalipto o que corrobora com os

resultados encontrados neste estudo. Também relacionou a maior retenção de água e melhoria na estrutura do solo ao sistema radicular mais desenvolvido do eucalipto.

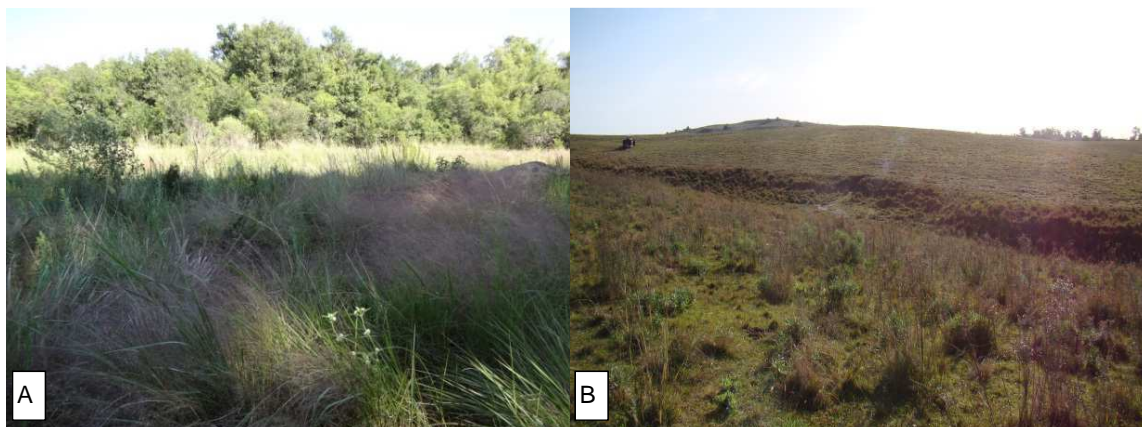


Figura 16- Vegetação nativa das áreas de RL (A) e CN (B), Rosário do Sul (RS).

5.1.4 Análise de consistência

A taxa de infiltração média por intervalo de tempo observada, nos testes da campanha de verão mostraram variações no decorrer da infiltração ao longo do tempo. O processo de infiltração se mostrou rápido no início. Com o passar do tempo em alguns períodos mostrou-se oscilante, ver Figura 18.

Pressupõe-se que essa oscilação no processo seja devido à condição de tempo severa observada na campanha do verão com ocorrência de precipitação abaixo da média histórica em 93,46%, temperatura em torno de 28,4°C e elevada evapotranspiração (131,9 mm). Este ocorrido deve-se provavelmente, as limitações do método de amostragem utilizado (infiltrômetro de anéis concêntricos).

O infiltrômetro, equipamento utilizado na área de estudo, possui dois anéis que são instalados no solo de forma concêntrica, onde se coloca água em ambos os anéis para que a infiltração ocorra de forma vertical no anel central, onde são realizadas as medições.

A razão da existência do anel externo no infiltrômetro é para prover a quantidade de água necessária ao umedecimento lateral, atenuando o efeito da

dispersão lateral no teste. Para os testes da campanha do verão o efeito de sucção (Figura 17 B) do solo foi maior provavelmente devido às condições do tempo mais severas em comparação as condições encontradas na campanha do inverno (Figura 17 A), interferindo na infiltração vertical do anel central.

Essas condições não permitiram estabelecer o valor real e consistente do parâmetro I_f (infiltração final), como se pode observar nas oscilações de infiltração ao longo do tempo nos testes realizados na campanha do verão, ver exemplo na Figura 18. Na campanha do inverno não se observou essa influência da dispersão lateral no valor final do I_f , pois os resultados dos testes mostraram coerência nos resultados observados, ver exemplo (Figura 19).

Tendo em vista as fragilidades observadas do método dos anéis concêntricos, e os resultados não satisfatórios obtidos na campanha do verão optou-se por utilizar, neste estudo, somente os dados da campanha do inverno para as análises posteriores.

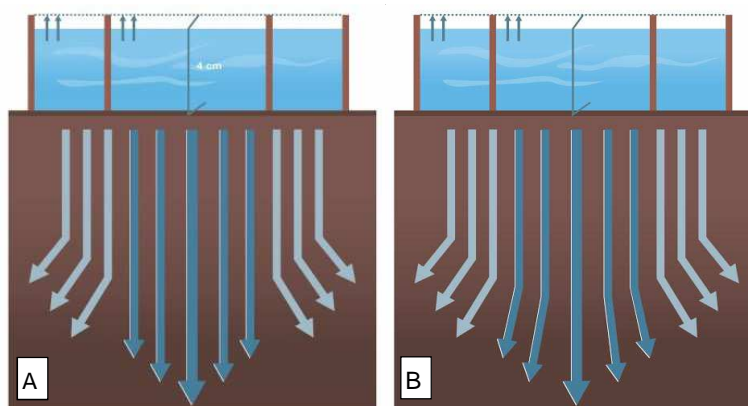


Figura 17- Desenho esquemático do comportamento da lâmina de água infiltrada com a dispersão lateral. Na campanha do verão com condições de tempo severas (B) não se consegue apenas infiltrar verticalmente como na campanha do inverno (A).

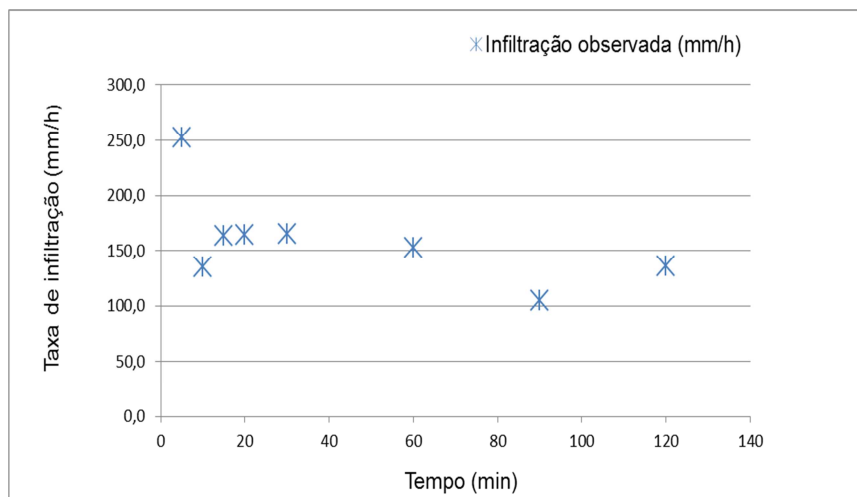


Figura 18- Taxa de infiltração média observada por intervalo de tempo na RL na cota superior (campanha do verão).

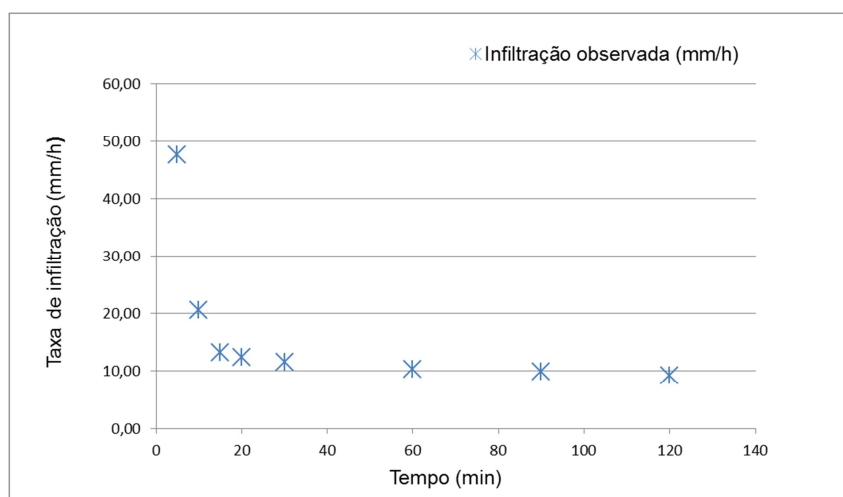


Figura 19- Taxa de infiltração média observada por intervalo de tempo no CN na cota superior (campanha do inverno).

5.2 Ajuste dos modelos

Neste item, apresenta-se o ajuste e verificação dos modelos matemáticos do processo de infiltração junto aos dados observados.

5.2.1 Análise comparativa entre modelos

Na Figura 20, pode-se visualizar o exemplo, de um dos gráficos gerados da comparação entre os valores médios da taxa de infiltração, ajustados pelos modelos de Horton, Kostiakov e Kostiakov-Lewis.

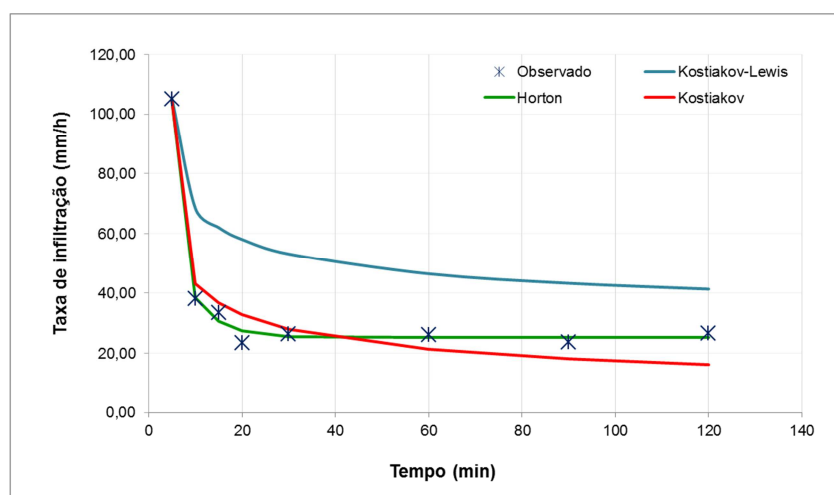


Figura 20 - Comparação da taxa de infiltração entre os resultados observados e o ajuste dos modelos.

A curva do modelo Kostiakov-Lewis como demonstrado no gráfico acima superestimou os dados da taxa de infiltração em todos os tratamentos estudados, apresentando valores superiores aos observados. Resultado também encontrado por (SOBRINHO et al., 2003).

Verifica-se que o ajuste do modelo de Horton e Kostiakov apresentou valores próximos aos observados, sendo que no modelo de Horton o ajuste foi mais satisfatório. De acordo com Paixão et al. (2004), o modelo apresentado por Horton também foi o que apresentou melhor desempenho na estimativa dos valores médios da taxa de infiltração o que corrobora com esse estudo.

A Tabela 6, apresenta os valores do coeficiente de determinação r^2 dos modelos ajustados nas áreas de estudo, nas respectivas posições do perfil no terreno.

Tabela 6- Coeficiente de determinação r^2 dos modelos ajustados.

Cota	Área	Horton	Kostiakov/ Kost. Lewis [1]
Superior	CN	0,91	0,89
	FL	0,96	0,85
	RL	0,97	0,91
	Média	0,95	0,88
Inferior	CN	0,81	0,76
	FL	0,83	0,61
	RL	0,94	0,95
	Média	0,86	0,77

[1] O coeficiente r^2 do modelo Kostiakov-Lewis é o mesmo do modelo Kostiakov.

Os resultados do coeficiente de determinação r^2 demonstraram uma forte correlação entre os dados observados e os ajustados, indicando que a equação de Horton representou de forma satisfatória o ajuste da taxa de infiltração observada no modelo, explicando melhor o processo de infiltração.

O ajuste do modelo Kostiakov/Kost. Lewis foi satisfatório para as médias do CN, FL e RL na cota superior, com o coeficiente de determinação r^2 médio de 89; 85 e 91% respectivamente. Demonstrando um padrão diferente na cota inferior em relação às outras áreas, onde o ajuste pelo modelo de Kostiakov/Kost. Lewis foi parcialmente satisfatório.

Observou-se que na cota inferior do CN e FL o modelo Kostiakov/Kost. Lewis não conseguiu correlação adequada aos dados observados. Isso pode estar relacionado à influência de alguma propriedade física do solo.

A média do coeficiente de determinação r^2 na cota superior foi satisfatória em 95% e na cota inferior em 86% para o modelo de Horton, enquanto que para o modelo de Kostiakov/Kost. Lewis foi, respectivamente 88 e 77%.

Em vista disto, o modelo de Horton foi adotado para as análises posteriores, que se referem ao efeito dos diferentes usos do solo na variação da posição no terreno.

5.2.2 Influência da posição no perfil do relevo na capacidade de infiltração

Neste item, apresentam-se os resultados dos parâmetros do modelo Horton para as posições no terreno estudado.

O parâmetro infiltração final (If) representa a capacidade de infiltração do solo em condições de saturação. Na Figura 21, pode-se observar um padrão no resultado do If, sendo o maiores valores desse parâmetro na cota inferior em comparação a cota superior em todas as encostas analisadas. Assim, uma hipótese é que a posição do perfil do terreno em função dos processos de erosão e deposição influencia na capacidade de infiltração final (If). Está hipótese é reforçada com a observação de que nas cotas inferiores de cada encosta os B texturais são mais profundos do que nas cotas superiores (Tabela 1 e Figura 14), pois conforme já visto a camada até o Bt possui Ksat maior, o que é um facilitador de maior percolação ao longo do perfil.

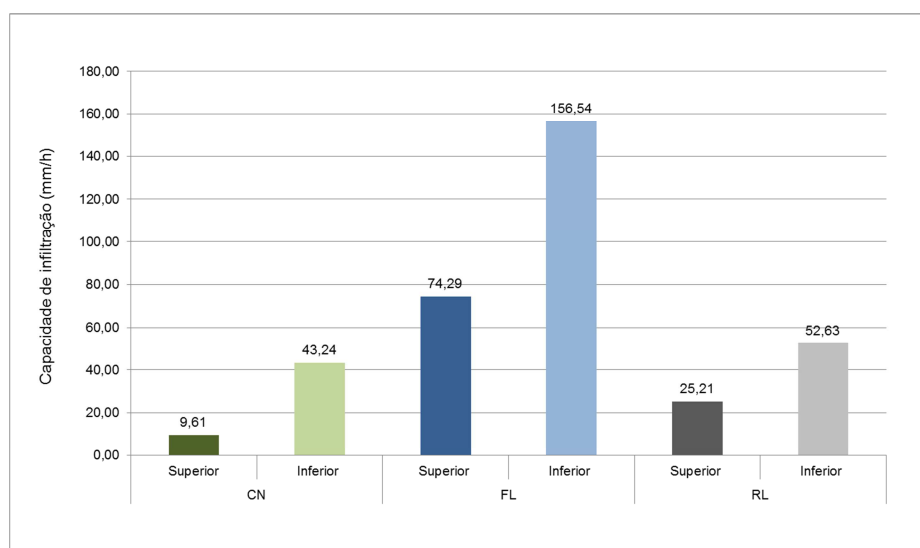


Figura 21- Valores médios da capacidade de infiltração, ajustado pelo modelo Horton.

A área FL, em ambas as posições no terreno, apresentou as maiores taxas de infiltração. Isso demonstra o quanto foi significativa a influência das distintas atividades de uso do solo no processo de infiltração. Estes resultados também estão

relacionados às propriedades físicas do solo (Tabela 3), onde a FL apresentou a menor densidade, maior valor de macroporosidade e condutividade hidráulica em comparação as demais áreas.

Os valores observados do parâmetro I_f para a cota superior foram menores em comparação com os da cota inferior. Demonstrando que nesta localização o solo tem o menor potencial de absorção de água e, portanto um menor tempo de encharcamento e possivelmente maior volume escoado superficialmente para uma mesma intensidade de chuva, em comparação com as áreas de cota mais baixa. Como na cota inferior, a deposição dos sedimentos é mais significativa do que a erosão e o transporte, há um favorecimento da manutenção de taxas elevadas de infiltração, em comparação as áreas de cota mais altas.

O parâmetro β , representa a velocidade de decaimento da capacidade de infiltração. Os menores valores desse parâmetro (Figura 22) encontrados indicam que a capacidade de infiltração é reduzida mais rapidamente que nos casos em que é mais elevado estando coerente com a afirmação de Pinheiro et al. (2009).

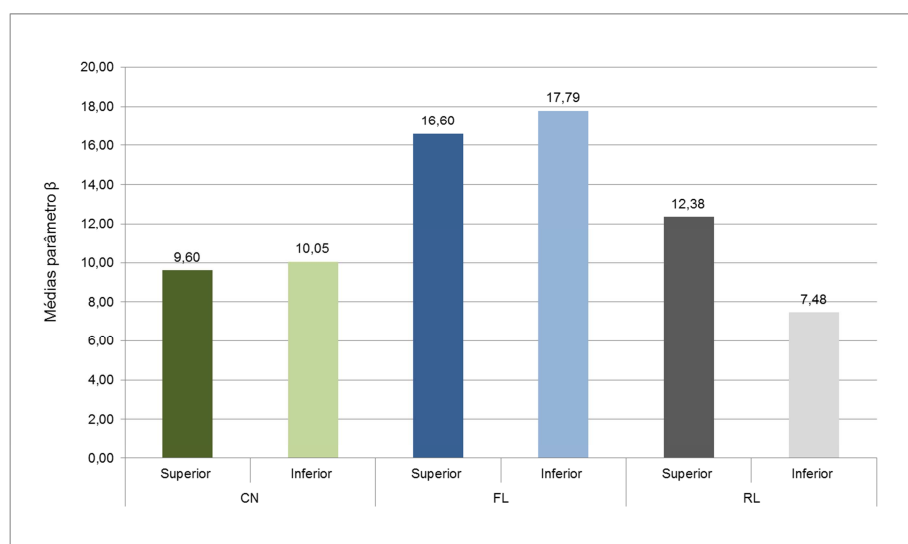


Figura 22- Médias do parâmetro β nas diferentes posições no relevo.

Nota-se que na Figura 22, na FL e CN a variação do parâmetro β entre as cotas superiores e inferiores para o mesmo uso foi significativamente similar, diferentemente dos valores do parâmetro I_f (Figura 21) nas cotas inferiores, onde

apresenta as maiores capacidades de infiltração. Podendo indicar que estas áreas possuem condições próximas de infiltração até atingir a saturação, momento em que os valores se diferenciam mais expressivamente.

Já, a área de RL dispõe de menor velocidade de decaimento de acordo com o parâmetro β na cota inferior, apresentando um padrão distinto ao observado nas demais áreas.

O fato de que as áreas de diferentes cotas para um mesmo uso possuem pouca diferença na curva de decaimento, mas apresentarem resultados do parâmetro I_f mais expressivos, sugere-se que são fatores diferentes que influenciam a taxa de decaimento e a infiltração básica, sendo esta hipótese mais significativa para a área RL. A correlação entre as variáveis físicas do solo e os parâmetros de infiltração será discutida no item a seguir.

5.3 Correlação entre propriedades do solo e a capacidade de infiltração

A Tabela 7 apresenta a matriz correlação de Pearson entre as variáveis físicas do solo e os parâmetros do modelo.

Tabela 7- Matriz de correlação de Pearson geral dos parâmetros do modelo e propriedades físicas do solo na camada superficial.

Variáveis	I_f	β	($I_i - I_f$)
Ds	-0,27 ^{ns}	-0,418*	-0,464*
Macro	0,376 ^{ns}	0,592 ^{ns}	0,259 ^{ns}
Micro	-0,296 ^{ns}	-0,476**	0,175 ^{ns}
Pt	0,274 ^{ns}	0,426**	0,435**
Ksat	0,463**	0,434**	0,363 ^{ns}
Areia grossa	-0,289 ^{ns}	0,086 ^{ns}	0,086 ^{ns}
Areia média	0,053 ^{ns}	-0,117 ^{ns}	-0,043 ^{ns}
Areia fina	0,171 ^{ns}	-0,087 ^{ns}	-0,086 ^{ns}
Areia total	-0,294 ^{ns}	-0,347 ^{ns}	-0,126 ^{ns}
Argila	-0,023 ^{ns}	0,383 ^{ns}	0,234 ^{ns}
Silte	0,4 ^{ns}	0,184 ^{ns}	0 ^{ns}

Ds (g cm^{-3}): densidade do solo; Macro (%): macroporosidade do solo; Micro (%): microporosidade do solo; Pt (%): porosidade total; Ksat: condutividade hidráulica do solo; Areia grossa (%) $\geq 0,250\text{mm}$; Areia média (%) $\geq 0,125\text{mm}$; Areia fina (%) $\leq 0,125\text{mm}$; Areia total (%); Argila (%); Silte (%); I_f :

infiltração final; β : velocidade de decaimento da capacidade de infiltração e li: infiltração inicial. *significativo em nível de probabilidade de 1%, **significativo em nível de probabilidade de 5% e ns= não significativo.

Analisando-se as correlações gerais entre as propriedades físicas do solo com os parâmetros do modelo, pode-se observar a influência das propriedades estruturais do solo nos parâmetros do modelo. Essas propriedades estruturais foram significativamente importantes para explicar a diferença entre as áreas estudadas em relação ao diferente uso do solo, sendo a principal influenciadora em comparação as propriedades texturais do solo (areia, silte e argila) que não foram significativos, o que não corrobora com as correlações encontradas por Fiorin (2008) para os parâmetros do modelo de Horton.

Evidenciou-se pela análise estatística da correlação geral, que foi possível estabelecer a taxa de infiltração final (If) para a condição climática do inverno, pois o solo atingiu a saturação ficando evidenciada na correlação estatística da condutividade hidráulica (Ksat) com os parâmetros If e β . Isto indica que o tempo do teste foi suficiente para que a capacidade de infiltração se aproximasse das condições de infiltração de final.

Na matriz de correlação das diferentes posições no terreno (Tabela 8), pode-se observar que na cota superior as propriedades estruturais do solo não foram significativas nos níveis de probabilidade avaliados (1% e 5%), mas apresentaram correlações significativas na cota inferior demonstrando que essas propriedades têm maior influencia para as áreas de cotas mais baixas.

Tabela 8 - Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros do modelo e propriedades físicas do solo nas diferentes posições do perfil no terreno na camada superficial.

Variáveis	Cota Superior			Cota Inferior		
	If	β	(li-if)	If	β	(li-if)
Ds	-0,433 ^{ns}	-0,293 ^{ns}	-0,504 ^{ns}	-0,641*	-0,494 ^{ns}	-0,656*
Macro	0,354 ^{ns}	0,303 ^{ns}	0,513 ^{ns}	0,776**	0,747**	0,324 ^{ns}
Mico	0,044 ^{ns}	-0,081 ^{ns}	0,16 ^{ns}	-0,577*	-0,657*	0,18 ^{ns}
Pt	0,287 ^{ns}	0,179 ^{ns}	0,469 ^{ns}	0,683*	0,578*	0,608*
Ksat	0,197 ^{ns}	0,005 ^{ns}	0,382 ^{ns}	0,759**	0,650*	0,434 ^{ns}

Variáveis	Cota Superior			Cota Inferior		
	If	β	(li-if)	If	β	(li-if)
Areia grossa	0,145 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,244 ^{ns}	-0,803 ^{ns}	-0,742 ^{ns}	-0,127 ^{ns}
Areia média	0,880 ^{**}	0,543 ^{ns}	0,774 ^{**}	-0,63 ^{ns}	-0,353 ^{ns}	-0,787 ^{ns}
Areia fina	-0,3643 ^{ns}	-0,33 ^{ns}	-0,437 ^{ns}	0,647 ^{ns}	0,373 ^{ns}	0,781 ^{ns}
Areia total	0,572 ^{ns}	0,291 ^{ns}	0,435 ^{ns}	-0,833 ^{**}	-0,612 [*]	-0,606 [*]
Argila	0,479 ^{ns}	0,399 ^{ns}	0,535 ^{ns}	0,852 ^{**}	0,648 [*]	0,554 ^{ns}
Silte	-0,867 ^{**}	-0,53 ^{ns}	-0,757 ^{**}	0,825 ^{**}	0,599 [*]	0,621 [*]

Ds (g cm^{-3}): densidade do solo; Macro (%): macroporosidade do solo; Micro (%): microporosidade do solo; Pt (%): porosidade total; Ksat: condutividade hidráulica do solo; Areia grossa (%) $\geq 0,250\text{mm}$; Areia média (%) $\geq 0,125\text{mm}$; Areia fina (%) $\leq 0,125\text{mm}$; Areia total (%); Argila (%); Silte (%); If: infiltração final; β : velocidade de decaimento da capacidade de infiltração e li: infiltração inicial. *significativo em nível de probabilidade de 1%, **significativo em nível de probabilidade de 5% e ns= não significativo.

As propriedades texturais do solo tiveram correlação significativa quando a matriz de correlação foi gerada por posição do terreno (Tabela 8).

Na Tabela 8, também pode-se observar que a partir dessas diferenças nas correlações existem entre as posições (cota) no terreno, mostram que realmente há diferença entre as cotas nos parâmetros do modelo e na capacidade de infiltração já observada anteriormente.

5.4 Regressões dos parâmetros

Na definição das equações de regressão para prever os parâmetros do modelo Horton foram utilizadas apenas as propriedades físicas do solo que tiveram correlação com os parâmetros do modelo. As equações foram determinadas por posição geral no terreno (cota superior + inferior) e posições separadamente. Na Tabela 9 apresentam-se as equações de regressão estimadas para os parâmetros.

Tabela 9 - Equações de regressão para as posições no terreno.

Modelos	Modelo geral	R²
A	If= 25,6924 x Macro – 2,29891x Macro ² + 0,052602 x Macro ³	0,50
B	(li-if)= 401,8583-225,702 x Ds	0,22
C	β= -20,8572+ 0,701065 x Macro+ 12,40811x Ds	0,35
Modelo cota superior		R²
D	If= -4605,43 + 68,91625 x Areia média + 160,3146 x Silte	0,83
E	(li-if)= 454,9684- 7,33462 x Areia média	0,60
-	β = não teve correlação com nenhuma propriedade do solo	-
Modelo cota inferior		R²
F	If= -82,6494 x Argila + 13,08047x Argila ²	0,71
G	(li-if)= -40670,7+ 421,2008 x Areia total + 575,105 x Silte	0,60
H	β = 0,572339 x Macro	0,55

Ds (g cm⁻³): densidade do solo; Macro (%): macroporosidade do solo; Areia média (%) ≥ 0,125mm; Areia total (%); Argila (%); Silte (%); If: infiltração final; β: velocidade de decaimento da capacidade de infiltração; li: infiltração inicial e r²: coeficiente de determinação.

Pode-se verificar que o parâmetro If foi o que melhor se ajustou apresentando coeficiente de determinação r² (50; 83 e 71%) para a verificação do modelo geral e dos modelos na cota superior e inferior respectivamente.

A equação de regressão do parâmetro If na cota superior foi o mais representativo dos modelos analisados uma vez que apresenta um melhor ajuste (r² = 83%) conforme pode ser observado na Figura 23 D.

A verificação do ajuste do If ao modelo geral (cota superior + inferior) mostra o quanto os padrões observados para as duas cotas diferem e não permitem o ajuste adequado de uma equação geral para as áreas.

As tentativas de regressão explicam parcialmente quais fatores estão influenciando os parâmetros do modelo, pois tiveram coeficientes de determinação r² parcialmente significativos não podendo ser utilizados como variável regional.

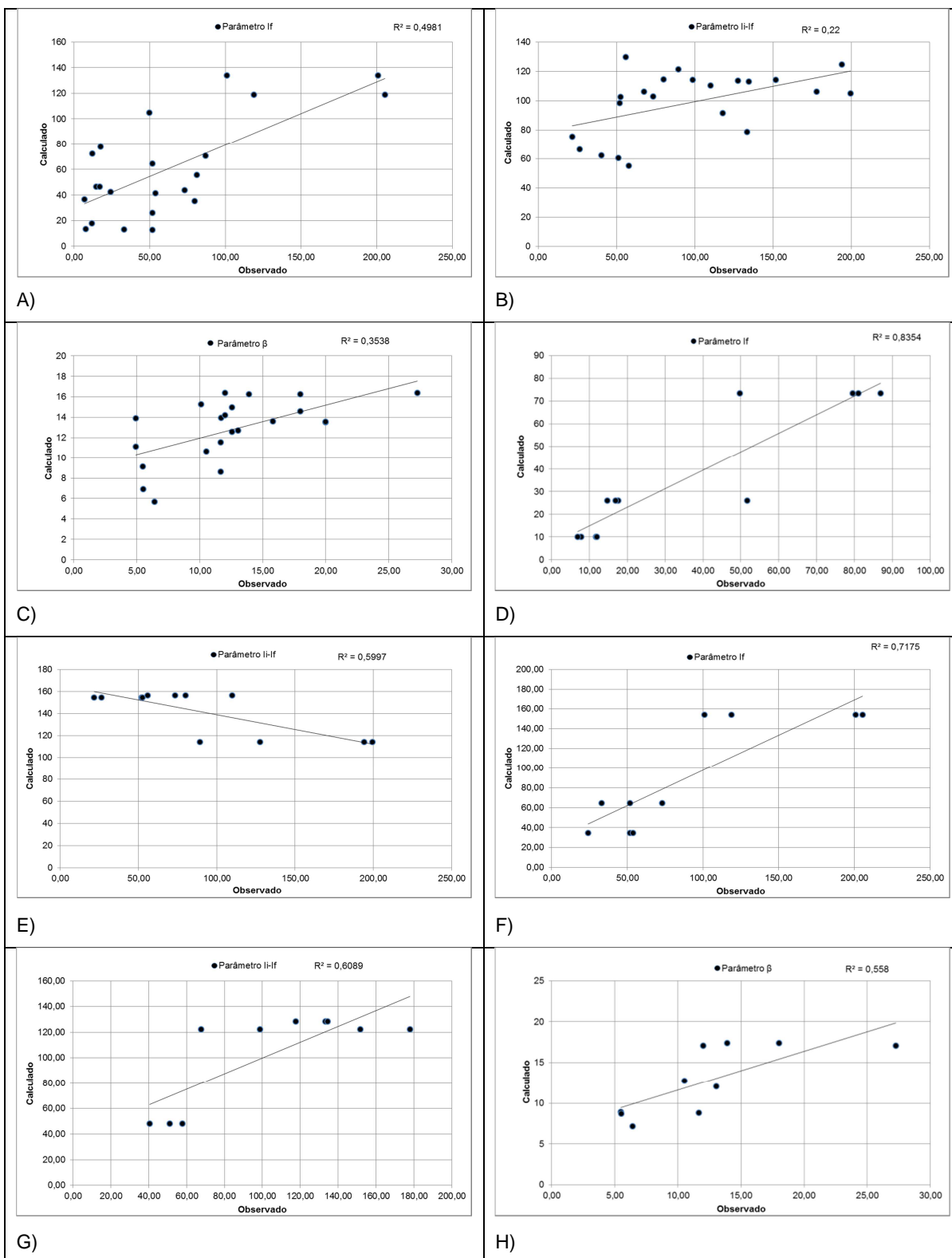


Figura 23 - Comparação entre os valores observados e estimados pelos modelos.

6 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi avaliado o comportamento do processo de infiltração como indicador de alteração do solo. Para isso foram comparados três usos distintos do solo observando a posição no perfil do terreno. A partir dos resultados obtiveram-se as seguintes conclusões:

Nesta pesquisa perceberam-se alterações no comportamento de infiltração de água no solo em função dos distintos usos e cobertura do solo.

A área florestada com eucalipto possui significativamente maior capacidade de infiltração, seguida da área de reserva legal e da área de campo nativo com pastoreio.

A campanha do verão não permitiu estabelecer o valor real e consistente da capacidade de infiltração final (I_f), devido as condições do tempo severas de estiagem prolongada que insere incerteza nos testes de infiltração. Na campanha do inverno foi possível estabelecer o I_f estatisticamente comprovado, embora o solo seja semelhante os I_f s foram significativamente distintos em função do uso do solo.

Nas três áreas estudadas observou-se que a posição no perfil do terreno influenciou na capacidade de infiltração, sendo que nas cotas inferiores ocorreram as maiores capacidades de infiltração.

Dentre os modelos testados, o modelo de Horton representou de forma satisfatória o ajuste da taxa de infiltração observada.

O componente do modelo de Horton I_f , correspondente a infiltração final ou básica pode ser utilizado como indicador de impacto da alteração do uso do solo nos processos hidrológicos, pois apresentou diferentes valores para cada uso do solo testado.

Através das regressões não se pode regionalizar os parâmetros do modelo devido o coeficiente de determinação ser parcialmente significativo. Porém esses resultados tiveram a utilidade para explicar a influencia da posição (cota) na vertente.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que em estudos futuros sobre a influência de diferentes usos do solo no processo de infiltração, que sejam realizadas análises de matéria orgânica, além das propriedades físicas do solo analisadas neste estudo.

Em relação aos testes de infiltração não se recomenda realizá-los em condição de tempo com estiagem prolongada (chuvas abaixo da média histórica) devido a limitações do método.

Recomenda-se também que novos experimentos sejam realizados em solos com diferentes usos para verificar se a diferença de cotas em vertente indicadas neste estudo se mantém em outros ambientes e a utilização de modelos de redistribuição de água no solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, P. U. R.; GIANLUPPI, D.; AZOLIN, M. A. D. **Levantamento semi-detalhado dos solos da estação experimental de silvicultura de Santa Maria.** Porto Alegre: IPRNR, 1988. 75 p.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 519-531, maio/jun. 2004.

AB'SABER, A. N. **Províncias Geológicas e Domínios Morfológicos no Brasil.** São Paulo: IGE-USP, 1970.

ANKENY, M. D.; KASPAR, T.C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, p. 837-840, 1990.

AVILA, C.B. **Estudo da capacidade de infiltração em um solo da Unidade de Mapeamento Santa Maria.** 2011. 58p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

BAUMHARDT, E; **Hidrologia de Microbacia de Cabeceira sob uso da Silvicultura do Eucalyptus em região da Campanha Gaúcha.** 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

BAUMHARDT, E. **Balço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS.** 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BERNARDO, S. (1995). **Manual de Irrigação.** Imprensa Universitária/UFV, ed. UFV Viçosa – MG.

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico Álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.
BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. (2006). **Infiltração da água no solo.** ed. UFV, Viçosa – MG, 120 p.

BRANDÃO, V.S.; PRUSKI, F.P.; SILVA, D.D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa:, 2 ed. UFV, 2004. 98p.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades do solo**. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas,1989.647 p.

BRAKENSIEK, D. L.; RAWLS, W. J. Agricultural management effects on soil water processes Part II: Green and Ampt parameters for crusting soils. **Trans. Amec. Soc Agric. Eng.** [S.l.], v. 26, p. 1753-1757, 1983.

BORGES, E.; ANTONINO, A. C. D.; DALL'OLIO, A.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G. Determinação da condutividade hidráulica e da sorvidade de um solo não saturado utilizando-se permeômetro a disco. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 34, n.11, p. 2038 . 2089, 1999.

BUBENZER, G.D. & MEYER, L.D. Simulation of rainfall and soils for laboratory research. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.8, n.1, p. 73 –75,1965.

CARVALHO, J. J.; AZEVEDO, C. A. V.; GOMES, E. M.; HENRIQUE, J.; NETO, J. D. (1999). Efeito das Variações Espaço-Temporais dos Parâmetros de Kostiaikov-Lewis na Infiltração Acumulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p268-275.

COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CAVENAGE, A. et al. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 997-1003, 1999.

CARLESSO. R.; ZIMMERMANN, F.L. Água no solo: Parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. Santa Maria: UFSM/ Departamento de Engenharia Rural, 2000.88p.

COSTA, E.L.; SILVA, A.M. da; COLOMBO, A.; ABREU, A.R. de. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.131-134, 1999.

DESCOVI FILHO, L. L. V. et al. Subsídios Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 15., 2008, Rio Grande do Sul. **Anais eletrônicos...** [S.l.:s.n], 2008. Disponível em: <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/ASUB/Publica%E7%F5esAsub/artigo_final.pdf>. Acesso em: 19 de maio 2013.

DIEBOLD, C.H. Permeability and intake rates of medium textured soils in relation to silt content and degree of compactation. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 18, p. 339-343, 1954.

DUNNE, T. & LEOPOLD, L. B. (1978). Water in the environmental planning. São Francisco, W. H. Freeman and Company, 818p.

ECKERT, R. M.; CAYE, B. R. **Cadastramento de poços da cidade de Livramento/RS**. Porto Alegre, CPRM, 1995. v. 145, il.; mapa. Projeto Cadastramento de Poços do Rio Grande do Sul.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. Rio de Janeiro-RJ. 2.ed. ver. E atual. 212p. 1997.

EPA. Estimation of infiltration rate in the vadoze zone: compilation of simple mathematical models. In: RAVI, V.; WILLIAMS, J R. (Ed.). **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**, 1998. P.84.

ELRICK, D. E.; REYNOLDS, W. D. Methods for analyzing constant-head well permeameter data. **Soil Science Soc. of Am. J.**, v. 56, n. 1, p. 320-323, 1992.

ELTZ, F.L.F., PEIXOTO, R.T.G., JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruna Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas v. 13, 1989, p. 249-167.

FABIAN, A. J.; OTOONI FILHO, T. B. Projeto de uma câmara de infiltração. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 24., 1993, Goiana, Goiás. **Resumo...**Goiana: Sociedade Brasileira de Ciências de Solo, 1993. P.107-108.

FARIA, J.C.; SCHAEFER, C.E.R.; COSTA, L.M. et al. Effects of weed control on physical and micropedological properties os a brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 22:731-741. 1998.

FORGIARINI, F. R. **Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na Bacia do Rio Santa Maria**. 2006. 142f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

FIORIN, T.T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2008,116p., (Tese de Doutorado).

GUIMARÃES, C. Dados de adubação pertencente à Stora Enso S/A. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <calincaflorestal@gmail.com> em 05 mar. 2013.

GARDNER, W.H. How water moves in the soil. **Crops and Soils Magazine**, (western ed.). v. 32, p. 13-18, 1979.

SINGH, B.; CHANASYR, D;McGILL, W.; NYBORG, M. Residue and tillage management effects on soil properties of a Typic Cryoboroll under continuous baley. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 32, p. 117-133, 1994.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul – RS. **Acta Geológica Leopoldensia** (Série Mapas, escala 1:50.000), n. 2. 1995. p. 1-127.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, Orlando, 1980.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <www.inmet.gov.br> Acesso em: 11 Jun. 2011 e 26 jan. 2012.

LANZANOVA, M.E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. 2005. 125 f. Dissertação (mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

LORENSI, R.P. **Relações entre atributos do solo e uso de água em arroz irrigado**. 2011. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

LORENSI, R. P. **Automonitoramento dos recursos hídricos em lavouras orizícolas**. 2008. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba, 2000. 509p.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, S.P: Gráfica do IPEF, 1986.

MAIA, C. M. B. F.; DEDECEK, R. A.; MALUCELLI, C. S. **Identificação de repelência à água em solos sob plantios florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 6 p. (Embrapa Florestas. Comunicado técnico, 147).

MARTINS, E. S. P. R.; PAIVA, J. B. DIAS de. Quantidade dos Recursos Hídricos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

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

MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo**. Chapecó, 1991. 336p.

MOORE, I.D.; HIRSCHI, M.C. & BARFIELD, B.J. Kentucky rainfall simulator. **Transacions of the ASAE**, St. Joseph, v.26, n.4, p 1085-1089, 1983.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, 54:393-403, 1995.

OKA, T. Rainfall infiltration and macropores in a hillside slope. In FOK, Y. (ed). **Infiltration principles and practices**. Honolulu: Water Resources Research Center, 1988. p. 168-177.

PAIXÃO, F. J. R.; ANRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, J. M^a.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, V,5, n,1, 2004.

PRUSKI, F. F.,; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; ANTUNES, V. L. Infiltração da Água No Solo. VIÇOSA: **Revista Engenharia na Agricultura** . série caderno didático (AEAGRI/DEA-UFV), v. 25, 1997.

PREVEDELLO, J. **Preparo do solo e crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. em argissolo**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2008.

PREVEDELLO, C. L. (1996). **Física do solo com problemas resolvidos**. ed. SAEFES. Curitiba – PR, 446p.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. (2009). Capacidade de Infiltração de Água em Solos sob Diferentes Usos e Práticas de Manejo Agrícola. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.4, n. 2, p. 188-199p.

PANACHUKI, E. **Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária**. 2003. 67 pg. Dissertação (Mestrando em Agronomia)- Universidade Federal de Mato Grosso do Sul- Campus Dourado

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D. **Escoamento superficial**. Viçosa: UFV, 2003. 88p.

RADAMBRASIL. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das Folhas SH. 21 Uruguaiana e Sl. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.

REINERT, D.J., REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. CERETTA, C.A. eds. Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul. Santa Maria, RS, 2001, 165p

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R. & HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil ; Tillage Research*, 102:242-254, 2009.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F. A. (2007). **Principais Solos da Depressão Central e Campanha do Rio Grande do Sul - guia de excursão**. ed. UFSM, Departamento de Solos/UFSM, Santa Maria – RS, 47p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. São Paulo: Editora Manole. 478p. 2004.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, jul./dez. 2003.

REICHERT, J. M. et al. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 289-298. 1992.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Ed. Monole Ltda. São Paulo, 1990. 188 p.

REYNOLDS, W. D.; VIEIRA, S. R.; TOPP, G. C. An assessment of the singlehead analysis for the constant head well permeameter. **Canadian Journal of Soil Science**, vol. 72, p. 489-501, 1992.

RUSSEL, M. B. Pore-size distribution as a measure of soil structure. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, v. 6, p. 108-112, 1941.

SILVEIRA, G. L. et al. **Metodologia para iniciar a implantação de outorga em bacias carentes de dados de disponibilidade e demanda – IOGA: Bacia do rio Ibicuí**. [S.l.:s.n.], 2005. (Relatório Final, 3v.).

SILVEIRA, R.C.da. & SALVADOR, N. Uso de um simulador de chuvas no estudo de perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais de milho. **Ciênc. agrotec., Lavras, MG**, v.24, n.3, p.718-729, 2000.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

SIQUEIRA, O.J.F.& DENARDIN, J.E. Equipamentos para medir a taxa de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos em sistema com nível de água constante. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa,v.9, p.73-75, 1985.

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.

SAS. A simple regression model with correction of heteroscedasticity. Cary NC: SAS Institute, 2009.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. Ed. Viçosa: SBCS, 2005. 100p.

SBCS. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - **Física do Solo**. Editor Quirijn de Jong van Lier. Ed. Viçosa: SBCS, 1ª Ed. 2010. 298p.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, p. 32, n. 2, p. 213-20, fev. 1997.

SILVA, A.S. **Propriedades físicas e químicas do solo, sistema radicular e profundidade do milho sob diferentes sistemas de manejo na microrregião de Guarabira – PB**. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal de Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia.

SILVA, F. de A. S. **Assistat**. Versão 7.6 beta (2011). Disponível em <<http://www.assistat.com/indexp.html>>.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v..32, n.2, p.213-220. 1997.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. Tese. (Doutorado em Agronomia) Programa de Pós-Graduação em Agronomia UFSM, Santa Maria, 2003.

UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Implantação Plena da Outorga**: análises das condições de contorno ao balanço hídrico em sistema de apoio a decisão, em bases socialmente sustentadas – SIOGA. [S.l.:s.n.], 2006. (Relatório Técnico Parcial, n. 2).