

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

**HIDROLOGIA DE BACIA DE CABECEIRA COM
EUCALIPTOCULTURA E CAMPO NATIVO NA
REGIÃO DA CAMPANHA GAÚCHA**

TESE DE DOUTORADO

Edner Baumhardt

Santa Maria, RS, Brasil

2014

**HIDROLOGIA DE BACIA DE CABECEIRA COM
EUCALIPTOCULTURA E CAMPO NATIVO NA REGIÃO DA
CAMPANHA GAÚCHA**

Edner Baumhardt

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor 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 Tese de Doutorado

**HIDROLOGIA DE BACIA DE CABECEIRA COM
EUCALIPTOCULTURA E CAMPO NATIVO NA REGIÃO DA
CAMPANHA GAÚCHA**

elaborada por
Edner Baumhardt

como requisito parcial para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Ana Paula Rovedder, Dr^a. (UFSM)

Masato Kobiyama, Dr. (UFRGS)

Geraldo Lopes da Silveira, Dr. (UFSM)

Renato Beppler Sphor, Dr. (UFSM/FW)

Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar à Universidade Federal de Santa Maria. Nela aprendi a querer, vislumbrar e chegar onde sempre quis estar. Ela me permitiu que fizesse o ensino médio, graduação, mestrado e agora meu doutorado.

A Professora Dra. Jussara Cabral Cruz por sua orientação, amizade, apoio, ensinamentos, pela confiança depositada e dedicação na criação e execução do projeto do qual resultou esse trabalho. Em nome dela, agradeço a todos os professores da UFSM pelos quais passei, desde os meus 14 anos.

Ao Professor José Luiz Silvério da Silva pela co-orientação, amizade, parceria de campo, por acreditar e investir nos projetos que criamos e pela oportunidade ímpar de aprendizado nas diversas viagens de trabalho que realizamos.

Aos amigos e colegas da Universidade Federal de Rondônia, em especial à Karina Soares Modes, Marta Silvana Volpato Scoti, José das Dores de Sá Rocha, Nayche Tortato Vieira e Cristiane da Silva Pereira que foram minha família naquele Estado. Só pelas risadas já valeria a pena.

Aos Professores e colegas, Renato Beppler Spohr, Ana Paula Rovedder, Masato Kobiyama e Geraldo Lopes da Silveira. Muito obrigado por emprestar o conhecimento e o tempo de vocês para contribuir com esse trabalho.

Aos amigos e colegas Elisandra Maziero, Damáris Gonçalves Padilha, Josita Soares Monteiro, Régis Silveira, pela parceria de sempre e pelo apoio irrestrito na idealização, críticas, construção e execução dessa pesquisa. Agradeço mais ainda a João Francisco Carlexo Horn e Pedro Brites Pascotini que, além de tudo, enfrentaram muita geada em Rosário, quebrando galho, só pela amizade.

Aos colegas e pessoal do GERHI, Marciano Friedrich, Catarine Consensa, Calinca Barão de Avila, Mirian Lago Valente que também estiveram ligados direta e indiretamente a pesquisa.

Aos demais colegas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, que sempre, de uma forma ou outra contribuíram, mesmo nas conversas pelos corredores e da mesma forma ao PPGEF e todos os seus professores.

À Stora Enso Florestal RS, por permitir e viabilizar que a pesquisa transcorresse em sua plenitude, em especial aos Engenheiros Florestais da empresa, Júlio Cesar Medeiros da Silva e Daniela Torres.

Ao Sr. Ildo José Spanevello, proprietário da fazenda São Carlos, que deposita enorme confiança na instituição UFSM e nos confiou parte de sua área para a conclusão dessa pesquisa, ainda que para isso, alterasse seu cronograma de trabalho na propriedade. Obrigado por acreditar incondicionalmente na ciência.

Ao Sr. Fernando Domingues, por entender o propósito da pesquisa, por acreditar na seriedade da UFSM e nos ceder gentilmente um funcionário e um local para a instalação do pluviômetro da pesquisa.

Aos meus colegas, amigos e professores de Frederico Westphalen, que me receberam muito bem e permitiram que eu concluísse esta etapa de forma tranquila.

Aos meus queridos amigos de sempre dos quais sempre pude contar com todo o apoio e conforto. À minha família de Rondônia, Ricardo e Marieli, obrigado por tudo.

Às minhas sempre prestativas orientandas Ketlin Corrêa Lucca e Elenice Broetto Weiller, que me auxiliaram na correção, finalização e correria da entrega desta tese, meu muito obrigado.

À minha mãe Santa Liséte Baumhardt, dedico hoje e sempre, todas as minhas conquistas, por muitas vezes abrir mão das suas para que eu pudesse ter as minhas.

À pessoa que esteve comigo desde os primeiros passos, desde o cursinho pré-vestibular. Hoje, somos professores, encaminhados e ambientados na academia. De mãos dadas, sempre seguimos e conseguimos Lauren, tu fostes imprescindível e fundamental.

Ao MCT/CNPQ, FINEP/CT-HIDRO e FAPERGS pelo aporte financeiro dos Projetos que resultaram, dentre outros trabalhos, na conclusão desta tese.

*"Do rio que tudo arrasta se diz que é violento,
mas ninguém diz violentas as margens que o comprimem."*

(Bertolt Brecht)

*"The ocean is the river's goal,
a need to leave the water knows"*

*"O oceano é a busca do rio,
"uma necessidade de partir, que só a água compreende"*

(R.E.M – Find the River)

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

HIDROLOGIA DE BACIA DE CABECEIRA COM EUCALIPTOCULTURA E CAMPO NATIVO NA REGIÃO DA CAMPANHA GAÚCHA

Autor: Edner Baumhardt
Orientadora: Prof^a. Jussara Cabral Cruz
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2014.

Ao se entender a interatividade da floresta plantada com os demais elementos do ecossistema, como fluxo de energia, ciclo hidrológico e de nutrientes, se estaria no caminho da aplicação do conceito de manejo florestal sustentável. Entretanto, os estudos que elucidam a relação da produção de água em uma microbacia sob efeito da silvicultura são por vezes divergentes. Isso aponta para um desafio: qual o real efeito da floresta de *Eucalyptus* sobre o regime hidrológico de microbacia na região da campanha gaúcha? Logo, busca-se avaliar a influência da cobertura vegetal sobre alguns parâmetros do regime hidrológico superficial e subterrâneo. Utilizou-se de duas microbacias na cidade de Rosário do Sul-RS, uma florestada (MF), com espécie do gênero *Eucalyptus* com 95 ha e outra (testemunha) com pastagem natural (MC) com 21 ha, situadas em região característica do Bioma Pampa. Mais especificamente, busca-se avaliar o impacto do uso do solo sobre o deflúvio, quantificar a recarga subterrânea em aquífero livre, realizar o balanço superficial e subterrâneo das microbacias e chegar a um valor aproximado de uso diário do eucalipto nas condições da pesquisa. Assim, buscou-se monitorar todos os parâmetros cruciais para um bom entendimento das relações e trocas existentes em uma microbacia com cobertura florestal e outra com pastagem como precipitação, interceptação, deflúvio e recarga direta do aquífero. O monitoramento superficial iniciou-se em outubro de 2008 e o subterrâneo em agosto de 2009, por meio de estações hidrométricas e piezômetros, devidamente instrumentalizadas. Como principais resultados tem-se uma redução de 49,8% do deflúvio da MF em relação à MC. A MF apresentou maior recarga direta subterrânea comparada à MC. Houve também uma diferença no armazenamento subterrâneo durante o período de estudo, sendo que a MF transcorreu em perda mensal média de 1,05 mm no nível do lençol freático. Além disso, para as condições da pesquisa, a MF apresentou uma evapotranspiração média diária de aproximadamente 18,5 Litros/água/dia para um espaço de 6 m², o que traduziria o valor aproximado de uso de água por uma árvore de eucalipto aos 7 anos.

Palavras-chave: hidrologia florestal, impacto de florestas plantadas, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Post-Graduate Program in Forest Engineering
Federal University of Santa Maria
**HYDROLOGY OF WATERSHED WITH *Eucalyptus* SILVICULTURE
AND NATIVE GRASS PASTURE IN THE CAMPANHA GAÚCHA
REGION**

Author: Edner Baumhardt

Advisor: Jussara Cabral Cruz

Place and Date of Defence: Santa Maria, February, 27th, 2014.

The path for the application of the concept sustainable forest management is connected with the proper understanding of the interaction of the planted forest with all other elements of the ecosystem, such as the energy flow, hydrological cycle and the nutrient cycling. However, the studies which elucidate the water yield in a small watershed under the effect of silviculture are in some cases, divergent. This points up a challenge: what is the real effect of the Eucalyptus forest under the hydrological regime of a small watershed in the campanha gaúcha region? Considering that, the purpose of this research is to evaluate the influence of the land use on some parameters of the surface hydrological regime and groundwater. Two small watershed of the city of Rosário do Sul –RS were used for the experiment, one of them reforested (MF) with the species of the genus *Eucalyptus* in 95 ha and the other one (testimony) with natural grassland (MC) in 21 ha. Both small watershed were located in a characteristic Pampa Biome region. In particular, the purposes were: to evaluate the impact of the soil use on the runoff, to quantify the groundwater recharge in unconfined aquifer, to perform the surface and subsurface water balance of the watersheds and to try to obtain an approximate value of the daily use of *Eucalyptus* under the conditions of the research. Thus, the aim was to monitoring all crucial parameters for a good understanding of the relations and changes involved in a watershed with forest cover and another one with native grassland, like precipitation, interception, runoff and direct recharge of the unconfined aquifer. The surface monitoring began in October 2008 and the subsurface in August 2009, through hydrometric stations and piezometers, properly instrumentalized. The main results were a reduction of 49,8% of the runoff of MF in relation to MC. The MF presented higher direct recharge to groundwater compared to MC. There was also a difference in the underground storage during the period of this study, considering that MF elapsed in a monthly average loss of 1,05 mm at the water table fluctuation. In addition, for the conditions of the research, the MF presented a daily average evapotranspiration of approximately 18,5 Liters/day/water for a space of 6 m², and this would represent the approximate value of the use of water by a 7 years old eucalyptus tree.

Key-words: forest hydrology, *Eucalyptus* impact, Water table fluctuation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1- Divisão dos Biomas no RS _____	31
Figura 4.2 - Abrangência do Bioma Pampa na Argentina, Uruguai e Brasil. _____	32
Figura 4.3 - Distribuição percentual aproximada dos processos do balanço hídrico e tempo de residência dos componentes do deflúvio em microbacias com floresta natural. _____	40
Figura 4.4 - Balanço da água precipitada no dossel da floresta. _____	41
Figura 4.5 - Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação. _____	45
Figura 4.6 - Representação do hidrograma unitário. _____	51
Figura 4.7 - Característica dos fluviogramas e curva de permanência em monitoramento de pequenas bacias. _____	53
Figura 4.8 - Defasagem entre a precipitação x infiltração x recarga direta do aquífero ____	57
Figura 4.9 - Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta à precipitação. ____	62
Figura 4.10 - Rio perdendo água para o aquífero livre (A) e aquífero contribuindo para o escoamento do curso de água (B). _____	64
Figura 4.11 - Exemplificação da separação dos escoamentos _____	66
Figura 5.1 - Bacia do rio Santa Maria com os municípios componentes. _____	68
Figura 5.2 - Mapa de localização das microbacias com respectivas coordenadas _____	71
Figura 5.3 - Microbacia de Campo - MC em Rosário do Sul – RS. A - vista do exutório da MC. B – vista aérea (Google Earth). _____	71
Figura 5.4 - Mapa de uso do solo da microbacia de campo – MC. _____	72
Figura 5.5 - Microbacia Florestada em Rosário do Sul – RS. A - vista do exutório da MF. B – vista aérea (Google Earth). _____	72
Figura 5.6 - Mapa de uso do Solo da Microbacia Florestada – MF _____	73
Figura 5.7 - Componentes dos interceptômetros. _____	76
Figura 5.8 - Ilustração da técnica de coleta de água pelo tronco _____	79
Figura 5.9 - Estrutura hidráulica com poço tranquilizador da microbacia de campo (A) e da microbacia florestada (B), sob as coordenadas 702968 E, 6643251 S e 704445 E, 6630250 S, respectivamente. _____	82
Figura 5.10 - Esquema ilustrativo do vertedor triangular de 90° truncado. _____	82
Figura 5.11 - Transdutor de pressão (sensor de nível, datalogger e bateria) utilizado. ____	83
Figura 5.12 - Perfuração e construção da estrutura protetora dos piezômetros. _____	86
Figura 5.13 - Poço de monitoramento nº 1 na MC. _____	86
Figura 5.14 - Poço de monitoramento nº 2 com a maior cota de altitude entre os poços da MF. _____	87
Figura 5.15 - Poço de monitoramento nº 3 localizado entre APP e reflorestamento ____	88

Figura 5.16 - Poço de monitoramento nº 4 localizado próximo ao córrego dentro da APP.	88
Figura 5.17 - Poço de monitoramento nº 5 localizado à 60 m do poço nº 4.	88
Figura 5.18 - Esquema ilustrativo dos poços de monitoramento na MF com as suas respectivas distâncias laterais e verticais.	89
Figura 5.19 - Instalação de sensor no poço de monitoramento.	89
Figura 5.20 - Aferição do nível do poço nº 4 com uso de freatímetro sonoro	90
Figura 5.21 - Esquema ilustrativo da recarga de água subterrânea	93
Figura 5.22 - Extrapolação da curva de recessão de um aquífero para utilização do WTF.	94
Figura 6.1 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Janeiro de 2009.	108
Figura 6.2 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Julho de 2009.	109
Figura 6.3 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Novembro de 2009.	109
Figura 6.4 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de dezembro de 2010.	110
Figura 6.5 – Curva de Permanência para o período de 2008 a 2012, no intervalo de 40% a 100% do tempo.	113
Figura 6.6 – Curva de Permanência para o período de 2008 a 2012, no intervalo de 5% a 100% do tempo.	115
Figura 6.7 – Posicionamento dos piezômetros na MF.	117
Figura 6.8 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 01.	120
Figura 6.9 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 02.	121
Figura 6.10 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 03.	122
Figura 6.11 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 04.	123
Figura 6.12 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 05.	124
Figura 6.13 – Exemplos de hidrogramas de cheia pareados em MF e MC, em diferentes situações de volume. A – Pico de cheia maior em MC. B – Pico de cheia maior em MF.	127
Figura 6.14 – Comparativo do deflúvio em milímetros da MF e MC com as chuvas reais e médias históricas.	136
Figura 6.15 - Esquema superficial x subterrâneo no balanço hídrico da MF.	137
Figura 6.16 - Esquema superficial x subterrâneo no balanço hídrico da MC.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Comparação de produtividade mundial anual de florestas plantadas. _____	35
Tabela 4.2 - Eficiência do uso da água por diferentes culturas vegetais. _____	35
Tabela 4.3 - Altura de lâmina de água utilizada por cultura para o ciclo ou uso anual. ____	36
Tabela 5.1 – Caracterização do solo por classe estrutural das microbacias de estudo em Rosário do Sul. _____	70
Tabela 5.2 - Localização e início do monitoramento nos pluviômetros utilizados. _____	73
Tabela 5.3 – Valores de porcentagem de areia, silte e argila e condutividade hidráulica saturada para as microbacias de estudo. _____	80
Tabela 5.4 - Coordenadas UTM, profundidade e cota altimétrica dos piezômetros _____	90
Tabela 5.5 – Estações climatológicas oficiais utilizadas para ponderação mensal da ETP nas microbacias de estudo. _____	98
Tabela 6.1 – Valores médios de precipitação pluviométrica na microbacia de campo e florestada no período de Out/08 a Set/09, nas fazendas São Carlos e Santa Ambrosina, respectivamente. _____	99
Tabela 6.2 – Valores de interceptação estimados pela metodologia dos interceptômetros para a primeira fase do estudo. _____	100
Tabela 6.3 – Valores de interceptação calculados pela metodologia dos interceptômetros para a segunda fase do estudo, com avaliação de impacto no cultivo de <i>Eucalyptus dunnii</i> . _____	103
Tabela 6.4 – Valores de interceptação calculados pela metodologia dos interceptômetros para a segunda fase do estudo, com avaliação de impacto no cultivo de <i>Eucalyptus urograndis</i> . _____	105
Tabela 6.5 – Impacto ponderado médio das áreas de silvicultura com os tipos de interceptações resultantes. _____	106
Tabela 6.6 – Recarga direta (bruta) do piezômetro 1 – MC _____	117
Tabela 6.7 – Recarga direta (bruta) dos piezômetros 2, 3, 4 e 5 – MF _____	117
Tabela 6.8 – Síntese das informações registradas nos piezômetros em relação à boca do poço – 0 m. _____	125
Tabela 6.9 – Caracterização dos escoamentos nas microbacias _____	127

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 - Relato histórico dos fatos envolvendo as discussões sobre a silvicultura no RS. _____ 27

Quadro 4.2– Pesquisas envolvendo produção de água em bacias florestais. _____ 42

Quadro 5.1- Caracterização das espécies de eucalipto cultivados na microbacia florestada, data de plantio, espaçamento e área. _____ 77

Quadro 5.2 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo para a MF. _____ 91

Quadro 5.3 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo para a MC. _____ 92

Quadro 6.1– Demonstrativo global das variáveis das microbacias para 100% do tempo de curva de permanência. Com contribuição do escoamento superficial _____ 114

Quadro 6.2– Balanço hídrico subterrâneo da Microbacia Florestada _____ 129

Quadro 6.3 – Balanço hídrico subterrâneo da Microbacia de Campo _____ 131

Quadro 6.4 – Balanço hídrico superficial da microbacia de campo. _____ 133

Quadro 6.5 – Balanço hídrico superficial da microbacia florestada. _____ 134

LISTA SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA: Agência Nacional das Águas

ABNT/NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP: Área de Preservação Permanente

BEFLORESTA: Bacia Escola Floresta

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA: Conselho Estadual de Meio Ambiente.

CPEF: Companhia Paulista de Estradas de Ferro

CPRH: Agência Estadual de Meio Ambiente - PE

CREA-RS: Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do RS

CRH: Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul

DRH: Departamento de Recursos Hídricos

E - Leste

E_t: Escoamento pelo Tronco

ETP: Evapotranspiração.

F.S.: Full Scale

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Roessler

GERHI: Grupo de Pesquisa Gestão de Recursos Hídricos

IBAMA: Instituto Brasileiro

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

K: Condutividade hidráulica

KSAT: Condutividade do solo saturado

MC: Microbacia de Campo

MF: Microbacia Florestada

N - Norte

OMM: Organização Mundial de Meteorologia

PIRF: Programas de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento.

PP_i: Precipitação Interna

RL: Reserva Legal

SBS: Sociedade Brasileira de Silvicultura

SERGS: Sociedade de Engenheiros do Rio Grande do Sul.

WTF - Water Table Fluctuation

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 HIPÓTESE	13
3 OBJETIVOS	14
3.1 Objetivo Geral	14
3.2 Objetivos Específicos	14
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
4.1 Contextualização do Estudo.....	24
4.1.1 Por que o eucalipto como alvo do estudo?	24
4.1.2 “Eucalipto x Água”: a incerteza.	24
4.1.3 A polêmica: fruto da incerteza.....	25
4.1.4 Contribuição no apoio à tomada de decisão.	28
4.2 Bioma Pampa.....	29
4.2.1 Características do Bioma em Estudo	31
4.3 O Eucalipto	33
4.3.1 Origem.....	34
4.3.2 Características do gênero	34
4.3.3 Aspectos do seu cultivo e manejo.....	36
4.4 Bacia hidrográfica	37
4.4.1 A Importância da floresta na produção de água da microbacia.....	39
4.4.2 Pesquisas envolvendo florestas plantadas e recurso hídrico	41
4.5 Métodos de Avaliação Hidrológica.....	44
4.5.1 Parâmetros do Balanço hídrico.....	44
4.5.2 Balanço hídrico de águas superficiais.....	49
4.5.3 Método de análise de disponibilidade hídrica.....	51
4.6 Água Subterrânea.....	56

4.6.1 Recarga Subterrânea.....	56
4.6.2 Métodos de avaliação de recarga em hidrologia de água subterrânea	60
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	67
5.1 Características da área de estudo.....	67
5.2 Sobre as microbacias.....	69
5.3 Pluviometria.....	73
5.3.1 Estações pluviométricas	73
5.3.2 Medições complementares da pluviometria	75
5.4 Estação hidrométrica e seus componentes	81
5.4.1 A estrutura hidráulica de monitoramento.....	81
5.4.2 Construção da estrutura hidráulica	81
5.5 Construção da curva de permanência	84
5.5.1 Cálculo dos volumes da curva	85
5.6 Monitoramento subterrâneo	85
5.6.1 Poços de monitoramento	85
5.6.2 Avaliação de Recarga e Armazenamento	93
5.7 Balanço Hídrico Superficial e Subterrâneo.....	96
5.7.1 Evapotranspiração real das microbacias.....	96
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	99
6.1 Pluviometria.....	99
6.2 Água superficial - comparativo quantitativo do deflúvio entre MC e MF....	107
6.2.1 Análise dos resultados quantitativos superficiais sob o prisma da gestão..	115
6.3 Água subterrânea	116
6.3.1 Recarga Bruta.....	116
6.4 Balanço Hídrico Superficial e Subterrâneo das Microbacias	125
6.4.1 Separação de escoamento	125
6.4.2 Balanço hídrico subterrâneo da microbacia florestada.....	128
6.4.3 Balanço hídrico subterrâneo da microbacia de campo.....	130

6.4.4 Balanço hídrico superficial da microbacia de campo.....	132
6.4.5 Balanço hídrico superficial da microbacia florestada.....	134
7 CONCLUSÕES	141
8 RECOMENDAÇÕES	143
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144

1 INTRODUÇÃO

Tem-se experimentado mudanças em todos os setores da sociedade moderna pelo mundo. Mas a conscientização e a mobilização das pessoas diante dos problemas ambientais do planeta constituem, sem dúvida, uma das mais salutaras conquistas da atualidade (LIMA, 2006). Dentre essas conquistas, surgiram as conferências mundiais para discussão dos custos ambientais do desenvolvimento, como em Estocolmo em 1972 e mais tarde traduzida no conceito de desenvolvimento sustentável, que aparece então definido no Relatório Brundtland de 1987 (CMMAD, 1988).

Desde então, a preocupação com os impactos ambientais passaram se tornar um tema frequente na teoria, mas que quase sempre não se refletiam em ações práticas, principalmente em países como o Brasil. No setor florestal brasileiro, tem-se ainda dificuldade em entender e aplicar o chamado manejo florestal sustentável, no verdadeiro sentido do conceito. Essa nova perspectiva de manejo implica na premissa de que, os recursos florestais possuem uma ligação mútua e interativa com todos os demais elementos do ecossistema, incluindo o fluxo de energia, ciclo hidrológico e dos nutrientes (LIMA, 2006).

Entendida essa interatividade entre os elementos, espera-se uma aplicação do plano de manejo que compreenda essas interações e que dê permanência aos processos culturais, ecológicos e hidrológicos da unidade produtiva, visando sempre a busca pela minimização dos impactos ambientais. Nesse sentido, tem-se uma urgência ambiental especial, referente aos plantios florestais com *Eucalyptus* e seu comportamento hidrológico em microbacias no Brasil, principalmente no quesito quantitativo, no qual as incertezas são muitas.

Logo, tem-se que o norteamento em hidrologia florestal tem sido a busca pelo melhor entendimento das relações entre a floresta e a água no que tange ao seu uso ou consumo pela floresta e o efeito do manejo sobre a produção e características da água de uma microbacia, como cita Moster (2007).

E estudos que analisam a relação da produção de água em uma microbacia sob efeito da silvicultura são, por vezes, divergentes, sobre o real efeito da floresta sobre o balanço hídrico em microbacias. Nesse contexto, debate-se a controvérsia histórica sobre o papel desempenhado pelo eucalipto com relação ao uso e a sua

função hidrológica nas bacias de drenagem sobre as quais são cultivados. Uma questão frequentemente abordada pela mídia, sociedade e leigos, trata de que o eucalipto provoca rápido secamento do solo trazendo prejuízos em relação ao ecossistema original.

Questionamentos dessa natureza são, por vezes, carentes de fundamentação científica e freqüentemente tomados como verdades. Outras vezes, a própria carência de informação a respeito do tema, determina posturas mais parcimoniosas como a do Prof. Lanna da UFRGS (LANNA, 2007) em que argumenta: "...ao se introduzir uma espécie conhecida por seu grande consumo de água, expressivamente maior do que o consumo do campo nativo, a tendência é o agravamento das condições de suprimento aos usuários atuais de água, como a orizicultura e o abastecimento das cidades...".

Pelos extremos da discussão no RS, foram produzidos livros, dezenas de textos e reportagens que fomentam as crescentes discussões. Contrário a introdução do eucalipto no RS, um grupo de ambientalistas, pesquisadores e religiosos lançaram um livro organizado por Filho (2008), intitulado "Eucaliptais. Qual o Rio Grande do Sul que queremos?". Por outro lado, as empresas de celulose lançaram cartilhas informativas e explicativas, além de alguns pesquisadores terem se considerado favoráveis à introdução da espécie. Um destes, foi Silva (2007), argumentando que "...os projetos das empresas florestais preveem a preservação de nascentes e cursos de água, como bem determina a Legislação Estadual e Nacional, atendendo às mais exigentes normas internacionais".

Ademais, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental do RS – (FEPAM), por meio do Zoneamento Ambiental para Atividade da Silvicultura (ANESI, 2007) se manifesta receosa, argumentando que, tendo em vista o déficit hídrico potencial em períodos críticos, apontado pelos estudos que embasaram o Zoneamento, somente seriam admitidos florestamentos após a elaboração de balanços hídricos com dados locais e a redefinição dos usos da água na bacia, sendo portanto, ouvido o respectivo Comitê da Bacia Hidrográfica em consonância com o Sistema de Recursos Hídricos. Além disso, os estudos de impacto ambiental – EIA, deveriam aprofundar os estudos referentes ao regime de fluxo das águas subterrâneas na área de influência dos empreendimentos.

No Brasil a polêmica ainda permanece viva e passa por questões fundiárias no ES, ambientais em MG, SP, RS, sociais na BA, RS, etc. Contudo, há décadas, a

ciência tem mostrado muitos resultados em relação ao tema, tendo conduzido estudos e revisões sobre o assunto em várias partes do mundo como em, Hibbert (1967), Bosch e Hewlett (1982), Lima et al. (1990), Calder et al. (1992), Arthur et al. (1998), Sharda et al. (1998), Câmara e Lima (1999), Soares e Almeida (2001), Oki (2002), Zhou et al. (2002), Almeida e Soares (2003), Sikka et al. (2003), Cossalter e Pye-Smith (2003), Andressian (2004), Moster (2007) e Kobiyama e Chaffe (2008) entre muitos outros.

A maioria destes estudos foi conduzida pelo método das microbacias experimentais e que tem se mostrado cientificamente eficientes na avaliação da produção e qualidade da água dos riachos, diversidade biológica e ciclagem de nutrientes, comparando microbacias recobertas por espécies florestais de rápido crescimento à vegetação natural e atividades agropecuárias. Porém, os resultados apresentados são, por vezes, contraditórios no que tange a questões de consumo de água por espécies florestais como o *Eucalyptus*.

Ao considerar essas dificuldades sócio-ambientais das florestas de eucalipto e também pela complexidade do contexto em que estão inseridas, Mosca (2003), argumenta que não se deve reduzir o ciclo da água a um fenômeno que se desenvolve fora da sociedade, procura-se, ao contrário, agregar subsídios para o debate do modelo agrícola-agrário ora estabelecido em busca de orientação para a implementação de melhores práticas de manejo das florestas plantadas.

Os estudos (supracitados) conduzidos nessa direção já demonstraram que os efeitos de monoculturas florestais sobre os recursos hídricos pouco diferem dos efeitos de qualquer tipo de floresta natural sobre o regime hidrológico original.

No entanto, o presente estudo está norteado sobre a busca dos efeitos dos cultivos florestais em um Bioma de campo que possui, naturalmente, uma menor produção de biomassa, uma menor evapotranspiração, uma menor interceptação da chuva e paradoxalmente, uma possível redução na infiltração, em função do tipo histórico de uso do solo que ocupou o pampa ao longo de milhares de anos. Todos esses aspectos originais do Bioma coordenam os atuais processos do regime hidrológico mesmo naquelas áreas ocupadas por pecuária extensiva.

2 HIPÓTESE

- A silvicultura do eucalipto para celulose no Pampa altera o regime hidrológico natural do Bioma.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da silvicultura do eucalipto sobre o regime hidrológico superficial e recarga subterrânea de uma microbacia e compará-la ao regime hidrológico natural do Pampa.

3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as alterações no deflúvio por decorrência do uso florestal.
- Analisar a variação da recarga direta e do armazenamento de água subterrânea das microbacias.
- Analisar as alterações hidrológicas decorrentes do balanço hídrico superficial e subterrâneo.
- Estimar o uso de água diário, aproximado, de um eucalipto aos 7 anos nas condições da bacia florestada.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Contextualização do Estudo

4.1.1 Por que o eucalipto como alvo do estudo?

A produção de madeira pela floresta de eucalipto tem como benefício a disponibilização de matéria-prima para a sociedade poder usufruir de produtos considerados indispensáveis como: papel, carvão, lenha, móveis, habitações, alimentos, óleos essenciais, etc. Ao obter madeira de florestas plantadas, se estará contribuindo para a preservação das florestas nativas, já que a demanda por produtos e sub-produtos oriundos da floresta é crescente. O novo modelo de produção florestal baseado em cultivos na formatação de produção de biomassa para celulose é relativamente recente. Esse modelo de reflorestamento está em constante aperfeiçoamento, o que permitiu a geração de conhecimento científico e tenta superar outras tantas indagações ambientais, sociais e econômicas a todo instante.

4.1.2 “Eucalipto x Água”: a incerteza.

No contexto atual, quando se fala em uso ou consumo de água por eucaliptos, a população em geral, inadvertidamente, imagina grossas e profundas raízes funcionando como verdadeiras bombas, retirando água do solo e a mandando na forma de água transpirada para a atmosfera. No entanto, há um desconhecimento, por parte da população leiga, sobre a fisiologia e morfologia das florestas plantadas e também sobre como a água é absorvida, transportada e transpirada. Além disso, existe uma série de dúvidas por parte da sociedade em geral (inclusive pesquisadores) sobre o balanço hídrico das plantações florestais, bem como, sobre fenômenos importantes como fotossíntese, respiração, transpiração, evaporação e evapotranspiração.

A compreensão dos processos hidrológicos existentes em microbacias florestadas geram bases científicas úteis para sanar indagações científicas e da mesma forma atingir a sociedade, desde que se utilize de mecanismos acessíveis de compreensão. Ademais, formas mais eficientes do conhecimento científico chegar até comunidades com as quais interage ainda é um desafio; além disso, algumas experiências traumatizantes que passaram pela questão fundiária no sudeste, fizeram com que houvesse uma idéia avessa aos plantios florestais. Talvez estes, somados, sejam um dos fortes motivos que levaram o eucalipto a ser tão contestado.

Além disso, frente à importância, freqüentemente debatida, sobre o uso racional dos recursos hídricos e o conseqüente impacto das ações antrópicas sobre tal sistema, se faz necessário um trabalho visando suprir com respostas, alguns questionamentos em relação ao comportamento hidrológico da espécie do gênero *Eucalyptus* sobre o Bioma Pampa.

As áreas sobre as quais estão sendo implantados os povoamentos de *Eucalyptus* no Estado do Rio Grande do Sul, encontram-se, na sua grande maioria, em solos de grande susceptibilidade à erosão, baixa capacidade de retenção de água além de serem originados a partir do Arenito Botucatu ou da mescla de arenito com basalto (arenoso, baixa fertilidade, ausência de matéria orgânica) além de, em alguns locais, estarem sobre áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani – SAG.

4.1.3 A polêmica: fruto da incerteza.

Para se entender a origem da polêmica sobre o eucalipto, remete-se a sua chegada no Brasil pelas mãos de Edmundo Navarro de Andrade em meados de 1904, quando o ilustre engenheiro foi contratado pelo Serviço Florestal da Companhia Paulista de Estrada de Ferro - CPEF para suprir a falta de carvão para as locomotivas e dormentes para as ferrovias. Foi nesse período que começaram as críticas da imprensa e nacionalistas:

Dizia-se que essa espécie de árvore não prestava para nada, que sua lenha não produzia o calor necessário para as fornalhas e que pelo pouco espaçamento dado entre as plantas a CPEF teria sempre uma floresta de cabos de vassoura e que, além disso, não era conveniente plantar-se uma

essência exótica quando havia tantas essências nacionais (SAMPAIO, 1948 apud MARTINI, 2004).

Andrade (1922) ressalta: “Chegamos a recear uma Lei de expulsão para os eucalyptos e ella teria sido votada, certamente, se dahi pudessem advir beneficios para as nossas industrias artificiaes”. Além disso, neste período, o cultivo de pequenos bosques da planta foi incentivado com o objetivo de secar possíveis áreas úmidas que serviriam de habitat de mosquitos transmissores de doenças na época.

Atualmente, a polêmica dos plantios de eucalipto passa por questões fundiárias com indígenas, remanescentes quilombolas e tem sido questionada por diversas vezes sua real função social, etc. No Quadro 4.1 estão narrados alguns fatos importantes relacionados ao tema no RS.

Origem	Ano	Descrição do fato
Anúncio de novos investimentos do agronegócio no Pampa	2005	Foram anunciadas três novas indústrias de celulose concentradas na porção sul do Estado, o que gerou uma reação das entidades ambientalistas, receosas com a possibilidade do plantio de cerca de 1 milhão de hectares de florestas de eucalipto e pinus.
Viveiro da Aracruz celulose depredado (ARACRUZ CELULOSE, 2009)	2006	Um laboratório e um viveiro florestal da Aracruz Celulose em Barra do Ribeiro (RS) foram depredados por integrantes do MST, do Movimento das Mulheres Camponesas e da Via Campesina. Todo o material genético manipulado há 20 anos para melhorar a produtividade das plantações de eucalipto que abastecem a fábrica de celulose de Guaíba (RS) foi destruído. Foram destruídas também quatro milhões de mudas da área de distribuição para plantio. A Via Campesina acusou a empresa de provocar danos ambientais pela monocultura de eucalipto.
Pesquisadores entram na discussão (BUCKUP, 2006 e PAMPA, 2006, CREA-RS, 2007)	2006	Geógrafo, Professor da UFRGS, Roberto Verдум, em entrevista a Revista IHU-ONLINE da UNISINOS, questionou: “vamos dar água de alta qualidade para produzir eucalipto?”. “Como são árvores de alto crescimento, a demanda de água vai ser importante e maior. Com certeza, a introdução dessas monoculturas afetará o manancial hídrico”.
	2006	O Professor da UFRGS, Ludwig Buckup (2006) afirmou que em se tratando de monoculturas arbóreas, “falar-se que elas estariam colaborando para a sustentabilidade do planeta é totalmente improcedente” - referindo-se às frases utilizadas pelos órgãos financiadores de florestas. O mesmo autor ressalta que entre os elevados custos ambientais da implantação de eucaliptais principalmente, em extensas áreas do Estado do RS, destacam-se as perdas previsíveis de recursos hídricos, tanto do solo como dos ambientes lóticos.
	2007	Na “Conselho em Revista” nº 35 Do CREA-RS, o Prof. da UERGS Luiz Alberto Silveira Mairesse diz que o “Zoneamento da Silvicultura para o RS apesar de cientificamente fundamentado, torna-se uma peça puramente proibitiva, sectária e dogmática”.

Continua...

AGEFLOR (2007)	2007	No “site” da Associação Gaúcha de Empresas Florestais publicou que: o que se assistiu nas audiências públicas do Zoneamento Ambiental da Silvicultura, por exemplo, não foi uma discussão em que primassem questões técnicas ambientais ou mesmo sociais e econômicas, mas sim a ressurreição de posições baseadas num falso dilema, empregos e desenvolvimento versus meio ambiente. Aqueles que defendem o Zoneamento da Silvicultura elaborado pela Fepam/Fundação Zoobotânica foram principalmente acusados de serem contra o desenvolvimento da Metade Sul do Estado.
Resolução CONSEMA (2008).	2008	Foi divulgada no Diário Oficial do RS, a RESOLUÇÃO CONSEMA N.º 187/2008 (RIO GRANDE DO SUL, 2008) normatizando todos os novos plantios a se adequarem ao Zoneamento para Atividade de Silvicultura – ZAS.
Crise mundial de 2009 (Jornal Zero Hora, 2009)	2009	Cessam os investimentos no RS, demissões e incertezas. Houve a fusão de duas empresas que, juntas, acumularam uma dívida de 13,4 bilhões de Reais. Uma das duas unidades dessa nova empresa, situada na metade sul, foi negociada com uma investidora Chilena, reacendendo o mercado gaúcho de papel e celulose.
Empresa de celulose paralisa plantios no RS	2010	A terceira empresa paralisa os plantios no RS por enfrentar entraves referentes a aquisição de terras em faixa de fronteira e ainda por sofrer os efeitos da crise de 2009.
Uma das empresas encerra as atividades no RS.	2013	Uma empresa multinacional, que pretendia plantar 100 mil ha no RS, transfere em definitivo sua planta da fábrica de celulose ao Uruguai e permanece com 20 mil ha em ponto de corte, sem ter um destino definido.

Quadro 4.1 - Relato histórico dos fatos envolvendo as discussões sobre a silvicultura no RS.

Notou-se que a polêmica instaurada no Estado do RS, envolvendo os novos investimentos em silvicultura com os recursos hídricos, trouxe ao debate desde a população leiga até a elite intelectual gaúcha. Porém, o que se verificou, foram apenas suposições e conjecturas a respeito do tema. A resposta para muitas dessas indagações, poderia apenas ser alcançada por meio da ciência, isenta de tendenciosidades políticas, econômicas, sociais, ambientalistas de interesses privados.

Fica claro, nesse breve relato histórico a respeito do tema, que sempre houve contrários em relação ao eucalipto. Desde os tempos de Navarro de Andrade até os dias atuais, mudaram apenas as causas do conflito e alguns personagens, no entanto, ao que tudo indica se não houver resultados satisfatórios sobre o assunto água x eucalipto, sempre existirão discussões fundamentadas no senso comum e na carência de informações e ainda haverá espaço para discussões por interesses particulares, supostamente em nome da precaução e em defesa da sociedade, ou em nome de um desenvolvimento a qualquer custo.

4.1.4 Contribuição no apoio à tomada de decisão.

No Estado, por meio de Audiências Públicas, legislação de recursos hídricos e seus instrumentos, em especial a Outorga, Enquadramento e Cobrança, ações dos comitês de bacia, etc, torna-se possível estabelecer o uso desejável da água para um rio em particular. Tal uso implicaria em concentrações desejáveis de parâmetros quali-quantitativos da água para os usos múltiplos e ainda preservar o ambiente. Porém, qual embasamento que um órgão gestor teria, para a tomada de decisão, sem levantar os reais impactos do tipo de uso do solo na bacia?

Esse estudo se torna importante no momento em que a silvicultura do eucalipto faz parte de um cenário que já conta com um passivo ambiental problemático como: da cultura do arroz, da soja e da pecuária, que cederam à silvicultura grandes extensões de áreas arenizadas, erodidas, com graves problemas de fertilidade e estrutura do solo, o que provavelmente já reflete há tempos no ciclo da água na metade sul/sudoeste do Estado do RS.

Além disso, a própria legislação ambiental, exige mecanismos de controle para avaliar os impactos do setor florestal, principalmente relacionados com a manutenção da produção de água em quantidade e qualidade. Logo, a avaliação do regime hidrológico tem sido usada em silvicultura com a instrumentação de microbacias experimentais e monitoramento contínuo da produção de água em áreas sujeitas aos impactos do florestamento ou reflorestamento.

A compreensão do efeito que as florestas plantadas exercem sobre as águas é fundamental para auxiliar no esclarecimento de questões a muito debatidas por ONGs, pesquisadores, ambientalistas e comunidade em geral, em relação à influência da silvicultura principalmente do eucalipto, sobre a manutenção quali-quantitativa da água numa região com déficit hídrico e de bioma singular como a metade sul do RS.

O Bioma Pampa, onde se localizam as microbacias dessa pesquisa, apresenta uma vasta riqueza em biodiversidade de espécies, principalmente vegetais, e singularidade em importância hidrológica, o que o remete a um estudo mais aprofundado sobre seu comportamento frente a uma intervenção antrópica de grandes proporções territoriais como os plantios de eucalipto. O melhor entendimento dessa questão deverá permitir que se possa tratar com maior

embasamento científico os impactos hidrológicos e ambientais das plantações de eucaliptos no Pampa gaúcho, além de servir como subsídio a políticas públicas que promovam a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Estudos complementares devem ser realizados para subsidiar o planejamento e o manejo florestal nas empresas, que naturalmente, dependem do meio científico para norteá-las no trajeto correto da sustentabilidade de sua exploração florestal.

4.2 Bioma Pampa

Segundo Pillar et al. (2009) os Campos Sulinos são ecossistemas naturais com alta diversidade de espécies vegetais e animais. São os campos dos biomas brasileiros Mata Atlântica e Pampa, sendo que este último, se estende sobre amplas regiões do Uruguai e Argentina . Eles garantem serviços ambientais importantes, como a conservação de recursos hídricos, a disponibilidade de polinizadores e o provimento de recursos genéticos.

Além disso, o mesmo autor cita que a história dos campos no sul do Brasil, incluindo sua origem, desenvolvimento, distribuição, composição e biodiversidade, assim como o papel do fogo e do impacto humano, tem sido estudada apenas recentemente. Variações espaciais e temporais dos biomas campestres nos trópicos e subtropicais, assim como alterações nos limites entre campo e floresta e mudanças florísticas da vegetação campestre, são eventos importantes que contribuem para o entendimento dos atuais campos do sul do Brasil.

O Bioma Pampa (Figura 4.1), segundo Hasenack (2007), teria 13,1 milhões de hectares o que representaria aproximadamente 58,5% do território gaúcho. Entretanto, segundo o mesmo autor, desses 13,1 milhões de hectares, restam preservados cerca de 41% (pouco mais de 5 milhões de hectares), em função do avanço das lavouras e em muitos casos pelo avanço excessivo da pecuária e ultimamente da silvicultura.

A região do planalto da Campanha, a maior extensão de campos do Rio Grande do Sul, é a porção mais avançada para oeste e para o sul do domínio morfoestrutural das bacias e coberturas sedimentares as quais receberão grande parte dos investimentos em silvicultura. Nas áreas de contato com o arenito Botucatu, ocorrem os solos podzólicos vermelho-escuros (neossolos quartzarênico,

argissolos), principalmente a sudoeste da cidade de Quaraí e a sul e sudeste da cidade de Alegrete, onde se constata o fenômeno da arenização. São solos, em geral, de baixa fertilidade natural e bastante suscetíveis à erosão.

As rochas sedimentares, nesta área, são do tipo arenito, formadas pela fragmentação de rochas preexistentes, desagregadas pela erosão, transportadas e acumuladas em locais propícios à deposição, formando bacias sedimentares. Também se apresentam favoráveis à formação dos melhores aquíferos, devido à porosidade quase sempre homogênea. Também apresentam uma elevada relação de porosidade/permeabilidade o que favorece a velocidade de fluxo subsuperficial (DAMBRÓS, 2011).

As características morfológicas e geológicas da área de estudo, apresentam-se do tipo Coxilhas, segundo a classificação de Ab'saber (1970). Segundo Sartori (1979), as Coxilhas da Depressão Periférica, caracterizadas como unidades de relevo com menores cotas altimétricas, que podem variar de 60 metros a 200 metros acima do nível médio do mar. Estas coxilhas podem também ser consideradas divisores de água de pequenas bacias hidrográficas, pois tem como característica morfológica a presença de colinas côncavas – convexas.

Segundo Streck (2008), a área que delimita-se ao norte com o Rio Ibicuí, a oeste com o rio Uruguai, ao sul com o Rio Quaraí e a leste com a bacia do rio Ibicuí corresponde ao segmento sul-norte da Depressão Periférica é chamada de região da Campanha do RS.

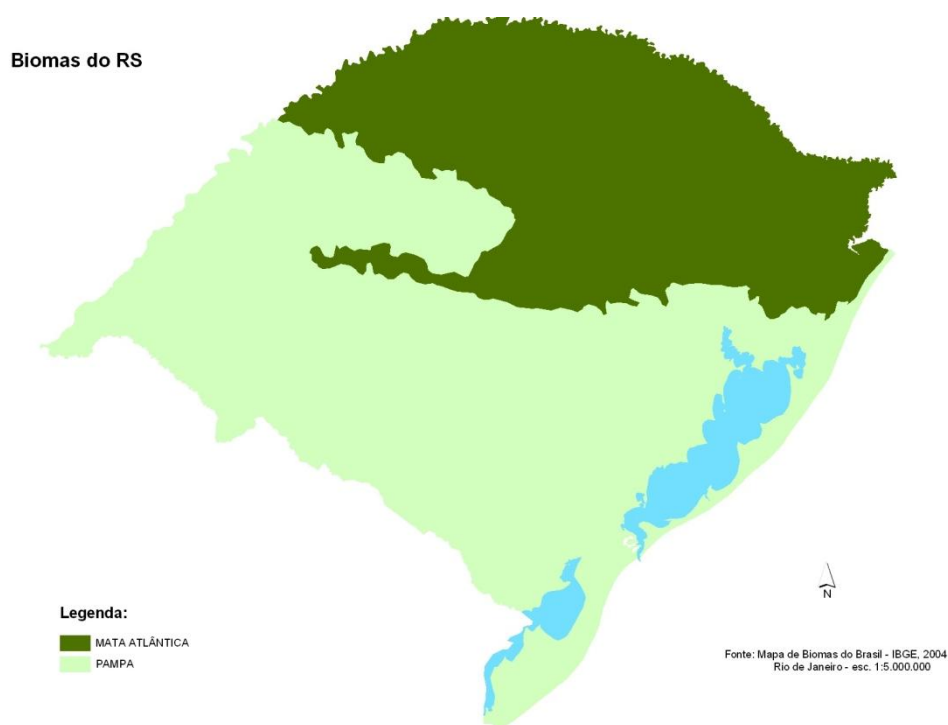


Figura 4.1- Divisão dos Biomas no RS

Fonte: IBGE (2006)

4.2.1 Características do Bioma em Estudo

Os ecossistemas de campos subtropicais do Brasil apresentam alta biodiversidade e são o tipo de vegetação predominante em algumas áreas da região sul. Uma vegetação em forma de mosaico campo/floresta, que ainda apresenta certo aspecto natural, pode ser encontrada em algumas regiões menos degradadas, apesar das massivas alterações na paisagem que têm ocorrido pela conversão dos habitats para agricultura e silvicultura (PILLAR et al., 2009).

A vegetação do RS é constituída por formações florestais, na ordem de 93.098,55 km², por formações campestres (Biomas Pampa e Mata Atlântica) que ocupam 131.041,38 km², além das áreas de tensão ecológica e das formações pioneiras (HASENACK et al., 2007). No entanto, com o avanço da civilização e com o aumento da população humana ocorreram muitas alterações. A entrada de animais domésticos, como gado bovino, a introdução de culturas, como o arroz e a soja, a silvicultura e a expansão urbana modificaram grandemente a fisionomia observada nos dias de hoje. Segundo Hasenack et al. (2007), a cobertura natural ou

semi-natural da vegetação campestre atualmente é de 64.210,09 km², o que significa dizer, que foi suprimido 51% da vegetação campestre original, com finalidade econômica e para urbanização.

Burkart (1975), classificou a vegetação campestre do sul do Brasil em dois tipos distintos: “campos do Brasil Central” para aqueles situados no norte do Estado e que tem continuidade nos Estados de Santa Catarina e Paraná e fazem parte do bioma Mata Atlântica (IBGE 2004). Além disso, a outra porção foi denominada “campos do Uruguai e sul do Brasil” para aqueles do sul do RS e que correspondem ao Bioma Pampa (IBGE 2004) conforme Figura 4.2.



Figura 4.2 - Abrangência do Bioma Pampa na Argentina, Uruguai e Brasil.

Fonte: Pillar et al. (2009).

Para Pillar et al. (2009), no Brasil, o Bioma Pampa com continuidade no Uruguai, está restrito ao estado do Rio Grande do Sul e se localiza na metade sul, ocupando aproximadamente 63% (IBGE 2004) da superfície do Estado. Segundo Burkart (1975), constitui uma das regiões do mundo mais ricas em gramíneas, com uma mistura de espécies microtêrmicas e megatêrmicas e predomínio destas últimas. A matriz geral é formada por grandes extensões de campo dominado por

gramíneas, com inclusões de florestas pelas margens dos rios, constituindo as chamadas matas de galeria.

Pillar et al. (2009) classificaram os campos do Bioma Pampa em 7 formações distintas dentro do território gaúcho, dentre elas “Os Campos de Barba-de-Bode”, “Campos de Solos Rasos”, “Campos de Solos Profundos”, “Campos dos Areais”, “Vegetação Savanóide”, “Campos Litorâneos” e por fim os “Campos do Centro do Estado”, que compreende parte da Depressão Central incluindo-se a Bacia hidrográfica do Rio Santa Maria.

Na região abrangida pelos Campos do Centro do Estado, com pecuária extensiva ou agricultura, Pillar et al. (2009) salienta que, quando os campos são bem manejados, a presença de solo descoberto é baixa, pois no estrato inferior, as espécies dominantes são rizomatosas, representadas pelo capim-forquilha (*Paspalum notatum*) nos topos e encostas das coxilhas e estoloníferas como a grama-tapete (*Axonopus affinis*) nas baixadas úmidas.

O capim-caninha (*Andropogon lateralis*) é presença constante, destacando-se no estrato superior. Entretanto, o mesmo autor cita que, em campos com sobrepastoreio, a comunidade vegetal torna-se rala e o solo descoberto apresenta valores alarmantes. São nestes espaços que as sementes das compostas, que são numerosas, se instalam, destacando-se a roseta (*Soliva pterosperma*), o alecrim-do-campo (*Vernonia nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*), além de *S. selloi* e *S. heterotrichus*. Nas áreas bem drenadas, as barbas-de bode (*Aristida jubata* e *A. filifolia*) formam touceiras e compõem o estrato superior da comunidade vegetal.

4.3 O Eucalipto

Segundo Vital (2007), o Eucalipto (do grego, eu + καλύπτω = "verdadeira cobertura") é a designação vulgar das várias espécies vegetais do gênero *Eucalyptus*, ainda que o nome se aplique ainda a outros gêneros de mirtáceas, como *Corymbia* e *Angophora*.

A maioria das espécies de *Eucalyptus* são árvores típicas de florestas altas, atingindo alturas de cerca de 50 metros e de florestas abertas com árvores menores que chegam a 25 metros, cerca de 40 espécies são arbustivas segundo Mora e Garcia (2000).

4.3.1 Origem

De ocorrência natural da Austrália, o eucalipto possui mais de 600 espécies adaptadas a diversas condições de solo e clima. Dessa variedade de espécies, apenas duas não são originadas da Austrália, o *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus deplupta* (MORA; GARCIA, 2000). Os mesmos autores comentam que a disseminação de sementes de eucaliptos no mundo começou no início do século XIX. Na América do Sul, o primeiro país a introduzir o eucalipto foi o Chile em 1823 e posteriormente a Argentina e o Uruguai. Por volta de 1850, países como Portugal, Espanha e Índia começaram a testar o eucalipto.

No Brasil, Mora e Garcia (2000), relatam que as primeiras mudas de eucaliptos foram plantadas no Rio Grande do Sul em 1868 e no mesmo ano, foram plantadas algumas mudas no Estado do RJ. Já em 1904 a 1909, Navarro de Andrade (considerado por muitos, o "pai" da eucaliptocultura no Brasil), procedeu testes comparativos de eucaliptos com espécies nativas brasileiras afim de testar qual seria a melhor espécie para suprir as necessidades da Companhia Paulista de Estradas de Ferro.

4.3.2 Características do gênero

Mora e Garcia (2000), tratam das espécies de *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis*, *E. terenticornis*, *E. globulus*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, *E. citriodora* e *E. saligna*, como sendo as mais cultivadas mundialmente.

A seleção da espécie adequada para plantio em determinada região, é realizada com as relações de clima e solo mais próximas possíveis com o local de origem da espécie. O eucalipto possui espécies em quase toda a faixa latitudinal da Austrália, o que permite uma ampla gama de espécies disponíveis. As principais espécies cultivadas no Brasil são de origem tropical e subtropical.

Com mais de 90 anos de experiência no manejo do gênero *Eucalyptus* o setor florestal brasileiro agrega conhecimento suficiente para ter uma das melhores e mais produtivas florestas plantadas do mundo, como mostra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Comparação de produtividade mundial anual de florestas plantadas.

Espécie	País	Rotação (anos)	Produtividade (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)
Eucalipto	Brasil	7	41
Eucalipto	África do Sul	8-10	20
Eucalipto	Chile	10-12	25
Eucalipto	Portugal	12-15	12
Eucalipto	Espanha	12-15	10
Bétula	Suécia	35-40	6
Bétula	Finlândia	35-40	4

Fonte: Adaptado de Bracelpa (2009)

Em relação aos fatores que afetam a produtividade do eucalipto, pode citar a precipitação como uma das limitantes. Mora e Garcia (2000) citam que as árvores têm bom crescimento em locais nos quais chove entre 900 e 2000 mm anuais. Em relação aos solos, o eucalipto prefere solos profundos e bem drenados, sem camada de impedimento.

Em relação ao aproveitamento de água pelo gênero, Novaes (1996) apresentou uma listagem de espécies, comparando-as entre si e o eucalipto conforme Tabela 4.2

Tabela 4.2 - Eficiência do uso da água por diferentes culturas vegetais.

Cobertura	Eficiência do Uso da Água (produção por quilograma de água utilizada)
Batata	0,40-0,65 g de bulbos
Milho	0,47-1,08 g de grãos
Cana-de-Açúcar	1,8 g de açúcar
Feijão	0,5 g de grãos
Trigo	0,9 g de grãos
Cerrado	0,4 g de madeira
Eucalipto	2,9 g de madeira

Fonte Novaes (1996).

Da mesma forma, Calder et al. (1992) apresentou um listagem de uso da água, conforme o ciclo da cultura ou para cada ano, em caso de culturas de ciclo longo como o eucalipto, como mostra a Tabela 4.3

Tabela 4.3 - Altura de lâmina de água utilizada por cultura para o ciclo ou uso anual.

Quantidade de água necessária durante um ano ou ciclo da cultura	
Cultura	Consumo de água (mm)
Cana-de-açúcar	1000-2000
Café	800-1200
Citrus	600-1200
Milho	400-800
Feijão	300-600
Eucalipto	800-1200

Fonte: Calder et al. (1992).

4.3.3 Aspectos do seu cultivo e manejo

O cultivo do eucalipto evoluiu substancialmente nos últimos 20 anos. Os cultivos antigos, resquícios das plantações subsidiadas pelos incentivos fiscais, eram feitos com pouco ou nenhum planejamento, com métodos de preparo de solo obsoletos que facilitaram as formações erosivas até hoje existentes no RS, além disso, eram cultivos regidos sob outro formato da Legislação Ambiental. Além disso, segundo Mora e Garcia (2000), os talhões tinham formatos inadequados e eram implantados em regiões ecológicas inadequadas. Além disso, praticava-se o desmatamento em favor de novas áreas para silvicultura.

No entanto, entre erros e acertos do setor florestal brasileiro, formou-se um patrimônio genético de grande valor que pôs o Brasil na liderança no em domínio da silvicultura do eucalipto.

Atualmente, os plantios comerciais de eucaliptos, em sua grande maioria, são feitos seguindo-se normas internacionais de sustentabilidade e cumprindo os requisitos para manutenção dos seus sistemas de gestão ambiental por meio da ISO 14000. As florestas são planejadas em talhões menores, levando-se em consideração a declividade da área. O plantio de eucaliptos segue de forma rigorosa a legislação ambiental e, além disso, são norteados pelo Zoneamento Ambiental da Silvicultura no Estado do RS. Utiliza-se da metodologia dos corredores ecológicos que interligam Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal (20% para o RS) etc.

Medidas antes adotadas, como o desmatamento em favor da silvicultura do eucalipto, não mais são utilizadas tampouco permitidas. Além disso, existe um controle de incêndios normalmente monitorado via satélite. São adotadas ainda, práticas de preparo do solo com menor capacidade erosiva, adotando-se como método o cultivo mínimo, com subsolagem na linha de plantio.

4.4 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica foi determinada como unidade territorial para planejamentos na Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Ela seria um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia e matéria por meio de agentes climáticos e perde por deflúvio e evapotranspiração. É uma unidade natural da paisagem que apresenta limites bem definidos, funcionando pela contínua troca de energia e de matéria com o meio. Devido a essa característica de equilíbrio dinâmico, qualquer modificação que ocorrer na bacia, acarretará em uma mudança no seu comportamento (GREGORY; WALLING, 1973).

Entretanto, algumas variações do termo bacia hidrográfica trataram de caracterizá-la de forma mais ou menos específica. Perry e Maghembe (1989), por exemplo, citam que o funcionamento hidrológico de uma microbacia é altamente complexo e relativamente estável, suportando alterações naturais quando em boas condições de proteção vegetal. Por esta mesma razão, ela é também altamente sensível a perturbações, cujas alterações se refletem na qualidade da água, que reflete o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos a cada microbacia. Devido a esses fatores, esta é naturalmente considerada uma unidade ecossistêmica de planejamento segundo Likens (1985), onde é possível promover estudos sobre formas de manejo florestal sustentável, englobando o princípio da manutenção da integridade do ecossistema.

Nesse sentido, alguns estudos foram direcionados ao uso de microbacias como a unidade ideal para mensurar os efeitos da floresta plantada ou natural sobre os recursos hídricos e demais interações ecológicas. No entanto, não há consenso sobre o que exatamente diferencia bacia, de microbacia ou de pequena bacia.

Alguns autores como Ponce (1989), Rocha e Kurts (2001), Paiva e Paiva (2001), traçam alguns perfis desejáveis e tamanhos para serem denominadas microbacias.

Uma definição de bacia experimental, foi apresentada por Hewlett et al. (1969), esclarecendo sobre a continuidade do monitoramento e das análises para serem denominadas como bacias experimentais. Logo, Toebe e Ouryvaev (1970), foram pontuais em definir bacias experimentais, argumentando que elas são relativamente homogêneas em solo e vegetação, pouca variação em caracteres físicos do solo e dessa forma é possível se fazer estudos detalhados sobre o ciclo hidrológico, por esse motivo, normalmente são menores de 4 Km².

Essas características e os diversos estudos apresentados por Hibbert (1967), Bosh e Hewlett (1982), Lima et al. (1990), Calder et al. (1992), Arthur et al. (1998), Sharda et al. (1998), Câmara e Lima (1999), Soares e Almeida (2001), Oki (2002), Zhou et al. (2002), Almeida e Soares (2003), Sikka et al. (2003), Cossalter e Pye-Smith (2003), Andressian (2004), Moster (2007) e Kobiyama (2008) entre outros, demonstram que a utilização de microbacias experimentais apresenta-se como um método adequado para a análise dos efeitos ambientais do uso do solo. Outra característica importante é que ela funciona como laboratório natural para estudos a médio e longo prazo, fornecendo maiores informações sobre quais atividades provocam maiores impactos ao ambiente, ajudando na busca de critérios de manejo sustentável.

Um dos efeitos muito significativos na hidrologia florestal, foi observado em bacias experimentais florestais, nas quais foi possível notar a ausência total ou parcial de escoamento superficial, fato esse que levou a uma nova discussão dos mecanismos de geração de vazão (MOTA, 2012). Dessa forma, surge então o conceito de que o escoamento superficial é originado de uma área variável ao longo do canal do rio (HEWLETT; HIBBERT, 1961).

Lima e Zakia (1998) relatam que o manejo sustentável de microbacias hidrográficas busca utilizar os recursos naturais de tal maneira a garantir a manutenção da saúde do ecossistema, organizando e orientando o uso da terra e de outros recursos naturais de modo a produzir bens e serviços sem destruir ou afetar de modo irreversível o solo e a água, utilizando como ferramenta o planejamento orientado das atividades e uso do solo.

A avaliação de qualquer alteração no regime hidrológico em uma bacia hidrográfica só pode ser feita caso exista um registro prévio de suas características

hidrológicas, e que este período seja suficientemente longo para que se possa avaliar e quantificar a magnitude desta alteração. Estas comparações são possíveis quando se correlacionam, na maioria das vezes, o deflúvio com outras variáveis hidrometeorológicas, sendo tal procedimento conhecido por calibração ou calibragem de uma bacia hidrográfica (ARCOVA, 1996). O autor afirma também, que no método das bacias pareadas, uma variável do deflúvio de interesse da bacia a ser alterada é correlacionada com a mesma variável de interesse de uma segunda bacia adjacente ou vizinha, de condições similares à primeira, denominada de bacia controle.

Stednick (1996) discorre sobre o histórico dos estudos realizados em microbacias pareadas nos EUA. O autor afirma que o primeiro trabalho foi desenvolvido no Colorado em 1909 e avaliou os efeitos da colheita florestal sobre o deflúvio. Depois disso, centenas de estudos foram feitos a fim de avaliar os efeitos sobre o deflúvio a partir de: mudanças no uso da terra, distúrbios naturais, infestação de insetos, incêndios florestais, pastagens, conversão de vegetação, florestamento, tipo de sistema de colheita etc.

4.4.1 A Importância da floresta na produção de água da microbacia

Qualquer área ocupada por floresta, seja ela natural ou artificial, possui alguns benefícios oriundos do ecossistema florestal. Kobiyama (2000), ao se referir às diversas características da floresta destaca alguns como: mitigação do clima (temperatura e umidade), diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes), diminuição da perda de solo (pelo controle da erosão), melhoramento da qualidade da água no solo e no rio (ação de filtro), atenuação da poluição atmosférica, aporte de oxigênio, absorção do gás carbônico, prevenção de danos causados pela força do vento, redução da poluição sonora, recreação e educação, produção de biomassa e energia.

Segundo Arcova e Cicco (1997) as florestas naturais desempenham papel muito importante na captação e distribuição de água de chuva nas bacias hidrográficas, no processo de suprimento de água para a recarga dos aquíferos, assim como a regulação do escoamento de água das bacias. Na Figura 4.3, Hewlett

(1982) traduz em números os diversos parâmetros envolvidos no ciclo hidrológico de bacias florestais naturais em relação ao tempo de residência da água.

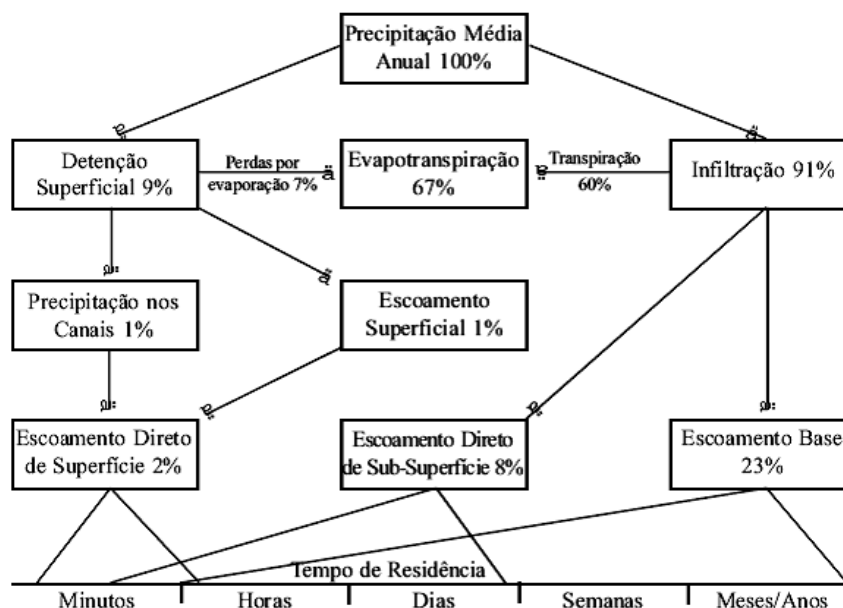


Figura 4.3 - Distribuição percentual aproximada dos processos do balanço hídrico e tempo de residência dos componentes do deflúvio em microbacias com floresta natural.

Fonte: Hewlett (1982).

A hidrologia florestal trata do movimento da água em ambientes de floresta, sejam naturais ou de plantações de espécies de crescimento rápido. O balanço de água nesses ambientes depende da precipitação, da interceptação de água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade (drenagem profunda) e da evapotranspiração. Com exceção da precipitação, os demais processos são bastante influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel.

Lima (1997) apresenta dados sobre resultados obtidos em bacias hidrográficas, os quais mostram os efeitos do reflorestamento sobre a produção de água. É observado, que os efeitos sobre a produção de água variam de acordo com a proporção da área da bacia que é submetida ao corte, ou que foi reflorestada.

Para melhor entender de que forma a planta utiliza a água precipitada Lima (2008) apresentou um modelo de entradas e saídas representado na Figura 4.4

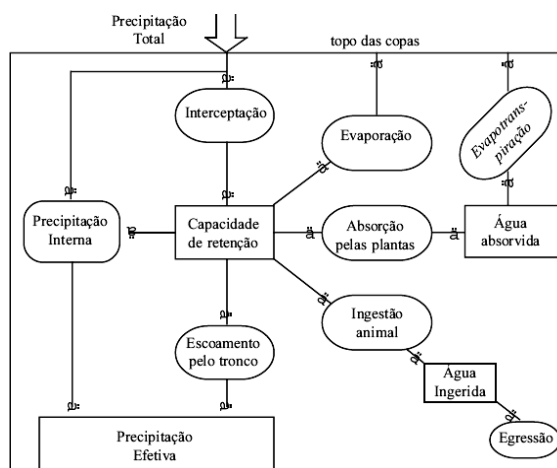


Figura 4.4 - Balanço da água precipitada no dossel da floresta.

Fonte: Lima (2008).

Ademais, Lima (1996), assegurou que do ponto de vista do estabelecimento de plantações florestais com o propósito de melhorar as condições hidrológicas de bacias degradadas, o uso do eucalipto parece promover, com o devido tempo, um adequado controle dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes, contribuindo dessa forma para a melhoria da qualidade da água produzida pela bacia.

4.4.2 Pesquisas envolvendo florestas plantadas e recurso hídrico

Segundo Cossalter e Pye-Smith (2003) quando a plantação é estabelecida haverá inevitavelmente uma mudança no ciclo hidrológico. A natureza da mudança dependerá de qual tipo de ecossistema as plantações substituem. Quando a floresta natural é convertida em uma plantação, as maiores mudanças ocorrerão durante os primeiros poucos anos seguintes da derrubada e plantio. Em contraste, quando as plantações são desenvolvidas em pastagens, a mudança inicial na hidrologia será ligeira, mas tornará progressivamente mais pronunciada na medida em que a plantação aproxima-se da maturidade.

Neste aspecto, muitos foram os trabalhos desenvolvidos pelo mundo, que tentaram reduzir incertezas e elucidar o funcionamento hidrológico de bacias experimentais com eucalipto. Nesse sentido, organizou-se uma pequena síntese de alguns autores com seus respectivos resultados (Quadro 4.2)

Autor (es)	Local (is)	Descrição do estudo
Hibbert (1967)	-	O implantação de florestas reduz o deflúvio na microbacia, bem como, o corte raso faz aumentar a produção de água.
Bosch e Hewlett (1982),	-	A supressão total da floresta aumenta o deflúvio anual da bacia na média de 150 mm durante o primeiro ano após o corte da floresta (com variação de 34 a 450 mm)
Pilgrim et al (1982)	Austrália	A bacia com <i>Eucalyptus</i> foi responsável pela conversão de 14% da precipitação em deflúvio na Austrália.
Lima et al. (1990)	Brasil	Os autores compararam o cultivo de <i>E. grandis</i> , <i>Pinus caribea</i> com o cerrado brasileiro, chegando no deflúvio gerado de 29%, 40% e 50% da precipitação incidente, respectivamente. No entanto a biomassa na área com eucalipto era 10 vezes maior que a do cerrado.
Calder et al. (1992)	-	Durante o ciclo anual do <i>Eucalyptus</i> existe uma necessidade entre 800 e 1200 mm de água disponível.
Sharda et. al. (1988)	Índia	No período seco (Janeiro a Abril) a plantação do Bluegum (<i>Eucalyptus globulus</i>) pode reduzir em 23 % o deflúvio da microbacia.
Samraj et al. (1988)	Índia	Microbacias com cultivo de <i>Eucalyptus globulus</i> podem reduzir o deflúvio em média 16 % para uma rotação de 10 anos em relação ao ecossistema original.
Scott e Lesch (1997)	África do Sul	Os autores observaram que o florestamento com <i>Eucalyptus grandis</i> causou um decréscimo significativo da descarga fluvial no terceiro ano após o plantio (30% de P) e no nono ano o rio secou completamente.
Lacey e Grayson (1998)	Austrália	Mostraram que não ficou evidente a redução de escoamento base com crescimento da floresta.
Zhang et al. (2001)	-	Em sua revisão de 250 microbacias, concluíram que bacias florestadas tendem a ter uma redução média de 120 mm/ano.
Soares e Almeida (2001)	Brasil	Em modelo de uso da água em plantações de (<i>Eucalyptus grandis</i>) ficou evidenciado que nos anos em que chove em torno da média histórica da região do Estado do Espírito Santo, existe equilíbrio entre evapotranspiração e precipitação.
Almeida e Soares (2003)	Brasil	Em estudo com <i>E. grandis</i> os autores detectaram que ao se considerar o ciclo de 7 anos, o eucalipto evapotranspira menos água em relação à mata atlântica nativa na costa leste do Brasil
Lane et al. (2004)	China	Em duas bacias com <i>E. urophylla</i> , encontraram taxas de ETP entre 959 e 1150 mm e o deflúvio de 26% e 35% de P em ano seco e 52% e 49% em ano chuvoso, concluindo que o reflorestamento não constitui em problema aos recursos hídricos da região.
Sabará (2004)	Brasil	Microbacias cobertas por pastagens no médio Rio Doce em MG sofrem a falta de recursos hídricos de superfície nos períodos críticos sem chuva em função da baixa taxa de infiltração dos solos. Por outro lado, o mesmo autor ressalta que em função da maior taxa de infiltração em microbacias florestadas pela silvicultura, a vazão superficial sofre menos oscilações em função da falta de chuva.
Farley et. al. (2005)	Revisão	Concluíram pontualmente que a conversão de pastagens ou áreas de vegetação nativa arbustiva em reflorestamentos poderá resultar na diminuição do deflúvio médio anual com o aumento da idade das árvores. Em locais onde o deflúvio médio anual for menor que 10 % de P médio anual (PMA), o córrego poderá ter o fluxo de água superficial interrompido. Além disso, em locais onde o deflúvio médio anual for igual a 30 % da PMA, a redução esperada é de 50 %.

Quadro 4.2– Pesquisas envolvendo produção de água em bacias florestais.

Dos vários estudos disponíveis na literatura nacional e mundial, constata-se que o eucalipto traz, com o devido tempo, uma regularização do deflúvio nas microbacias, acompanhado logicamente de uma redução na produção de água na ocasião de plantios realizados em áreas que nunca abrigaram floresta de tipo algum. No entanto, o que pode tornar esse fato um problema, diz respeito ao quanto e quando, essa diminuição na produção de água, afetará os usuários do recurso hídrico na bacia.

Na região pertencente ao Bioma Pampa, ao se analisar os usos do solo sob o ponto de vista hidrológico, a degradação é freqüente e crescente. A criação de gado é economicamente importante na metade sul do RS e preserva a biodiversidade da flora campestre, no entanto reduz a capacidade de infiltração de água no solo pelo efeito da compactação e impacta negativamente a vegetação ciliar contaminando o curso de água direta e indiretamente. A cultura do arroz, da mesma forma, é social e economicamente adequada, no entanto é cultivada na várzea dos rios, nas quais a supressão da vegetação é necessária e dessa forma alterando a sua função de efeito “esponja”, em favor da maior área de plantio. Além disso, esse tipo de cultivo contribui significativamente para a eutrofização do curso de água em bacias rurais.

Estes fatos deveriam também chamar a atenção daqueles que somente agora despertaram para a importância em se preservar a hidrologia desse singular bioma. Todas as questões recentemente levantadas, a respeito da função hidrológica do eucalipto, são pertinentes na atual conjectura. No entanto, as pesquisas realizadas, trazem respostas desconstruídas, algumas tendenciosas e muito específicas aos locais nos quais foram aplicadas, não sendo aplicáveis ao Bioma Pampa.

Nesse sentido, a necessidade de se verificar as questões hidrológicas da silvicultura do eucalipto no Pampa, é urgente. Além disso, em função das grandes disparidades geomorfológicas que constituem o Pampa gaúcho, fica evidenciada a necessidade de instalação de uma rede de microbacias experimentais nas áreas com silvicultura.

4.5 Métodos de Avaliação Hidrológica

4.5.1 Parâmetros do Balanço hídrico

4.5.1.1 Avaliação da Precipitação

A precipitação é entendida como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. As precipitações representam o elo entre os fenômenos meteorológicos, propriamente ditos e os escoamentos superficial e subterrâneo (BARRETO, 2006).

Existem várias possibilidades de medir a precipitação. A maneira mais usual é com pluviômetros e pluviógrafos. O pluviômetro é um instrumento dotado de um copo coletor com uma abertura pré-determinada (normalmente 200 mm) conectado a um reservatório do qual se transfere a água captada para um recipiente medidor. Já o pluviógrafo, é semelhante ao pluviômetro, porém, com a capacidade de registrar sistematicamente os dados coletados, sendo de forma analógica ou digital. Este último, segundo Santos et. al. (2001), é utilizado quando se pretende quantificar a intensidade da chuva ou eventos isolados, por exemplo.

No entanto, para avaliação da precipitação com vistas ao balanço hídrico em microbacias florestadas, usualmente, utiliza-se pluviômetros instalados em torres sobre as copas das árvores em posição central na microbacia para um registro mais preciso da precipitação incidente. Esta metodologia tem o inconveniente de possuir um alto custo de instalação e necessidade de pessoal capacitado próximo ao local para fazer a coleta dos dados.

4.5.1.2 Interceptação

A interceptação da chuva pela cobertura vegetal é uma componente de grande importância do ciclo hidrológico; a interceptação varia de acordo com o aspecto morfológico da floresta (idade, copa, arquitetura) ou outra vegetação e o regime de precipitação dominante na região.

A precipitação que atravessa o dossel e chega até o “*litter*” do solo, depende da natureza e densidade da cobertura vegetal, haja vista, que essa cobertura, retém temporariamente certa quantidade de precipitação incidente, constituindo-se assim, no processo de interceptação (FERREIRA et. al, 2005).

Miranda et al. (2004) definiram precipitação total, como a quantidade de chuva que atinge o topo de um específico dossel durante um determinado intervalo de tempo. Observa-se que o processo de retenção de água livre se inicia pela interceptação do volume total precipitado nas camadas superiores do dossel e, posteriormente, nas camadas inferiores, até que se atinja a capacidade de armazenamento de água dessa copa. A partir deste estágio, se a quantidade de água precipitada que atinge as plantas for superior às capacidades de armazenamento dessas camadas, observa-se o início do gotejamento através da copa (*throughfall*), além do escoamento superficial pelos ramos e tronco (*stemflow*).

A resultante das quantidades de água percolada pelos ramos e o escoamento pelo tronco ou caule, denomina-se de precipitação efetiva. Esta, quando subtraída da chuva total, representa a quantidade retida pela cobertura vegetal presente, chamada interceptação e retornando à atmosfera, via evaporação segundo Miranda et al. (2004). O ciclo hidrológico, enfatizando a interceptação, foi bem representado por Oliveira et al. (2008) como mostra a Figura 4.5

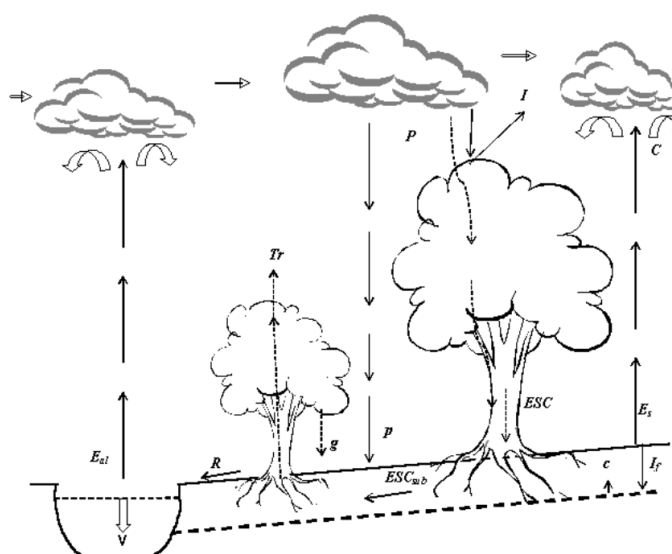


Figura 4.5 - Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação.

Onde “P” é a precipitação, “p” a precipitação livre, “I” a interceptação, “C” a condensação, “T_r” a transpiração, “E_s” evaporação do solo, “E_{al}” evaporação da água livre, “g” o gotejamento, “ESC” escoamento pelos troncos, “R” o escoamento superficial, “ESC_{sub}” escoamento subterrâneo, “I_f” infiltração, “c” capilaridade, “V” vazão.

Fonte: OLIVEIRA et al. (2008).

A estimativa da interceptação, principalmente em florestas plantadas, embasa outros estudos relacionados ao uso da água em florestas. Além disso, traz subsídios ao bom entendimento do papel hidrológico desempenhado pelo eucalipto nas microbacias nas quais são cultivados (BAUMHARDT et. al, 2009). Segundo o mesmo autor, a análise da intensidade de amostragem dos instrumentos de coleta é primordial em bases experimentais para medição de precipitação interna, em função do número de variáveis relacionadas.

Gênova et al. (2007), afirmam que a interceptação não possui relação diretamente proporcional a biomassa vegetal quando se compara duas espécies diferentes. Os autores compararam a interceptação entre várias espécies e constataram que para uma plantação homogênea de *Pinus elliottii*, com cobertura de copa de 78%, e para uma plantação homogênea de *Tapirira guianensis* com 72% de cobertura de copa, valores de 26,7 e 30,1 mm respectivamente.

Além da interceptação das copas de plantas do estrato superior, Collischonn e Tassi (2008) afirmam que para prados (pastagem) a interceptação varia de 5 a 10 %, o que deve variar muito em função da característica da vegetação local, muito mais sensível ao tipo de clima de plantas arbóreas.

Um fator importante citado por Lima (2008) refere-se a eventos com pouca chuva precipitada, com cerca de 5 mm por exemplo, nesse caso, quase toda a água será retida pelas copas e de lá evaporada diretamente. Além disso, Chaffe (2009) traz em seu estudo que um valor de armazenamento de água da chuva na copa e tronco, próximo a 4 mm. Seria a quantidade de chuva “gasta” para cobrir toda a superfície das folhas e só depois então, haver o deslizamento da gota, que irá contribuir para a precipitação interna.

4.5.1.3 Infiltração

Martins e Paiva (2001) afirmam que a capacidade de infiltração é a taxa máxima com que um determinado solo pode absorver água em uma dada condição. É um parâmetro da mais alta importância no processo de transformação de chuva em vazão. 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.

A cobertura florestal, especialmente aquela com desenvolvimento de sub-bosque, em regiões com maior energia erosiva, tende a diminuir o transporte de sedimentos ou perda de solo, pela quebra da energia cinética das gotas de chuva, favorecendo a manutenção de taxas elevadas de infiltração (LIMA, 1986).

Uma diferenciação na taxa de infiltração da água do solo em povoamentos florestais, maior do que aquelas encontradas em solos com uso pecuário (SABARÁ, 2004), pode, em parte, ser explicada por Lima (2008) quando cita que nesta interação com a copa da floresta, não é apenas em termos quantitativos que a precipitação incidente é modificada, mas também em termos da taxa com a qual ela é redistribuída ao solo.

Trimble e Weitzman (1954), colocando pluviógrafos, ao invés de pluviômetros, debaixo da copa, realmente verificaram que no piso florestal a precipitação interna chega com intensidade diminuída em até 20 %, relativamente à intensidade da precipitação incidente.

Nas bacias agrícolas, por outro lado, com solos formados basicamente por pastagens em diferentes graus de degradação, o escoamento base fica prejudicado pela menor taxa de infiltração, o que favorece o escoamento direto e a ocorrência de picos pronunciados de vazão (SABARÁ, 2004).

Com a utilização de isótopos de oxigênio, sílica e nitrogênio para estudar a hidrologia de uma bacia agrícola (19,8 ha) na Pensilvânia, Dewalle e Pionke (1994), concluíram que durante a precipitação de maior intensidade ocorrida no período de estudo, 53% da água que chegou ao curso d'água derivou do escoamento direto (superficial e subsuperficial). Em 8 anos de estudos, Lal (1996) encontrou para solos da Nigéria, uma redução na taxa de infiltração de 115,8 mm/h

para 5,3 mm/h, após a conversão de uma área de florestas nativas para pastagens e agricultura nômade, respectivamente.

Além disso, Lull (1964), verificou taxas de infiltração de 24,1 e 42,7 mm/ha, para pastagens degradadas ou abandonadas, respectivamente. Ecossistemas florestais com piso intacto, em contraste, apresentaram taxas de infiltração de 59,9 e 76,2 mm/ha.

4.5.1.4 Fluxo superficial

Em seu trabalho de revisão, Hibbert (1967) apesar de cuidadoso em sua análise, afirma que o desmatamento diminuiria a produção de água, bem como o reflorestamento a diminuiria. Logo, a condição resultante do deflúvio em microbacias florestais e mesmo de campo, ainda são pouco conhecidas.

Logo, também no contexto deste trabalho, o conhecimento das condições dos fluxos se torna uma ferramenta primordial no gerenciamento dos recursos hídricos e este, reconhecidamente necessário frente ao cenário atual de degradação das águas e à necessidade crescente de novas fontes de abastecimento.

A determinação da vazão de um curso de água é um processo que envolve equipamentos e técnicos especializados. Particularmente em pequenas bacias, existe a necessidade de que o intervalo de coleta de informações seja menor que o período horário para assim, se conseguir quantificar parâmetros bem específicos e de curto intervalo de tempo, como picos de vazão, tempo de concentração, conectividade rio x aquífero, entre outros.

A série de dados cota-vazão, quando relacionadas, fornece uma ferramenta primordial aos estudos em hidrologia, chamada curva-chave. Segundo Azevedo (1994), calibrar a curva-chave significa encontrar a função ou traçado que melhor se ajuste aos pares de pontos cota-vazão, obtidos nas medições de vazão. Em microbacias, em função da escala, a tendência é que uma pequena alteração no traçado do curso de água tenha grande influência, havendo portanto, a necessidade de calibração frequente da curva-chave ou utilização de estruturas hidráulicas, com curva-chave pré-definida, para medição vazão.

4.5.2 Balanço hídrico de águas superficiais

Segundo Goldenfum (2001) o planejamento das observações a serem efetuadas em uma bacia depende dos objetivos da pesquisa e das condições naturais da região. Os programas de monitoramento de bacias similares, segundo o mesmo autor, localizadas em regiões hidrológicas semelhantes, podem diferir enormemente, não apenas em função dos objetivos dos estudos, mas também da disponibilidade de recursos físicos, financeiros e de pessoal especializado. Além disso, já no início dos estudos, deverão ser determinados o grupo de variáveis a serem monitoradas para se verificar a sua influência dentro da microbacia.

Segundo Silveira (2001), a bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório. É na bacia hidrográfica onde se processam os principais fenômenos físicos, influenciados pelas suas características, e pela dinâmica da água no seu interior.

De acordo com autor supracitado, a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico na qual a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado, considerando-se como perdas intermediárias os evaporados, transpirados, captados e infiltrados profundamente.

Silva e Loureiro (2006) entre todos os elementos variáveis do ciclo hidrológico, de interesse para os estudos hidrológicos e hidrogeológicos, sejam eles, precipitação, interceptação, deflúvio, infiltração, evapotranspiração real, recarga e escoamento de base, é precisamente a taxa diária de evapotranspiração real que apresenta as maiores dificuldades conceituais e técnicas para ser determinada experimentalmente, de maneira direta.

A evapotranspiração é como um conjunto de perdas evaporativas de área vegetada (LIMA, 1996). Essa variável, seria portanto, controlada em grande parte por condições meteorológicas, em função dos elementos como energia solar, velocidade do vento, temperatura do ar, umidade e outras variáveis climáticas.

A estimativa da evapotranspiração pode ser obtida por meio de métodos indiretos, por meio de equações empíricas que incorporam variáveis meteorológicas. Dessas equações citam-se a de *Thornthwaite*, *Penman* e *Thornthwaite-Holzman* (MOSCA, 2003)

Um método direto de estimativa da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica, baseado no princípio da conservação da massa, foi apresentado por Lima (2008) e pode ser representado conforme Equação 4.1

$$P = (T + I_c + I_p + E_0) + Q \pm \Delta_S \pm L + U \quad (4.1)$$

Onde, P é a precipitação incidente; T é a transpiração da cobertura vegetal; I_c é interceptação da precipitação pela copa das plantas; I_p é a interceptação do piso e/ou serrapilheira; E_0 é a evaporação do solo e de superfícies líquidas; Q é o deflúvio da bacia; Δ_S é a variação do armazenamento de água no solo; L é o vazamento freático e U é o vazamento, aquela água que passa por fora do leito.

A estimativa da evapotranspiração é um dado bastante significativo em microbacias florestais, pois junto com o deflúvio, são os parâmetros mais alterados em função da mudança de uso do solo. A grande crítica em relação ao eucalipto, diz respeito efetivamente a redução do deflúvio em relação a ecossistemas de vegetação herbácea e a diminuição da precipitação efetiva em áreas convertidas de pastagens para floresta plantada.

Além disso, segundo Tucci (2009) em intervalos de tempo longos, como um ano ou mais, a variação de armazenamento de água no solo (ΔS) pode ser desprezada na maior parte das bacias e a equação pode ser reescrita. No entanto, quando as avaliações ocorrem na escala da pequena bacia, as diferença no armazenamento se mostra significativa e pode dar um indicativo sobre o comportamento da recarga subterrânea no tempo do ciclo de uma determinada cultura.

Supondo uma bacia hidrográfica ideal, na qual todos os fluxos de entrada e saída estão sob controle experimental e que não haja vazamentos de nenhuma natureza (L e U) nem percolação profunda, o modelo pode ser representado como mostra a Equação 4.2.

$$\text{Precipitação} - \text{Evapotranspiração} - \text{Deflúvio} = 0 \quad (4.2)$$

Segundo Mosca (2003), os resultados de bacias experimentais que avaliam a evapotranspiração, medida por meio da diferença entre a precipitação anual e o deflúvio anual de uma microbacia hidrográfica contendo cobertura florestal, permitem uma primeira avaliação do uso ou consumo de água pela floresta plantada ou exótica, em termos do efeito no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, como em Pilgrim et al. (1982).

4.5.3 Método de análise de disponibilidade hídrica

4.5.3.1 Hidrograma

A representação gráfica (Figura 4.6) das variações do deflúvio com o tempo recebe o nome de hidrograma ou hidrógrafa. O hidrograma, desta maneira, é a representação gráfica integrada das características fisiográficas, climáticas e vegetais que governam as relações entre a precipitação e o deflúvio em microbacias.

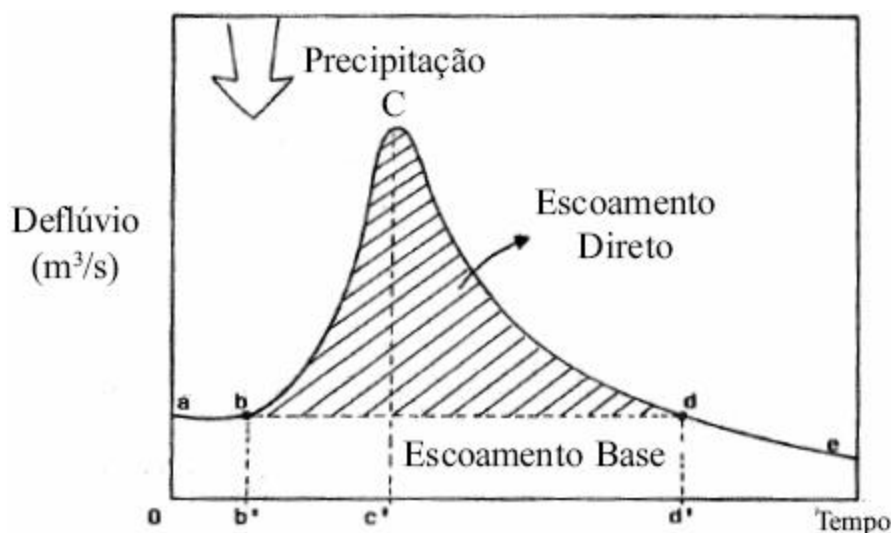


Figura 4.6 - Representação do hidrograma unitário.

Na qual o “*bC*” é o braço ascendente, “*Ce*” é o braço de recessão, “*b*” é o início do escoamento direto, o “*c*” é o pico (vazão instantânea máxima), “*d*” é o fim do escoamento direto, “*b’c’*” é o tempo de retardamento, “*b’d*” é a duração do escoamento direto e “*bd*” é a linha arbitrária de separação entre o escoamento direto e o escoamento base.

Fonte: Lima (2008).

Dessa forma, por meio de algumas características de uma hidrógrafa, também é possível obter algumas respostas a respeito das condições da bacia que resultaram em uma determinada recessão mais abrupta ou mais lenta do escoamento, por exemplo. Hibbert (1967) relata uma significativa diferença na divisão do hidrograma de cheia em pequenas bacias florestais, em que a maior parte do volume escoado seria resultado do escoamento subterrâneo.

O fluviograma ou hidrograma, é o registro temporal da produção hídrica de uma bacia, constituindo-se na série cronológica das vazões, podendo ser descrito como uma sucessão de cheias intercaladas por períodos de estiagem. Quando somente os aquíferos mantêm a vazão no curso de água, essa vazão decrescente no tempo é chamada curva de depleção ou deplecionamento. Por outro lado, quando há contribuição do escoamento de cheias, essa curva chama-se curva de recessão (SILVEIRA E SILVEIRA, 2001).

4.5.3.2 Curva indicadora da disponibilidade hídrica

A curva de permanência representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais (ou de qualquer outra duração) de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a percentagem do tempo em que uma dada vazão é igualada ou superada num período histórico definido (VOGUEL; FENNESSEY, 1994).

A avaliação de disponibilidades hídricas em pequenas bacias (áreas menores que 100 km²), segundo Silveira (1997) e Silveira e Tucci (1998) é condição necessária para avaliação de pequenos aproveitamentos de recursos hídricos, preservação ambiental e instrução de processos para outorga de uso dos recursos hídricos.

Segundo Silveira e Tucci (1998) os segmentos do fluviograma de maior interesse à avaliação de disponibilidade hídrica natural estão no trecho de curva de permanência compreendido entre 50 % e 95 % do tempo, não havendo portanto, a necessidade de se monitorar as altas vazões com baixa permanência no tempo, gerando assim, os hidrogramas sem cabeça, conforme Figura 4.7.

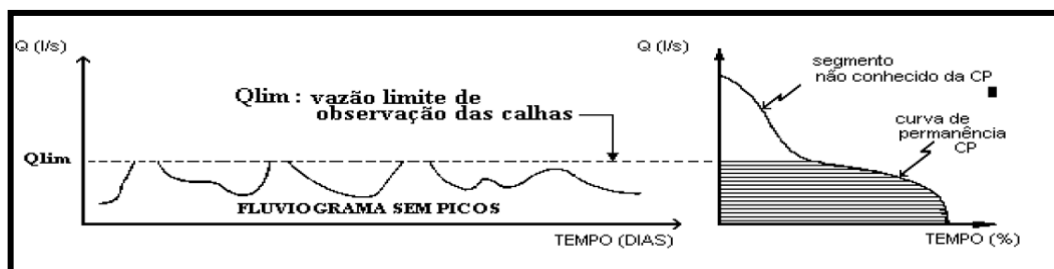


Figura 4.7 - Característica dos fluviogramas e curva de permanência em monitoramento de pequenas bacias.

Fonte: Silveira (1997) e Silveira e Tucci (1998).

Para atingir os objetivos da Outorga, por exemplo, Sugai et. al. (1998) ressaltaram a necessidade de determinar o equilíbrio entre as demandas dos diversos usuários e de se garantir vazões mínimas para assegurar a preservação da qualidade ambiental, e para tanto, é primordial identificar a disponibilidade de água para cada risco pré-fixado, ou seja, a vazão mínima que se pode retirar de um corpo d'água com certo nível de garantia, sendo a Curva de Permanência uma metodologia bastante difundida para esta identificação.

Pinto et. al. (1976) resalta ainda que, esta técnica permite identificar a potencialidade natural do rio em estudo, destacando não só a vazão mínima, mas o grau de permanência de qualquer valor de vazão. Desta forma, fornece resultados diretos para o aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, sendo muito utilizada em estudos energéticos e em estimativas dos efeitos de um pequeno reservatório sobre a vazão mínima garantida, dentre outras aplicabilidades.

As curvas de permanência se constituem também em um funcional instrumento de comparação entre as características (relevo, vegetação, uso do solo, precipitações) de bacias hidrográficas distintas, principalmente no que se refere à distribuição de vazões.

Cruz e Tucci (1998) e Cruz (2001), salientam que um dos atributos importantes da curva de permanência, que deve ser observado pelo hidrólogo, é que duas curvas diferentes, uma mensal e uma anual, por exemplo, para a mesma seção de um rio, jamais poderão ser comparadas, por se tratar única e exclusivamente de um resultado obtido com o ordenamento de uma série histórica de dados específica, não podendo ser comparada com uma série histórica de período de tempo diferente.

Segundo Cruz e Tucci (2008), usualmente faz-se a curva de permanência contemplando-se todo o período de dados da série histórica, omitindo dessa forma, os efeitos sazonais do regime hidrológico a cada ano ou ainda as diferenças inter-anuais. Os mesmos autores afirmam ainda que, para se considerar a sazonalidade em uma curva de permanência, haveria a necessidade de se determiná-la para cada mês do ano, para todos os anos da série. Dessa forma, a vazão de permanência 90%, para Janeiro e Julho, por exemplo, não necessariamente seriam iguais. Essa resposta permitiria distinguir condicionantes mensais de sazonalidade.

No Brasil, a ideia de considerar esse aspecto da sazonalidade do regime hidrológico com a estimativa da curva de permanência para cada mês do ano foi sugerida por Kelman (1997) e Silveira et al. (1998). Da mesma forma, Ribeiro (2000) apud Cruz (2001), em estudos relativos a critérios de outorga, considerou vazões de permanência empíricas mensais em seus ensaios de outorga, e usando de simulações, comprovou que a estratégia sazonal obteve melhores resultados quando comparadas a utilização de um único valor anual.

Em CRH (1999), é demonstrada a necessidade de se obter a disponibilidade sazonal de água, principalmente devido ao fato de a maior demanda por água para irrigação de lavouras variarem de mês a mês entre os meses de Dezembro a Março, uma vez que no RS, os meses com maior demanda hídrica coincidem com a redução natural de oferta hídrica.

4.5.3.3 Vazões mínimas

A faixa das vazões mínimas, segundo a conceituação de Smakhtin (2001), representa o limite inferior da distribuição de probabilidades das vazões para o período histórico selecionado, devido ao fato de os valores auto-correlacionados estatisticamente serem tratados como valores independentes.

Segundo Cruz (2001), a conceituação de vazões para conservação ambiental tem evoluído no tempo. Até a década de 80, as “vazões mínimas” era o termo mais comum utilizado para descrever as vazões necessárias para satisfazer os usos no próprio curso d’água (*“instream uses”*), como preservação de peixes e habitats, navegação, recreação, conservação da qualidade da água, entre outros usos. Sob essa perspectiva, o ecossistema aquático era visto como inteiramente restrito ao

aspecto linear delimitado pelos leitos e margens do canal principal e pelas transferências longitudinais (HARRIS et al., 2000).

A partir da década de 80, emergiram as teses segundo as quais, para a manutenção dos ambientes era necessário considerar o regime de flutuação natural dos rios. Para isso, recomendações foram desenvolvidas no sentido de “imitar” a natureza, foi quando então, sugeriu-se vazões diferenciadas conforme cada estação do ano, não se utilizando apenas das vazões mínimas, mas também das altas periódicas, para remoção do sedimento depositado no leito (CRUZ, 2001)

Segundo Silveira e Silveira (2001), o conhecimento das vazões mínimas das bacias é básico em estudos de disponibilidade hídrica e preservação ambiental, pois estão naturalmente vinculadas a períodos críticos de oferta de água pelo curso d'água que condiciona a demanda.

Em períodos de estiagem, nos quais não há recarga por um determinado tempo, as reservas hídricas do subsolo que afloram das nascentes, começam a esgotar-se chegando a ponto de secar.

A vazão mínima pode ser representada por alguns métodos, mas também está representada na porção final da curva de permanência. Em estudos de recursos hídricos, normalmente utiliza-se a chamada Q_{95} , (com probabilidade de ocorrência de 95%), ou em outras palavras, é aquela vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo considerado na confecção da curva.

Além disso, Silveira e Silveira (2001) salientam que, apesar da natureza das vazões mínimas ser conhecida, seu estudo é dificultado pela complexidade dos processos hidrológicos da bacia hidrográfica, cujo conhecimento da interação entre rio e aquífero é sempre precário. Por esse motivo, o processo mais simples de se estudar vazões mínimas, é usando dados fluviométricos.

Nesse sentido, se espera que as microbacias deste estudo venham a se diferenciar em relação à disponibilidade hídrica justamente nos dias em que as vazões forem mais baixas. Algumas características de uso do solo das microbacias, caso estejam efetivamente influenciando no regime hidrológico local, serão facilmente detectadas por meio das curvas comparativas das vazões mínimas.

4.6 Água Subterrânea

4.6.1 Recarga Subterrânea

Os estudos que envolvem recarga subterrânea são fundamentais para a estimativa do volume de recursos hídricos subterrâneos anualmente renováveis e têm implicações diretas no planejamento e gestão integrada de recursos hídricos.

A recarga pode ocorrer naturalmente pela precipitação, por rios, canais e lagos, fluxos interaquíferos e via fenômenos induzidos por atividades humanas, como a irrigação e a urbanização (LERNER et al., 1990). A precipitação é a principal fonte de recarga para aquíferos (FETTER, 1994). Uma vez atingida a superfície, a precipitação proporciona a água necessária para umedecimento do solo e para escoamento superficial, assim como para percolação profunda ao nível freático.

A recarga de água subterrânea é conceituada como a entrada de água disponível na zona saturada, juntamente com o fluxo da água ao longo do lençol freático no interior da zona saturada (FREEZE; CHERRY, 1979).

A recarga é função da junção e atuação de uma série de parâmetros que compõem o ciclo hidrológico, como a precipitação, infiltração, evapotranspiração, descarga, caracteres morfológicos da bacia, etc. Neste estudo, ter-se-á o quão efetiva é a influência da cobertura do solo sobre as respostas de recarga ao lençol freático e a característica do fracionamento dessa recarga nas duas diferentes microbacias, em relação às saídas via escoamento e via evapotranspiração.

Além disso, Maziero (2005) afirma que a água efetivamente infiltrada não é, necessariamente, o resultado de um único evento de chuva, mas pode representar uma série de precedentes eventos de chuva. Dependendo das características do aquífero, parte da água infiltrada pode provocar uma elevação no nível freático, e conseqüentemente um aumento no gradiente de descarga.

Alguns autores (SOPHOCLEOUS, 1991; BREDENKAMP et al., 1995) dedicaram-se a estudar a relação direta da precipitação com a mudança de nível em piezômetros (recarga real), no entanto, Xu e Van Tonder (2001) relataram ser dificultosa a relação de chuva x recarga, uma vez que existe uma defasagem entre os dois, que variam conforme as características da zona insaturada. Maziero (2005) apresenta a Figura 4.8, que elucida de forma didática essa questão:

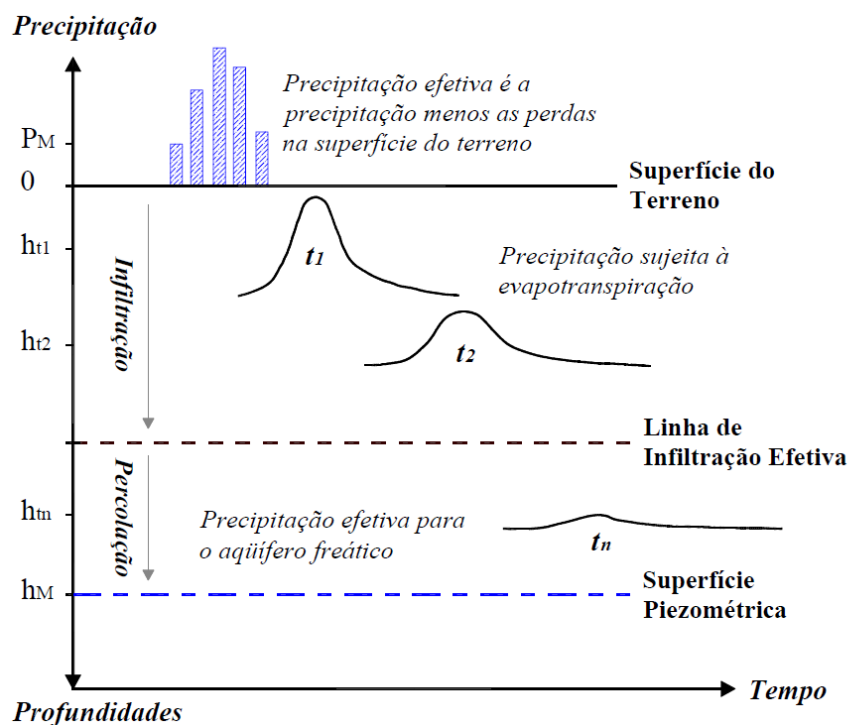


Figura 4.8 - Defasagem entre a precipitação x infiltração x recarga direta do aquífero
 Fonte: Maziero (2005), modificado de Xu e Beekman, 2003

Healy e Cook (2002) comentam que conhecer de forma precisa o parâmetro recarga, é de extrema importância para a gestão de águas subterrâneas. Os autores fazem ainda, uma revisão dos métodos de recarga e comentam sobre as suas aplicabilidades, destacando o Water Table Fluctuation (WTF) como sendo de fácil compreensão e retorna bons resultados.

Diversos autores (LERNER et al., 1990; BEEKMAN et al., 1996; SCANLON et al., 2002; HEALY;COOK, 2002) propuseram a aplicação simultânea de diversos métodos de estimativa de recarga, objetivando minimizar as incertezas e obter a consistência nos resultados, que, no entanto, não deve ser entendida como um indicativo de precisão.

4.6.1.1 Porosidade e Rendimento Específico

A relação entre os poros do solo ou rocha, em relação ao seu volume total é conceituado como sua porosidade, representado pela Equação 4.3.

$$\text{Porosidade } (n) = \frac{\text{volume de vazios } (V_v)}{\text{volume total } (V_t)}$$

(4.3)

A porosidade total (n) (Equação 4.4) nos fornece a quantidade máxima de água contida numa rocha ou solo saturado. Entretanto, para estudos em água subterrânea, é importante saber que nem toda a quantidade de água calculada pela porosidade está disponível para ser drenado para uma nascente ou córrego. A parte da água que drena sob força da gravidade é chamada de rendimento específico (S_y) e a parte da água que fica retida no entorno das partículas do solo por forças que superam a da gravidade, é chamada de retenção específica (S_r), (HEATH, 1983) logo:

$$n = S_y + S_r$$

(4.4)

O rendimento específico é um parâmetro usado na obtenção da recarga no método do balanço hídrico, principalmente, nos métodos que utilizam flutuações do nível d'água (WTF – Water Table Fluctuation; CRD – Cumulative Rainfall Departure). Por ser um valor com uma significativa variação, por vezes é substituído por parâmetros como porosidade efetiva e coeficiente de armazenamento. Em laboratório, este valor é calculado utilizando-se valores de porosidade e retenção específica, já nos ensaios de campo, são utilizados testes de rebaixamento de aquíferos conduzidos em um período de tempo.

4.6.1.2 Coeficiente de Armazenamento

O coeficiente de armazenamento, segundo Heath (1983), é definido como o volume de água que um aquífero libera ou toma em armazenamento por unidade de área superficial do aquífero, por unidade de variação em carga.

No caso de aquíferos livres, a força que regue a drenagem é praticamente gravitacional. O volume resultante da expansão da água e compressão do aquífero são desprezíveis, logo, podendo-se considerar este coeficiente igual ao rendimento específico do aquífero freático ou livre.

Para um aquífero não-confinado, o armazenamento é encontrado pela Equação 4.5 (FETTER, 1994):

$$S = S_y + (h \cdot S_s) \quad (4.5)$$

onde, S é o coeficiente de armazenamento, o S_y é o rendimento específico, o h é a espessura da zona saturada e S_s é o coeficiente de armazenamento específico da formação.

Neste caso, para um aquífero freático, o valor do rendimento específico é bem maior que o produto da espessura vezes o coeficiente de armazenamento específico, podendo-se inferir que o coeficiente de armazenamento é igual ao rendimento específico (FETTER, 1994; FREEZE; CHERRY, 1979).

4.6.1.3 Condutividade Hidráulica

A água no solo flui devido à presença de gradientes potenciais, escoando (Q) da zona com maior potencial para uma de menor potencial. O movimento de água no solo, sob influência do gradiente hidráulico, deve ser analisado sob duas distintas situações: condição de saturação e de não-saturação.

O fator mais importante que diferencia as duas situações é que a condutividade hidráulica é máxima na zona saturada. Na zona não-saturada, o fluxo ocorre em qualquer condição de umidade abaixo da saturação, envolvendo funções entre diversas variáveis (umidade, potencial hidráulico e condutividade hidráulica) (FETTER, 1994).

Na zona não-saturada, a condutividade pode ser estimada por meio de testes a campo como infiltrômetros. Para a porção saturada do solo, é possível a realização de testes de aquífero a campo, como também estimar em laboratório. Mesmo sendo difícil reprodução das condições de campo, é possível estimar com grande precisão, a condutividade hidráulica de amostras indeformadas saturadas, por meio de permeâmetro de carga constante e não-constante.

4.6.2 Métodos de avaliação de recarga em hidrologia de água subterrânea

Maziero (2005) traz uma vasta revisão sobre métodos de avaliação de recarga, utilizados por pesquisadores do mundo inteiro, que representam a diversidade de condições e complexidades que envolvem a recarga de água subterrânea. Para tanto, optou-se aqui, por apresentar aqueles que possuem maior potencial de utilização neste estudo, baseado no tipo de aquífero e dados observados e calculados disponíveis.

4.6.2.1 Balanço Hídrico subterrâneo

A equação do balanço hídrico é definida pela condição da “Lei da Conservação de Massa” aplicado ao ciclo hidrológico. A formulação do balanço hídrico permite avaliar quantitativamente fontes individuais de água no sistema, ao longo de diferentes períodos de tempo, e estabelecer o grau de variação no regime d’água devido às mudanças nos componentes do sistema (MAZIERO, 2005). Pinto et al.(2011), mesmo autor sugere a aplicação da Equação (4.6) para o balanço hídrico de água subterrânea:

$$R = \Delta S^{subt} + ET^{subt} + Q^{Eb} + Q_{out}^{subt} - Q_{in}^{subt} \quad (4.6)$$

onde, R é a recarga, ΔS^{subt} é a alteração do armazenamento subterrâneo, ET^{subt} é a evapotranspiração das águas subterrâneas, Q^{Eb} é o escoamento base e $Q_{out}^{subt} - Q_{in}^{subt}$ é o escoamento líquido da área de estudo.

4.6.2.2 Aproximação de Darcy

De acordo com a Lei de Darcy, a velocidade de percolação da água no solo é proporcional ao gradiente hidráulico através de um fator de proporcionalidade, denominado de condutividade hidráulica saturada (Equação 4.7).

$$q = -K \cdot i \quad (4.7)$$

onde, q é a velocidade de Darcy em $\text{m}^3 \cdot (\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$, K é a constante de proporcionalidade ou condutividade hidráulica saturada em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e i é o gradiente hidráulico, adimensional.

A lei de Darcy pode ser usada para estimar a recarga através de dois piezômetros alinhados numa perpendicular ao corpo d'água. O método assume fluxo constante e nenhuma extração de água subterrânea. A recarga (R) (Equação (4.8)) de um aquífero não-confinado é igual à velocidade de Darcy (q) multiplicada pelo intervalo de tempo entre medidas consecutivas:

$$R = q \cdot \Delta t \quad (4.8)$$

Maziero (2005), afirma que a recarga estimada é o somatório dos valores positivos encontrados para cada intervalo de tempo considerado. A linha perpendicular deve ser alinhada com uma linha equipotencial. O método é de fácil aplicação, se existir informações da condutividade hidráulica e do gradiente hidráulico com razoável confiança. As estimativas de recarga baseadas na Lei de Darcy são altamente imprecisas devido ao fato da grande variabilidade da condutividade hidráulica (SCANLON et al., 2002).

4.6.2.3 Water Table Fluctuation

O Método de Flutuação da Superfície Piezométrica (WTF – *Water Table Fluctuation*) é a técnica mais amplamente usada para estimativa da recarga, sendo amplamente utilizada por diversos autores (GERHART, 1986, HALL; RISSER, 1993, HEALY; COOK, 2002, MOON et al., 2004, PINTO et al., 2011). O Método WTF, no entanto, somente é aplicável aos aquíferos freáticos e requer o conhecimento de parâmetros como o rendimento específico e das variações nos níveis d'água no

tempo. As vantagens desta aproximação incluem sua simplicidade e uma sensibilidade aos mecanismos do movimento da água na zona não-saturada (HEALY; COOK, 2002).

O método leva em consideração que as elevações dos níveis dos aquíferos freáticos, são reflexo da recarga subterrânea que chega até a superfície piezométrica. Logo, Healy e Cook (2002), apresentam o procedimento para o cálculo descrito na Equação 4.9 :

$$R = S_y \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

(4.9)

Onde, R é a recarga, o S_y é o rendimento específico, o Δt é o tempo em que se deseja obter a variável recarga, e o Δh é a diferença de é a altura do nível freático desde a extrapolação da curva de recessão.

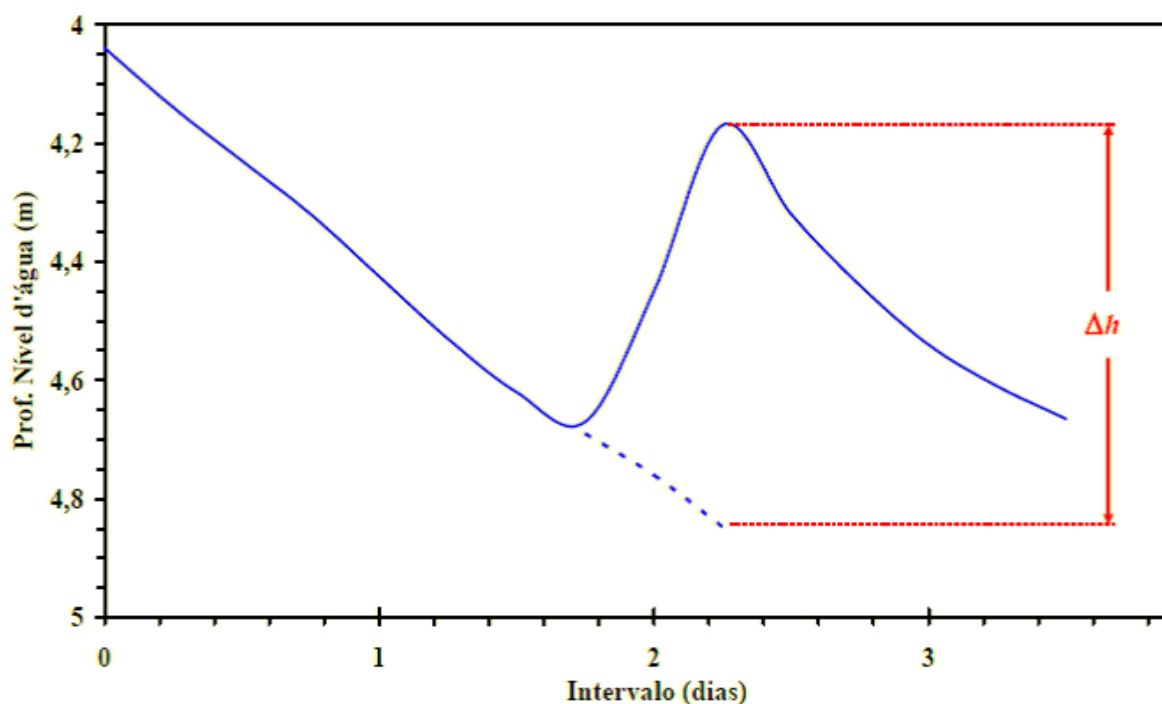


Figura 4.9 - Elevação hipotética do nível d'água em poço em resposta à precipitação.

Fonte: Pinto et al. (2011), modificado de Healy e Cook (2002).

Neste método, apresentado por Healy e Cook (2002), recomenda-se que os estudos futuros levem consideração uma melhor precisão do rendimento específico e também na extrapolação da curva de recessão. Nesse sentido, em atenção às recomendações dos autores, a curva de recessão para o presente estudo, será estruturada com dados de recessões partindo de distintos pontos da carga hidráulica do poço (nível estático), montando dessa forma uma única curva potencial que será utilizada para todo o intervalo de flutuação no período analisado.

4.6.2.4 Interação rio e aquífero

As interações entre água subterrânea e superficial são extremamente complexas e dependentes de um grande número de fatores, como da topografia, da forma do rio (largura, declividade e tortuosidade), das propriedades hidráulicas sub-superficiais, das variações temporais da precipitação, dos padrões de fluxo subterrâneo e do nível d'água no rio (CEY et al., 1998).

Sophocleous (2002) afirma que as interações hidrológicas entre água superficial e sub-superficial podem ocorrer por fluxo lateral através da zona não-saturada e por infiltração (fluxo descendente) ou exfiltração (fluxo lateral) de água da zona saturada, através do leito do rio. O mesmo autor afirma ainda que, as atividades e intervenções antrópicas nas bacias de drenagem, frequentemente alteram a relação entre água superficial e subterrânea, por reduzirem a conectividade de aquíferos e aumentarem o potencial de contaminação das águas.

Ao se analisar a contribuição de água subterrânea a ser feita de um aquífero para um rio, ou o vice-versa, a recarga que um reservatório subterrâneo pode receber de um curso d'água superficial, é imprescindível o conhecimento do tipo de conexão hidráulica que se apresenta entre rio e aquífero (MAZIERO, 2005).

Os tipos de conexão podem ser divididos, principalmente, considerando dois fatores: a) a situação das formações geológicas permeáveis em relação ao leito do rio; e b) a situação relativa aos níveis do rio e os níveis piezométricos na zona do aquífero contígua ao rio (CUSTODIO; LLAMAS, 1996). Se o nível piezométrico regional do aquífero intercepta o nível d'água do canal, o sistema rio e aquífero é hidráulicamente conectado. Por outro lado, se existe uma camada não-saturada

entre o canal e o nível piezométrico regional, então o sistema pode estar hidraulicamente desconectado.

A direção do processo de troca varia com a altura hidráulica, enquanto que o fluxo depende da condutividade hidráulica da formação. A precipitação altera a altura hidráulica e desse modo induz a mudanças na direção do fluxo (MAZIERO, 2005). Podem ser distinguidas duas direções de fluxo : a primeira chamada de condição efluente, no qual o reservatório subterrâneo contribui para o fluxo superficial (exfiltração), e a segunda é chamada de condição influente (infiltração), na qual a água superficial contribui para o fluxo sub-superficial. O caráter efluente ou influente do rio pode variar ao longo do ano na mesma área (SOPHOCLEOUS, 2002). Na Figura 4.10, apresentada por Arantes (2003), é possível notar essa diferença:

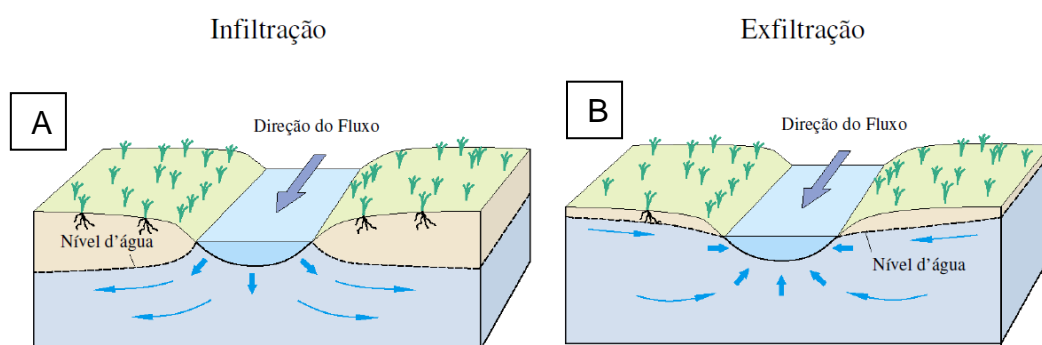


Figura 4.10 - Rio perdendo água para o aquífero livre (A) e aquífero contribuindo para o escoamento do curso de água (B).

Os métodos mais utilizados apresentados na bibliografia (WINTER et al., 1998, LERNER, 2003, ARANTES, 2003, BARRETO, 2006, RABELO;WENDLAND, 2011) para estimativa de fluxo subterrâneo para corpos de água são o método de balanço hídrico do canal, uso de infiltrômetros, uso de mini-piezômetros e lisímetros de fundo de rio, traçadores e os modelos hidrométricos de aplicação da Lei de Darcy e por fim, a análise de hidrogramas.

Nesse sentido, a grande dificuldade em se obter de fato a informação da conectividade do aquífero com o rio, reside no conceito de “área variável de contribuição” em pequenas bacias florestais, apresentado por Hewlett e Hibbert (1967), já que o escoamento na microbacia florestada é quase que exclusivamente subterrâneo, com níveis piezométricos mais altos nas faixas contíguas ao córrego,

sendo assim necessária uma rede maior de piezômetros paralelos ao curso de água, para se analisar a existência da conectividade rio x aquífero.

4.6.2.5 Infiltrômetros e Mini-piezômetros

Infiltrômetros e mini-piezômetros são dispositivos simples que permitem coletar dados hidráulicos diretamente no leito do rio. Os mini-piezômetros (ou poços didáticos) fornecem informações sobre o gradiente hidráulico, enquanto os infiltrômetros de leito, quantificam a taxa de fluxo entre água subterrânea e a água superficial (MAZIERO, 2005). Esse tipo de método é detalhado no trabalho de Arantes (2003), que alcançou resultados de até 300 mm.dia^{-1} , baseado nos princípios de Lee (1977) e de Lee e Cherry (1978) e apresenta bons resultados, no entanto, a técnica requer cuidados contínuos para se obter uma boa qualidade de informação.

4.6.2.6 Separação do fluxo de base

Foi mostrado no item relacionado ao hidrograma, que uma forma de analisar o hidrograma seria dividi-lo em duas partes, a primeira denominada escoamento superficial e a segunda chamada fluxo de base, que é a contribuição subterrânea. A separação desses volumes pode ser estimada por meio de análise gráfica da curva, filtros digitais, modelos matemáticos, etc que diferenciará os tipos de contribuição hídrica ao córrego, como exemplificado na Figura 4.11 em que se distingue os picos de vazão como escoamento superficial e abaixo da linha vermelha, como escoamento base.

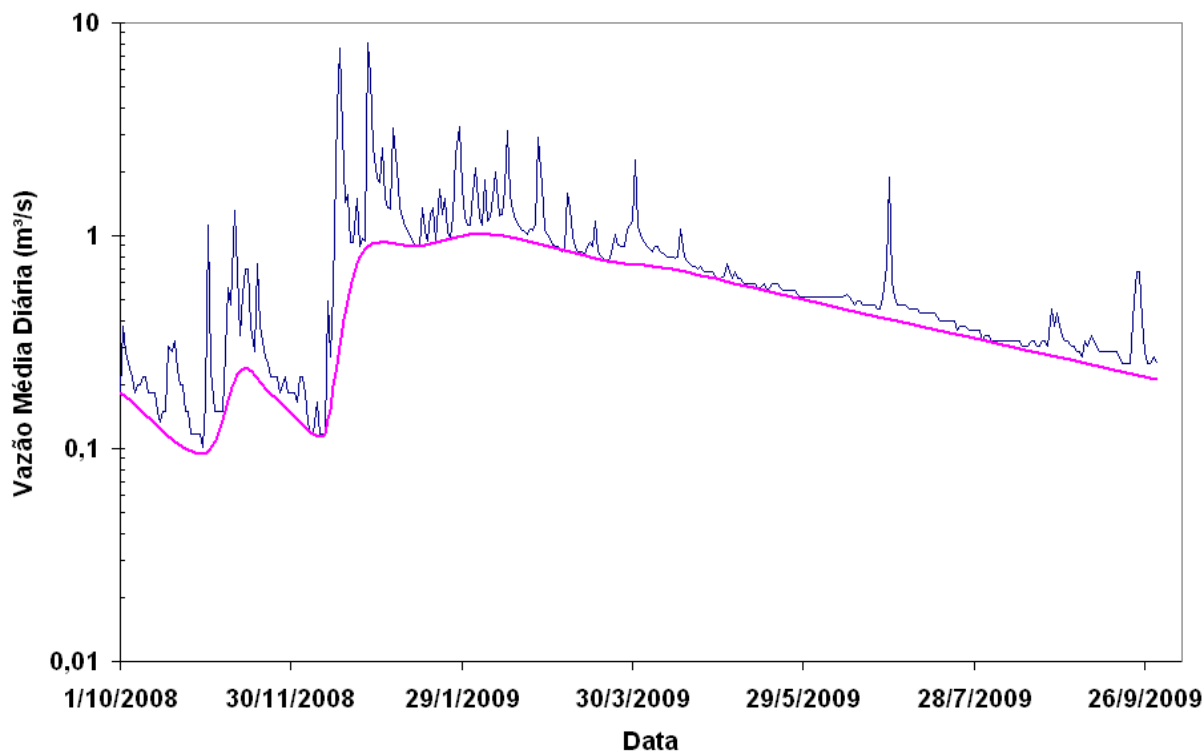


Figura 4.11 - Exemplificação da separação dos escoamentos

Fonte: Pinto et al., (2011).

O fluxo de base pode ser separado tanto de séries horárias, diárias ou mensais. Para tanto, pode-se proceder à separação por análise gráfica, deslocamento da curva de recessão, filtros digitais e modelos chuva-vazão.

Hughes et al. (2003) afirmaram que existe uma necessidade de estudos a fim de gerar refinamentos nas técnicas de separação simples da hidrógrafa, contribuindo assim para uma maior confiabilidade numa variedade de aplicações.

Assim para as duas microbacias de estudo, optou-se por conjugar técnicas simples de separação com observação visual além do uso das respostas dos piezômetros próximos ao córregos para o melhor entendimento dos processos de elevação e geração de vazão.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Características da área de estudo

O estudo se concentra em parte na “Estância Tarumã” (43,59 km²) que pertence à multinacional Stora Enso de papel e celulose e outra parte na fazenda São Carlos, ambas no município de Rosário do Sul e que fazem parte da Bacia Hidrográfica do rio Santa Maria.

As sub-bacias hidrográficas representativas estão localizadas na Depressão Periférica do Rio Grande do Sul, abrangem as unidades litológicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Esta última foi responsável pela formação dos depósitos aluviais ou sedimentos terciários (RADAMBRASIL, BRASIL, 1986) e (BRASIL/CRPM/2008).

O rio Santa Maria nasce à nordeste do município de Dom Pedrito e tem sua foz no rio Ibicuí que, por sua vez, deságua no rio Uruguai. A sua bacia hidrográfica (Figura 5.1) está localizada na fronteira Sudoeste do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com o Uruguai, abrangendo seis municípios, numa área de 15.754 km², a qual corresponde a cerca de 5,6% da área do RS segundo Silveira et al. (2005).

Segundo Streck (2008) o recorte geográfico de execução do estudo, delimita-se ao norte com o Rio Ibicuí, a oeste com o rio Uruguai, ao sul com o Rio Quaraí e a leste com a bacia do rio Ibicuí corresponde ao segmento sul-norte da Depressão Periférica é chamada de região da Campanha do RS.

Segundo UFSM (2006), a bacia do rio Santa Maria caracteriza-se especialmente pela atividade agropecuária, apresentando paisagens típicas da fronteira gaúcha, onde a pecuária extensiva tradicional se mescla com a orizicultura moderna, em campos entremeados com várzeas ocupadas por rotação de pastagem natural e lavoura de arroz.

Esta paisagem apresenta um eixo de mudanças leste-oeste, que reflete as transições do Escudo rio-grandense, Depressão Central e Planalto da Campanha, configurando os padrões que caracterizam as diferenças observadas entre as sub-bacias referentes aos braços Santa Maria e Ibicuí-da-Armada, que possuem suas cabeceiras nas margens opostas deste gradiente.

De acordo com Hausman (1995), pelo sistema Köppen, pode-se classificar a bacia do rio Santa Maria em dois tipos essenciais de clima, o C_{fah} e o C_{fak}. Ambos são temperados quentes ou mesotermiais, tipo fundamental, mesotermal sem estação seca e grupo subtropical com verões quentes. O C_{fah} representa a maior porção, 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 a 1600 mm/ano. Apresenta ainda uma temperatura média anual em torno dos 18°C, com mínima média próximo dos 12°C e máxima média em torno dos 23°C, podendo apresentar temperaturas negativas no período de outono-inverno com geadas.



Figura 5.1 - Bacia do rio Santa Maria com os municípios componentes.

Fonte: UFSM, 2006.

5.2 Sobre as microbacias

As duas microbacias foram selecionadas baseadas em características semelhantes de solo, regime de precipitação, relevo, porém com usos distintos. Para tanto, optou-se em realizar o estudo no município de Rosário do Sul, localizado na porção sudoeste do RS, entre os rios Santa Maria e Ibicuí da Armada, ambos pertencentes à bacia do Rio Santa Maria, conforme Figura 5.1.

Um dos critérios iniciais da escolha dos locais foi o de perenidade no deflúvio dos córregos selecionados, condição esta que dificultou a localização de microbacias pareadas adequadas. Essa condição foi imposta para se obter o máximo de informação comparativa das mínimas vazões sem a interrupção na vazão.

Os dois locais que mais se aproximaram das características desejáveis para o estudo distanciam-se 13 km em linha reta no sentido Norte/Sul. Partindo-se do Município de Rosário do Sul em direção ao Sul, a 7 km fica a microbacia de campo e logo após a florestada.

Mais especificamente sobre o detalhamento do solo das microbacias, Avila (2014) efetuou uma criteriosa análise em perfis de trincheiras na mesma área desta pesquisa resultando nos valores presentes na Tabela 5.1.

As duas microbacias (Figura 5.2), segundo Streck et al. (2008), situam-se sobre um Argissolo Bruno Acinzentado Alítico em transição para os Planossolos da Depressão Central característico da bacia do Rio Santa Maria.

A primeira parte do experimento foi instalada em uma microbacia de cabeceira, com pecuária extensiva coberta por pastagem nativa do bioma pampa, denominada de “microbacia de campo” (MC), também chamada de campo nativo no decorrer do texto. A área de contribuição da microbacia tem 0,21 km² (21 ha), conforme a Figura 5.3 e Figura 5.4 e pertence ao agropecuarista Sr. Ildo Spanevello.

Tabela 5.1– Caracterização do solo por classe estrutural das microbacias de estudo em Rosário do Sul.

Área	Profundidade (cm)	Horizontes	Classe textural
FL Superior	0-15	A	Areia franca
	15-41	Bt	Franco arenoso
	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

*FL e RL correspondem à área florestal e reserva legal, respectivamente e CN representa Campo Nativo do Pampa.

Fonte: Avila (2014)

A segunda parte da base experimental foi instalada também em uma microbacia de cabeceira com silvicultura de eucalipto para celulose, pertencente à multinacional Stora Enso e denominada “microbacia florestada” (MF), conforme a Figura 5.5 e Figura 5.6. O cultivo do *Eucalyptus* nesse local é regido pela legislação ambiental do RS, além de normas de certificação como a ISO 14.000.

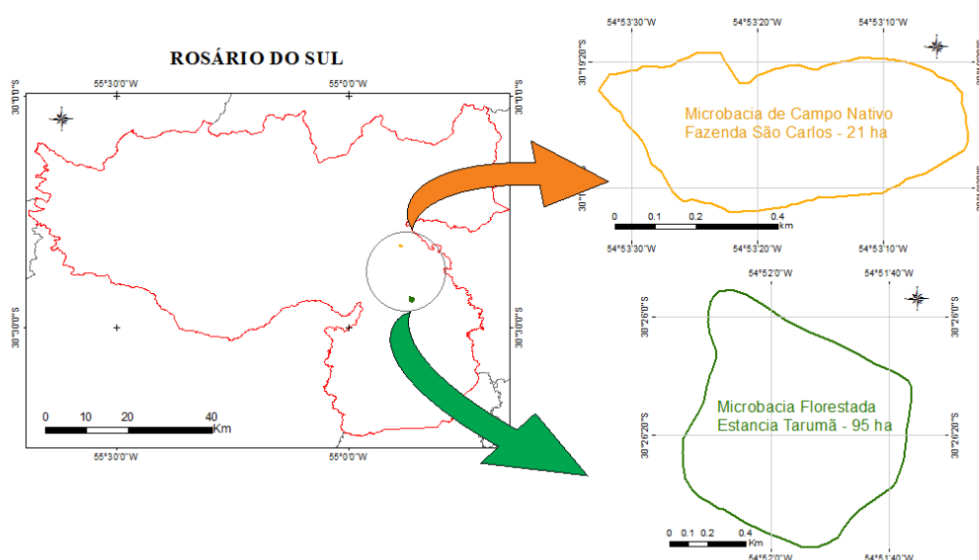


Figura 5.2 - Mapa de localização das microbacias com respectivas coordenadas

A área de contribuição desta microbacia é de 95 hectares, sendo 48,85 ha (51,4%) destes, cobertos por eucaliptos e 46,15 ha (48,6%) de Área de Preservação Permanente somados à Reserva Legal (campo nativo abandonado). Nesta área são cultivadas 3 espécies diferentes de eucalipto, sendo eles o *Eucalyptus urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, com destaque ao *E. urograndis* por constituir 91,4% da área florestada da microbacia.

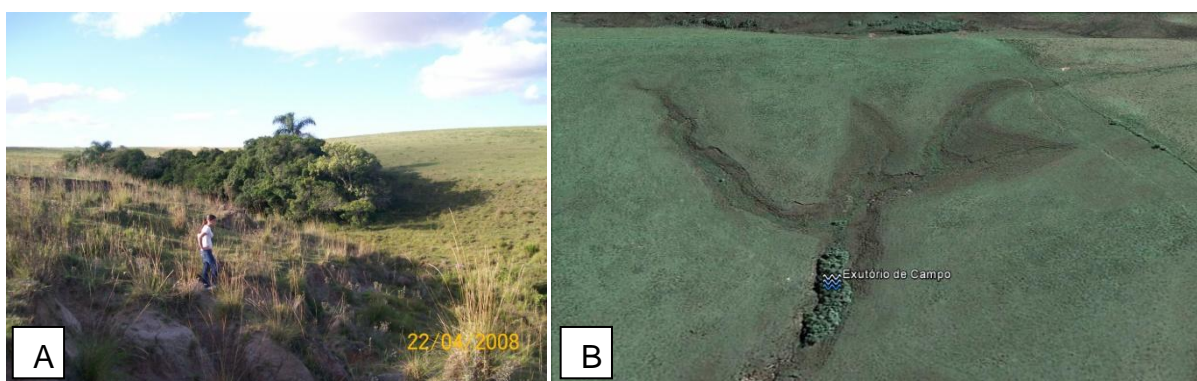


Figura 5.3 - Microbacia de Campo - MC em Rosário do Sul – RS. A - vista do exutório da MC. B – vista aérea (Google Earth).

Fonte: arquivo pessoal.

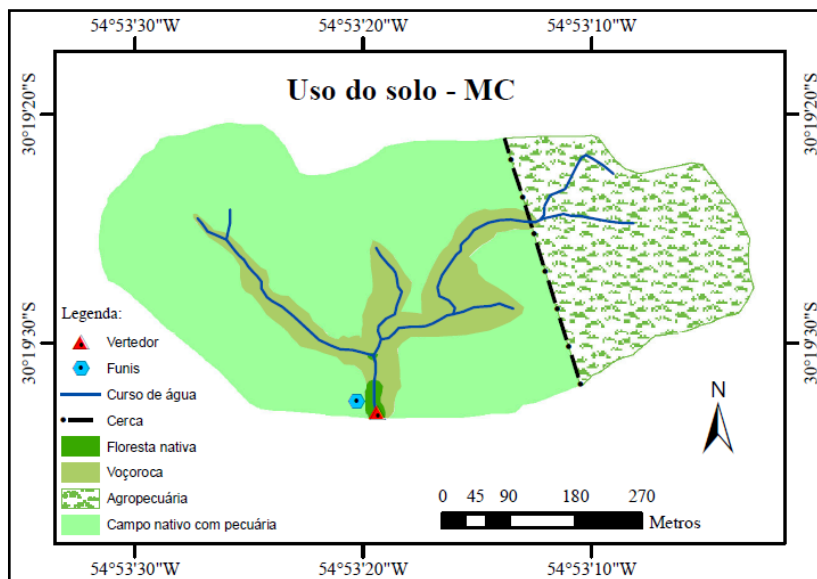


Figura 5.4 - Mapa de uso do solo da microbacia de campo – MC.

Fonte: Valente (2013).

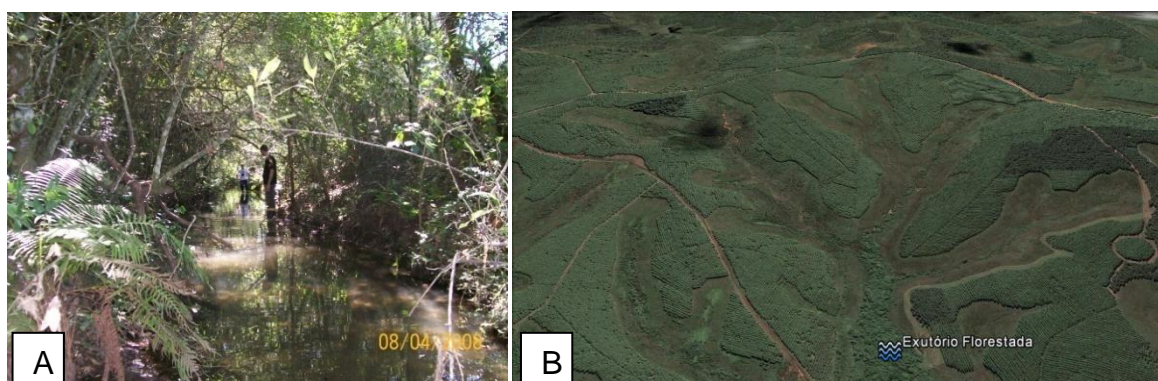


Figura 5.5 - Microbacia Florestada em Rosário do Sul – RS. A - vista do exutório da MF. B – vista aérea (Google Earth).

Fonte: arquivo pessoal.

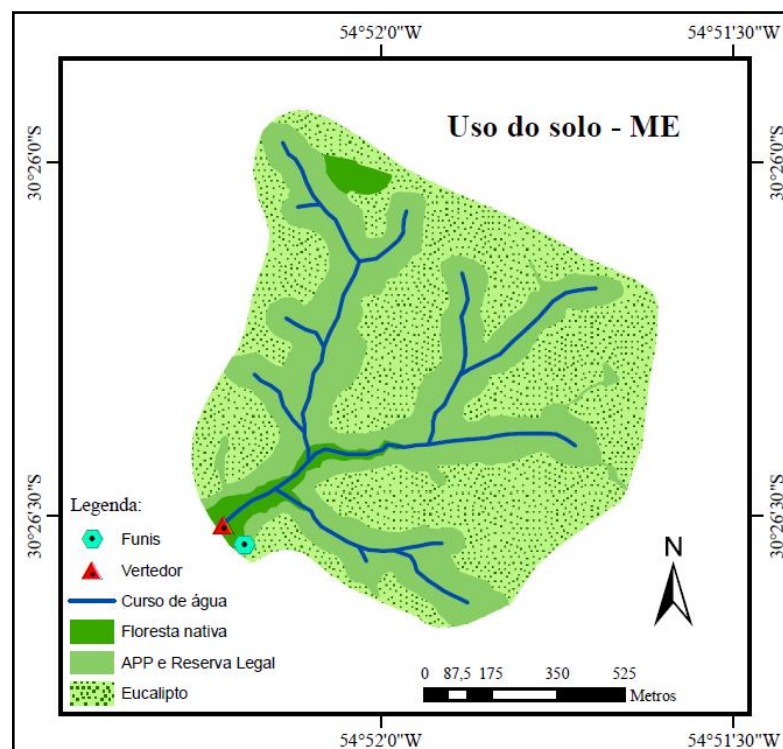


Figura 5.6 - Mapa de uso do Solo da Microbacia Florestada – MF

Fonte: Valente (2013)

5.3 Pluviometria

5.3.1 Estações pluviométricas

Os dados de precipitação foram obtidos das estações pluviométricas como mostrados na Tabela 5.2 .

Tabela 5.2- Localização e início do monitoramento nos pluviômetros utilizados.

Nome	Coordenada E (UTM)	Coordenada S (UTM)	Instituição/ Proprietário	Intervalo de dados	Início da Série (mês/ano)	Código
Estação Telemétrica	700610	6552481	ANA / CPRM	Horário	07/2005	76310000
Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	700375	6652020	ANA / CPRM	Diário	04/1943	3054007
Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	702012	6636159	UFSM / S. Carlos	Diário	02/2008	-
Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	703181	6641446	UFSM / S. Ambros.	Diário	02/2008	-
Pluviômetros de PVC	702012	6636159	Santa Ambrosina	Diário	12/1950	-
Pluviômetro <i>Ville de Paris</i>	713960	6622092	ANA	Diário	01/1976	3054216

Os dados para precipitação pluviométrica no aberto, foram obtidos por meio de dois pluviômetros do tipo “*Ville de Paris*” com área de captação de 400 cm² instalados pelo GERHI – UFSM. O ideal seria que fossem instalados instrumentos de medição dentro da própria microbacia no entanto, isso não foi possível.

Em função das duas microbacias estarem situadas em locais de difícil acesso, e ainda por haver a necessidade de medições diárias da precipitação, procedeu-se a instalação de pluviômetros naqueles locais que reunissem as melhores condições de coleta, que atendesse a metodologia de instalação, maior possibilidade de qualidade dos dados e proximidade com as microbacias (Figura 5.7).



Figura 5.7 – Croqui de localização dos pontos com dados de precipitação disponíveis.

5.3.2 Medições complementares da pluviometria

5.3.2.1 Intercepção

Para a realização das medições complementares de pluviometria, cujo objetivo foi permitir a avaliação da intercepção do dossel (e quantificar a precipitação interna), foi proposta, a montagem de um instrumento de controle que suportasse e se mantivesse preciso mediante as situações de alteração de temperatura, vento, umidade do ar, alta intensidade pluviométrica, etc. Além disso, procurou-se ter embasamento para sanar as dificuldades, otimizar facilidades, validade e confiança do instrumento e capacidade de reproduzi-lo diversas vezes mantendo-se uma uniformidade na sua construção ou mesmo um padrão de montagem, evitando-se o acúmulo de fontes de erro.

Os estudos de intercepção para a bacia florestada, foram iniciados ainda em 2008, quando a floresta tinha pouco mais de um ano (*E. dunni*), ou alguns meses como no caso do *E. urograndis*. Nesta época, houve a necessidade de adaptações diversas na metodologia, no entanto, as copas logo viriam a ocupar seu espaço vital de 6 m², por essa razão, para o cálculo do balanço hídrico, utilizou-se os valores registrados no trabalho de Consensa (2012).

O instrumento utilizado nesta pesquisa, apesar de ser chamado de interceptômetro, não avalia a intercepção da floresta e sim, quantifica a chuva que atravessa o dossel e chega até o solo, ou seja, a precipitação interna. Esse, foi construído pelo grupo de pesquisa GERHI da UFSM, conforme a metodologia de Baumhardt et al., (2009) e apresentado na Figura 5.7.

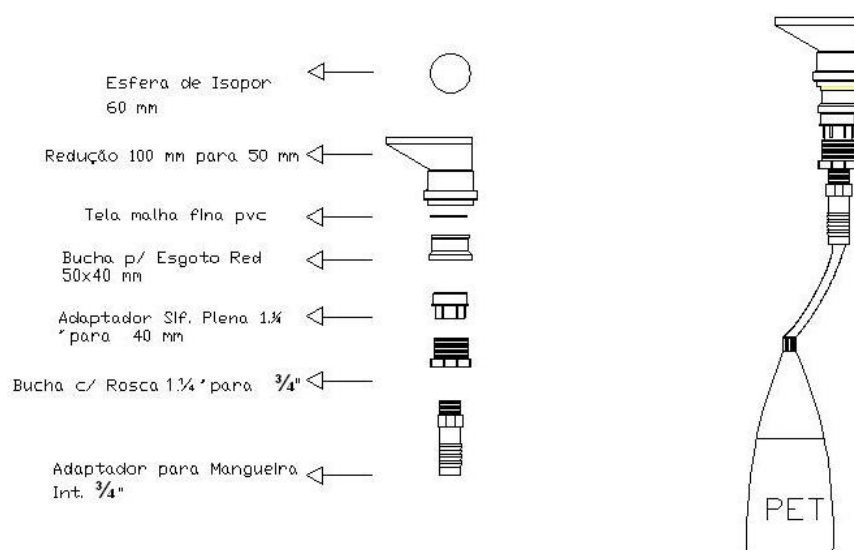


Figura 5.7 - Componentes dos interceptômetros.

Fonte: Baumhardt et al. (2009)

Para se quantificar a componente interceptação, no período de análise do balanço hídrico (10/2008 a 09/2009 e 10/2009 até 08/2012), após tratamento dos dados em planilha eletrônica, foi necessário realizar uma ponderação das médias de interceptação pela área representativa de espécie das plantas dentro da microbacia.

No entanto, por considerar os intervalos de idade das plantas muito próximos e no início do povoamento, o erro de coleta ser provavelmente maior que a disparidade em biomassa, logo, convencionou-se que os valores de interceptação do primeiro ano (10/2008 a 09/2009) seriam utilizados para toda a microbacia. Após esse período, seriam divididos por componente mensal e de espécie para o balanço de interceptação, com base nos valores de Consensa (2012).

A autora concluiu por meio do monitoramento realizado que *Eucalyptus dunnii* intercepta 10% da precipitação em média e o *Eucalyptus urograndis* interceptou em média 26,8% da precipitação incidente. Logo, esses foram os resultados principais em relação à interceptação das espécies presentes na MF, apresentados por Consensa (2012), que foram utilizados na construção dos resultados do presente estudo.

No Quadro 5.1, são mostradas as características dos plantios na área de estudo.

Caracterização das Espécies na Microbacia Florestada				
Talhão	Espécie	Data do Plantio	Espaçamento	Área (ha)
1	Urograndis	15/03/2007	3,5 m x 2,5 m	0.06
2	Grandis	15/04/2007	3,5 m x 2,0 m	0.01
3	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	12.30
4	Dunnii	15/11/2006	3,5 m x 2,0 m	4.19
5	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	32.27
6	Urograndis	15/10/2007	3,5 m x 2,5 m	0.02
Total				48.84

Quadro 5.1- Caracterização das espécies de eucalipto cultivados na microbacia florestada, data de plantio, espaçamento e área.

Fonte: Stora Enso Florestal RS, 2009.

Para se quantificar a componente interceptação da microbacia florestada, e posteriormente mensurar o impacto da silvicultura, foi necessário realizar uma ponderação das médias de interceptação pela área representativa de cada tipo de cobertura do solo dentro da microbacia. Pela magnitude de área plantada, considerou-se a área como se houvesse apenas duas espécies cultivadas na microbacia florestada.

Dessa forma, tem-se, conforme as Equações 5.1 e 5.2.

Até 09/2009:

$$I_1 = ((Int_F \times A_F) + (Int_C \times A_C)) - (Et \times A_F) \quad (5.1)$$

De 10/2009 até 09/2012:

$$I_2 = ((Int_{F-dunnii} \times A_{F-dunnii}) + (Int_{F-urograndis} \times A_{F-urograndis}) + (Int_C \times A_C)) - (Et \times A_F) \quad (5.2)$$

Onde, I é a interceptação mensal da microbacia, Int_F é o valor monitorado da interceptação para o período mensal, o $A_F\%$ é a percentagem de área representativa da microbacia com eucaliptos, Int_C é o valor de interceptação do campo, adotado como 5% e $A_C\%$ é a percentagem de área representativa de campo nativo na microbacia e por fim o $Et\%$ que representa o escoamento pelo tronco, normalmente somado a precipitação interna ou subtraído do valor da interceptação.

Para o cálculo do balanço hídrico da microbacia florestada, utilizar-se-á os valores de interceptação da floresta (48,85 ha) somados aos valores da interceptação do campo, para o restante da área da microbacia (46,15 ha).

Para a construção posterior do balanço hídrico, utilizou-se um valor de 5% para a interceptação do campo nativo da vegetação do Pampa. Esse valor está embasado no estudo de Fernández et al. (2009) no México, que encontrou 7,6% de interceptação em pastagens, por outro lado, Almeida (2012), encontrou interceptação em pastagem de capim braquiária variando de 1% até 14% conforme a época do ano. Ainda, Velásquez e Jaramillo (2009), também em braquiária, com 10 cm de altura, encontraram valores de 3,3% de interceptação em pastagens na Colômbia. Giglio e Kobiyama (2013) em uma revisão dos valores de interceptação da vegetação brasileira, comentam sobre a inexistência de informações a respeito da interceptação do Bioma Pampa.

Dessa forma, em função da inexistência da especificidade da informação, iniciaram-se alguns testes de metodologias com simulador de chuva em parcelas, junto à Universidade Federal de Santa Maria, com interceptação da vegetação campestre semelhante ao Pampa, para posteriormente se realizar os testes “*in locu*”. Esses dados preliminares, demonstraram que em uma situação semelhante a de inverno no Pampa, a percentagem ficou próxima à 3%. Ao se considerar a variação da biomassa ao longo do ano, nos meses de primavera e outono, essa vegetação quase dobraria seu volume, o que levaria ao entendimento de um incremento também na interceptação.

Nesse sentido, optou-se por utilizar um valor médio que contemplasse os estudos dos autores supracitados, da mesma forma que fosse mais próximo da média real ao longo do ano. Nesse sentido, o valor de 5% de interceptação do Pampa, aparentemente aproxima-se muito de uma situação média real ao longo do ano.

5.3.2.2 Escoamento pelo tronco

Lima (2008) apresenta valores aproximados de escoamento do tronco por floresta de eucalipto, que representam em média de 2,4% da precipitação no aberto. Logo, em função da representatividade dessa variável, foram instalados 10 coletores

de água pelo tronco por meio de mangueiras flexíveis, fixadas com pregos e espuma de poliuretano junto às plantas de *E. dunni* e *E. urograndis*, conforme Figura 5.8. Os resultados de escoamento pelo tronco na MF, foram discutidos por Consensa (2012), que relaciona de forma minuciosa as relações de chuva x precipitação interna na microbacia de estudo. Para fins do cálculo do balanço hídrico, se utilizará os valores médios de 2,2 % da precipitação incidente, alcançados para a bacia florestada.



Figura 5.8 - Ilustração da técnica de coleta de água pelo tronco

5.3.2.3 Testes de Infiltração

Esse método consiste basicamente de dois anéis de metal, sendo que o externo auxilia na redução das perdas laterais de água na infiltração do anel interno. As medições da lâmina infiltrada somente são realizadas no anel interno. Após iniciado o processo, a infiltração da água no solo é, normalmente, medida continuamente até um tempo mínimo de 120 minutos (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

Os valores de condutividade hidráulica saturada (K_{sat}), foram discutidos do estudo de Avila (2014) além das diferenças estruturais detectadas no solo das duas bacias. Os resultados da autora estão apresentados na Tabela 5.3:

Tabela 5.3 – Valores de percentagem de areia, silte e argila e condutividade hidráulica saturada para as microbacias de estudo.

Área	Profundidade (cm)	Textura (%)					Ksat (mm/h)	
		Argila	Areia $\geq 0,250$ mm	Areia $\geq 0,125$ mm	Areia $\leq 0,125$ mm	Silte		
FL Superior	0-15	8,85	16,05	46,48	19,42	9,21	81,94	3,17
	15-41	12,08	21,29	38,30	16,56	11,78	76,14	0,75
	41-60	21,11	18,69	35,45	13,43	11,31	67,58	0,80
	60-150	18,45	13,81	38,23	15,90	13,61	67,94	0,08
FL Inferior	0-15	7,82	8,43	43,78	27,18	12,79	79,39	4,48
	15-62	8,94	8,03	41,47	30,27	11,30	79,77	0,67
	62-104	3,80	10,66	43,44	27,88	14,21	81,98	1,39
	104 +	27,73	8,60	37,65	13,46	12,55	59,72	1,71
RL Superior	0-15	9,13	25,68	40,72	13,09	11,38	79,49	3,01
	15-57	13,22	20,99	43,09	11,60	11,10	75,68	0,87
	57-72	39,53	13,89	26,66	9,45	10,47	50,00	0,02
	72-118	26,49	11,47	21,10	3,30	37,64	35,86	0,01
RL Inferior	0-15	7,02	10,98	46,24	25,13	10,63	82,35	1,14
	15-45	6,52	10,99	47,17	25,54	9,78	83,69	0,81
	45-63	5,51	10,81	46,25	27,43	10,01	84,48	1,36
	63-105	36,28	6,45	27,79	16,77	12,70	51,02	0,02
	105-155	25,96	8,57	32,71	18,71	14,05	59,99	0,02
CN Superior	0-30	8,07	8,70	38,37	33,94	10,93	81,00	1,69
	30-85	14,68	8,65	34,59	29,76	12,32	73,00	0,18
	85-165	37,74	7,87	25,08	17,46	11,86	50,40	0,04
	165-212	21,77	5,57	14,84	37,32	20,51	57,72	0,05
CN Inferior	0-15	6,71	10,17	54,86	18,99	9,27	84,02	0,46
	15-55	8,22	9,42	44,19	27,56	10,62	81,16	0,70
	55-110	6,01	8,81	51,45	23,02	10,71	83,28	0,84
	110-140	31,79	6,00	30,98	21,04	10,19	58,02	0,80

*FL e RL correspondem à área florestal e reserva legal na MF, respectivamente, e CN representa Campo Nativo do Pampa – MC.

Fonte: Avila (2014).

5.4 Estação hidrométrica e seus componentes

5.4.1 A estrutura hidráulica de monitoramento

Para a definição dos locais da estação, percorreu-se em Janeiro de 2008, em período de estiagem, algumas microbacias no intuito de encontrar duas ideais e pareadas e que atendessem aos critérios: presença de água perene e presença de mata ciliar nas duas margens do curso de água, tanto por questão de segurança dos equipamentos, como para contemplar a característica peculiar da região do Pampa, (mata de galeria).

Escolhidos os locais, foram realizadas avaliações locais de vazão nas duas microbacias, para o entendimento sobre qual a metodologia ideal de monitoramento do escoamento a ser aplicada. Para a faixa de vazão obtida, optou-se por utilizar um vertedor triangular de 90° de parede delgada, pois, segundo o CPRH (2004) é a ferramenta hidráulica mais precisa para vazões até 30 L/s. No entanto, ao aliar a relação custo x benefício de coleta dos dados e pensando em usos futuros com vazões de cheia, instalou-se uma estrutura chamada de “vertedor de 90° truncado” que contempla um vertedor retangular na parte superior, aumentando a capacidade de coleta de dados em uma maior faixa de vazão.

5.4.2 Construção da estrutura hidráulica

As estruturas hidráulicas, tanto da MC quanto da MF, iniciaram a coleta de informações no dia 25 de Setembro de 2008. O vertedor triangular de 90° truncado (Figura 5.10), foi construído conforme a Norma Técnica da CPRH N 2.004 para todas as especificações de altura de elevação da lâmina de água, distância do poço de medição etc. O vertedor foi confeccionado com uma chapa de aço galvanizado de 3 mm de espessura e fixado por inteiro (não havendo deformação) na parede de pedras e concreto, erguida perpendicularmente ao curso de água conforme Figura 5.9.



Figura 5.9 - Estrutura hidráulica com poço tranqüilizador da microbacia de campo (A) e da microbacia florestada (B), sob as coordenadas 702968 E, 6643251 S e 704445 E, 6630250 S, respectivamente.

Fonte: arquivo pessoal.

A altura vertical do vertedor para as duas microbacias foi de 0,35 m para o vertedor triangular e mais 0,15 m para o retângulo do vertedor. Em função de alguns aspectos pertinentes, optou-se por uniformizar a altura de validação dos dados nas duas microbacias. Os 35 + 15 cm faz com que se tornem válidas somente as vazões de até $238 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$, conforme a Equação (5.3) propostas por CPRH (2004) e Santos et al. (2001).

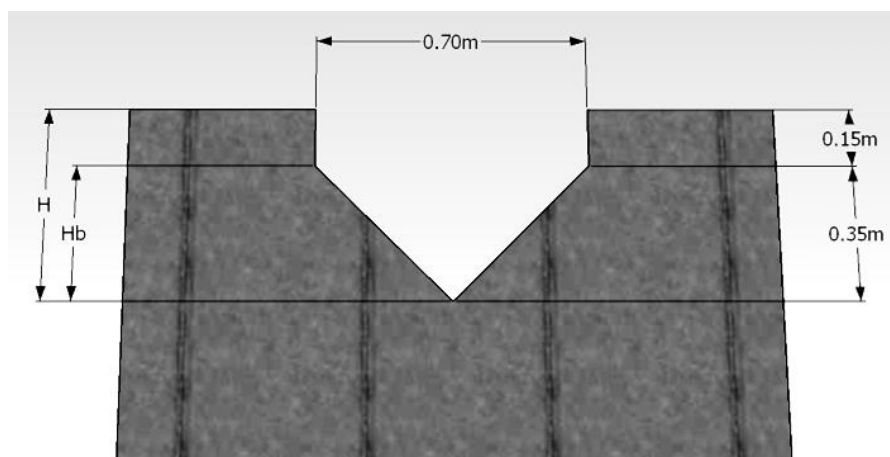


Figura 5.10 - Esquema ilustrativo do vertedor triangular de 90° truncado.

$$Q = (1.42 \cdot (H)^{2.5}) \cdot 1000 \rightarrow \text{Quando } H \leq H_b \quad (5.3)$$

onde, Q é a vazão em $L \cdot s^{-1}$, H é cota do sensor ou da régua em metros.

Além disso, para que o regime turbulento da água não interferisse na qualidade e validade dos dados dos sensores, foi construído um poço tranquilizador ou estabilizador de 60 cm de largura x 60 cm comprimento x 80 cm de altura, no qual se instalou o transdutor de pressão para medição automática das cotas ao longo do dia. Foi utilizada também uma régua metálica na 'parede do poço, zerada conforme o sensor e nivelada com o vertedor, para aferição com os dados eletrônicos do datalogger.

A cada coleta de dados do sensor ou verificação das estruturas (quinzenais) se fazia anotação do valor de cota na régua e também a hora e minutos, já que em microbacias o escoamento muda em algumas horas e o tempo de concentração em eventos de chuva, pode durar apenas alguns minutos.

O transdutor de pressão utilizado foi o Levelogger Junior da SOLINST® em cada um dos dois poços (Figura 5.11). Esse equipamento não pode ser considerado de baixo custo, porém, a facilidade de instalação exige pouca estrutura acessória, ou seja, ao final, toda a base acaba sendo de baixo custo em função da versatilidade do equipamento de coleta. A programação de obtenção dos dados foi de hora em hora para valores cheios (14:00, 15:00, etc) nas duas microbacias, para assim padronizar e facilitar a observação do comportamento hidrológico superficial nas duas microbacias.



Figura 5.11 - Transdutor de pressão (sensor de nível, datalogger e bateria) utilizado.

Fonte: Adaptado de AG SOLVE (2009).

O Levelogger Junior funciona em conjunto com o barômetro intitulado Barologger Gold também da SOLINST®. Como os equipamentos são transdutores de pressão, o primeiro detecta a pressão da coluna de água conjuntamente com a pressão atmosférica (0,1% F.S de precisão). Já o segundo, tem a precisão para detectar somente a pressão atmosférica local. Subtraindo-se os dados dos dois equipamentos (um par em cada microbacia) tem-se a cota de água em centímetros acima do sensor que fica submerso.

Os dados foram registrados de hora em hora e todos os cálculos foram realizados de tal forma que não se utilizasse uma série com menos de 24 dados. Ou seja, os dados sempre foram utilizados no mínimo com sua série diária. Isso foi necessário em função de os sensores detectarem o evento citado por Vianello e Alves (1991), conhecido como Maré barométrica. Segundo o autor, a cada 24 horas ocorrem duas ondas na marcha da pressão atmosférica, com picos às 10 e às 22 horas.

5.5 Construção da curva de permanência

Buscou-se, dessa forma, a confecção de curvas de permanência para comparações sazonais com registros mensais e também com período histórico anual. Cada gráfico ilustra a permanência da microbacia de campo e da microbacia florestada.

As microbacias a serem confrontadas, possuem áreas distintas, dificultando a comparação dos resultados, já que a produção de escoamento é função da área de captação das chuvas. Nesse sentido, para que se pudesse equiparar o deflúvio das microbacias, a opção adotada foi a utilização das vazões específicas, obtidas com a divisão das vazões pela área da microbacia. Ademais, em função da baixa magnitude dos valores optou-se por utilizar a unidade de vazão em $L.s^{-1}$, que após a divisão pela respectiva área resultou de forma específica, em $L.s^{-1}.ha^{-1}$.

As curvas de permanência foram confeccionadas para os todos os registros de vazão (0-100%), excetuando-se aqueles que ultrapassaram a capacidade da estrutura hidráulica e que foram considerados como valor máximo de vazão alcançado pelo vertedor aos 50 cm de cota.

5.5.1 Cálculo dos volumes da curva

A curva de permanência indica quando uma vazão pode ser igualada ou superada no tempo, logo, seus eixos são vazão (Y) e percentagem (X). A área dessa curva, portanto, indica o volume total de água no período de interesse. Os cálculos do volume foram realizados com dados de vazão de hora em hora.

A estrutura hidráulica possui a capacidade de determinar vazões com até 0,50 m de cota. Logo, em alguns eventos, houve o extravasamento da seção de interesse. Nesses casos, considerou-se o valor máximo de vazão do vertedor triangular truncado, para o cálculo de vazão das curvas, nas quais houvesse a necessidade.

5.6 Monitoramento subterrâneo

Nesta etapa, serão apresentados os métodos relativos à recarga subterrânea do aquífero livre ou freático. O espaço temporal de monitoramento subterrâneo foi diferente do superficial, em função da perfuração dos poços e compra de equipamentos de monitoramento. Logo, o período considerado de monitoramento ocorreu entre 01 de agosto de 2009 até 31 de setembro de 2012, compreendendo 36 meses, com um intervalo de 3 meses sem dados entre 01/01/2011 e 31/03/2011, totalizando 35 meses de análise.

Para fins de padronização e melhor entendimento das informações, todas as informações de profundidade ou elevação de água subterrânea, tomam a superfície do poço (nível 0 m) como referência.

5.6.1 Poços de monitoramento

Os piezômetros foram perfurados, baseados nas Normas técnicas da ABNT, NBRs 12.212/2006 (BRASIL, 2006) e 12.244/2006 (BRASIL, 2006), utilizando-se tubos de plástico de diâmetro 40 mm, protegidos com laje sanitária em concreto, numerados e pintados com tinta de cor amarela a base de epóxi, para facilitar a

visualização e evitar acidentes. Todos foram protegidos com tubo em concreto com diâmetro de 0,40m e ranhurados transversalmente, tampados (Figura 5.12). Lateralmente instalou-se um cano plástico PVC ranhurado para facilitar as trocas de pressão interna e externa.



Figura 5.12 - Perfuração e construção da estrutura protetora dos piezômetros.

Procurou-se levar em consideração as condicionantes que existiam para instalação dos piezômetros. A principal delas, foi a falta de recursos para equipar a base experimental. Dessa forma, optou-se por instalar apenas um poço na microbacia de campo, por entender que a haveria uma pequena variação nas taxas de recarga se levada em consideração o uso do solo, homogêneo em toda a bacia há mais de 30 anos. O poço 1, como foi caracterizado, ficou localizado a aproximadamente 20 metros alinhado com o vertedor e perpendicular ao fluxo do córrego, como mostra a Figura 5.13.



Figura 5.13 - Poço de monitoramento nº 1 na MC.

Por outro lado, na microbacia florestada, optou-se pela perfuração de 4 piezômetros em função da grande variação existente em cobertura do solo e também pelo fato de esta, a microbacia alvo da pesquisa. Destes 4 poços, 3 deles ficaram aproximadamente alinhados ao vertedor e perpendicular ao curso de água e um deles instalado na porção mais alta do acesso à microbacia.

O primeiro poço da MF, chamado de poço 4 (Figura 5.16), foi perfurado a cerca de 15 metros do córrego, dentro da APP. O próximo piezômetro, denominado poço 3 (Figura 5.15), foi perfurado à 30 metros do poço 4, na intersecção entre App + reserva legal com o reflorestamento. O poço 5 (Figura 5.17), como foi denominado, foi perfurado a 30 metros do poço 3, dentro do plantio florestal. O último poço da MF, ficou localizado na porção superior da bacia, à 410 m do poço 4, e denominado poço 2 (Figura 5.14). O croqui de localização dos poços na MF está apresentado na Figura 5.18.



Figura 5.14 - Poço de monitoramento nº 2 com a maior cota de altitude entre os poços da MF.



Figura 5.15 - Poço de monitoramento nº 3 localizado entre APP e reflorestamento



Figura 5.16 - Poço de monitoramento nº 4 localizado próximo ao córrego dentro da APP.



Figura 5.17 - Poço de monitoramento nº 5 localizado à 60 m do poço nº 4.

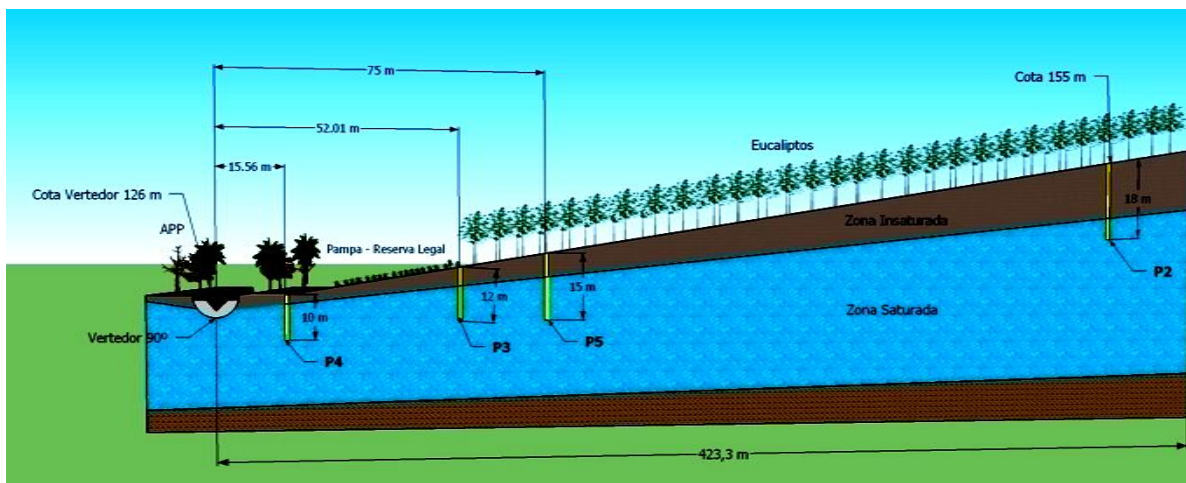


Figura 5.18 - Esquema ilustrativo dos poços de monitoramento na MF com as suas respectivas distâncias laterais e verticais.

Todos os poços de monitoramento possuem transdutores de pressão idênticos aos utilizados no monitoramento de águas superficiais (Figura 5.19) fixados por cabos de aço a profundidade fixa abaixo da superfície potenciométrica. Em um abrigo ao lado dos vertedores, fica o instrumento que realiza compensação barométrica dos dados de cota do vertedor e dos poços. Por serem semelhantes, os equipamentos estão sob a mesma precisão de dados, logo, a coleta de informações foi sincronizada de hora em hora, com os sensores das estações hidrométricas. A coleta de dados sincronizada de todos os poços começou no dia 17 de Abril de 2009, às 15:00.



Figura 5.19 - Instalação de sensor no poço de monitoramento.

Eventualmente, realizou-se uma verificação de possíveis erros dos medidores automáticos por meio da medição do nível dos poços obtido com freatímetro jaciri sonoro (Figura 5.20).



Figura 5.20- Aferição do nível do poço nº 4 com uso de freatímetro sonoro

Na Tabela 5.4 são apresentados os piezômetros com suas respectivas profundidades e localização geográfica.

Tabela 5.4 - Coordenadas UTM, profundidade e cota altimétrica dos piezômetros

Ident.	Coordenadas UTM		Profundidade (m)	Cota da boca do poço (m)
	E	S		
Poço 1	702978	6643238	20	132
Poço 2	704940	6630108	18	155
Poço 3	704562	6630255	12	131
Poço 4	704532	6630261	10	130
Poço 5	704591	6630243	15	133

5.6.1.1 Porosidade

Deste parâmetro que se retirou os valores de macroporosidade média das duas microbacias para o cálculo da recarga pelo método Water Table Fluctuation (HEALY; COOK, 2002). Healy e Cook (2002) e Maziero (2005) comentam que os valores de macroporosidade podem ser equiparados com o Rendimento Específico (S_y) para o WTF e que a precisão da recarga direta estaria diretamente relacionada com a representatividade do seu valor.

A determinação da porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo, apresentada por Avila (2014), foi obtida por meio da coleta de amostras indeformadas em anel volumétrico em áreas representativas das microbacias. Foram retiradas diversas amostras indeformadas que foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo – CCR/UFSM, e analisadas conforme metodologia descrita por Reinert e Reichert (2006), da coluna de areia e apresentados no Quadro 5.2 e Quadro 5.3.

MICROBACIA FLORESTADA - MF					
RESERVA LEGAL/APP					
Trincheira	Profundidade (cm)	Densidade (g cm³)	Porosidade (%)		
			Macro	Micro	Total
1	0-15	1,27	26,57	20,82	47,4
	15-57	1,45	14,7	19,65	34,35
	57-72	1,29	8,42	37,34	45,77
	72-118	1,33	7,75	37,77	45,53
2	0-15	1,39	15,69	24,46	40,14
	15-45	1,51	15,77	15,54	31,31
	45-63	1,57	21,49	13,35	34,84
	63-105	1,46	6,91	34,95	41,86
	105-155	1,58	5,65	31,47	37,12
ÁREA FLORESTADA					
Trincheira	Profundidade (cm)	Densidade (g cm³)	Porosidade (%)		
			Macro	Micro	Total
1	0-15	1,27	27,56	18,12	45,68
	15-41	1,41	20,21	18,72	38,93
	41-60	1,43	16,31	22,93	39,24
	60-150	1,5	11,5	31,79	43,52
2	0-15	1,29	30,14	15,9	46,04
	15-62	1,49	20,34	18,53	38,87
	62-104	1,54	18,69	16,14	34,83
	104 +	1,55	14,61	23,38	37,99
MÉDIAS DA MF		1,43	16,61	23,58	40,20

Quadro 5.2 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo para a MF.

MICROBACIA DE CAMPO - MC					
ÁREA DE CAMPO NATIVO					
Trincheira	Profundidade (cm)	Densidade (g cm ³)	Porosidade (%)		
			Macro	Micro	Total
1	0-30	1,4	23,98	16,23	40,21
	30-85	1,57	15,3	16,76	32,06
	85-165	1,55	15,69	16,19	31,88
	165-212	1,51	7,45	29,77	37,22
2	0-15	1,54	17,09	17,99	41,18
	15-55	1,49	19,65	15,92	35,57
	55-110	1,5	20,64	17,05	37,69
	110-140	1,48	19,52	16,01	35,53
MÉDIAS DA MC		1,5	17,4	18,24	36,4

Quadro 5.3 - Valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo para a MC.

Fonte: Avila (2013)

5.6.1.2 Rendimento específico

Logo, considerou-se os valores de macroporosidade médios do solo apresentados por Avila (2014) como equivalente ao rendimento específico do solo S_y conforme proposto por Healy e Cook (2002). A porosidade (n) é a soma do rendimento específico S_y mais a retenção específica S_r que vem a ser a microporosidade (em %), conforme a Equação (5.4):

$$n = S_y + S_r \quad (5.4)$$

Em laboratório, este valor é calculado utilizando-se valores de porosidade e retenção específica, já nos ensaios de campo, são utilizados testes de rebaixamento de aquíferos conduzidos em um período de tempo.

5.6.2 Avaliação de Recarga e Armazenamento

5.6.2.1 Determinação da variação do Armazenamento subterrâneo de água

A variação no armazenamento de um aquífero livre, representa a variação na quantidade de água que ocorre quando o nível deste aquífero muda de posição em relação ao nível anterior. Essa estimativa de variação do armazenamento subterrâneo se dá a partir da análise da série de dados de nível de piezômetros e da estimativa do rendimento específico, que para aquíferos livres é equivalente à porosidade útil.

Com a variação temporal do nível do aquífero, multiplica-se esta variação (ΔH) pelo coeficiente de rendimento específico (S_y) e tem-se como resultado a variação do armazenamento (ΔS), como mostra a figura esquemática (Figura 5.21):

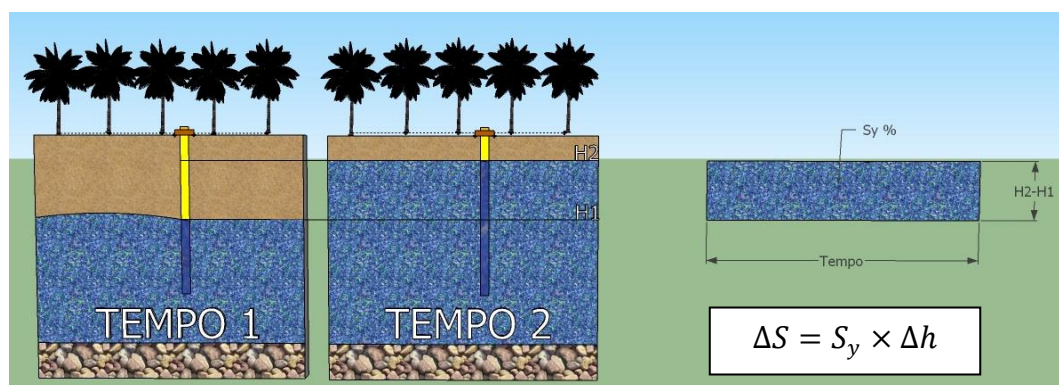


Figura 5.21 - Esquema ilustrativo da recarga de água subterrânea

Os valores de variação do armazenamento foram aplicados nos 5 poços de monitoramento e serve como parâmetro inicial para o cálculo da recarga direta.

5.6.2.2 Avaliação da recarga direta

Estimou-se a recarga direta por meio da análise da variação do nível dos poços de monitoramento e pela extrapolação das curvas de recessão do nível do aquífero (Figura 5.22), baseado na metodologia do WTF, apresentado por Healy e Cook (2002).

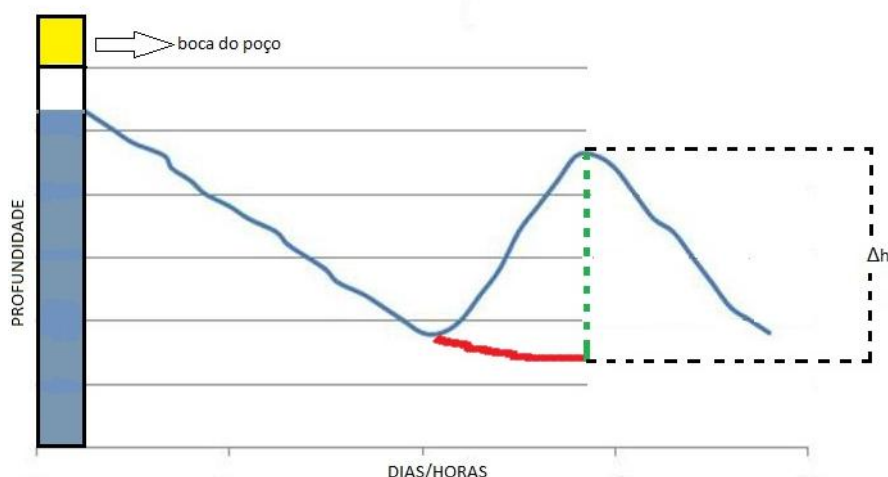


Figura 5.22 - Extrapolação da curva de recessão de um aquífero para utilização do WTF.

Este método consiste em primeiramente, identificar períodos sem chuva na série de dados, para então fazer o cálculo da recessão do aquífero. Barreto (2005) propõe que se use uma função exponencial única para o aquífero, para assim estimar a extrapolação da curva recessão no início do próximo evento de recarga. Este método pode ser feito ajustando-se uma equação em planilha eletrônica, como os dados da recessão.

No entanto, no intuito de minimizar as incertezas das estimativas de recarga pelo método WTF, optou-se por quantificar um coeficiente de recessão ou estimar uma curva de esgotamento para cada trecho no intervalo das precipitações de toda a série de dados de cada poço por meio da Equação 5.5 adaptada de Castany (1967). A precisão na extrapolação da curva de recessão e a precisão do coeficiente do rendimento específico constituem fator de sucesso no método WTF.

$$N_T = N_0 \cdot e^{-\alpha \cdot \Delta T} \quad (5.5)$$

onde, N_T é o nível do poço em relação a superfície no instante T em metros. O N_0 é o nível do poço (m) em relação à superfície no instante inicial do esgotamento (definido a partir da inversão dos valores subida de nível (m) em direção à superfície para valores de descida de nível da superfície para o centro da terra), o α significa o coeficiente de esgotamento (metros.dia^{-1}), o ΔT corresponde ao período de tempo

entre as chuvas, utilizado para o cálculo e por fim, o parâmetro “e” corresponde ao valor da base dos logaritmos neperianos (2,71828).

O cálculo do α é apresentado na Equação 5.6:

$$\alpha = \frac{(\log Q_0 - \log Q_T)}{0,4343 \cdot \Delta T} \quad (5.6)$$

Gonçalves et al. (2005) afirmam que dentro dos sistemas aquíferos, considera-se que o equilíbrio de fluxo das águas que entram seja igual aos volumes de saída. Assim, ao se conhecer o quanto é restituído das águas subterrâneas aos rios, pode-se estimar a contribuição de água subterrânea para o deflúvio total e ainda determinar o deflúvio subterrâneo.

5.6.2.3 Escoamento base (subterrâneo)

Diversos são os métodos para estimativa do escoamento base. Dentre eles o método do balanço hídrico do canal, infiltrômetros, modelos hidrométricos de aplicação da Lei de Darcy. Testes prévios com os dados mostraram que mesmo os dados de recessão dos poços mais próximos ao córrego não mostram uma relação direta com o escoamento base no canal. Logo, para este estudo, o escoamento base foi mensurado por meio da aplicação do Modelo Chuva-Vazão desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center - HEC, do exército norte-americano, chamado HEC- HMS (Hydrologic Modeling System) e também por um modelo hidrométrico apresentado por Rushton e Tomlinson (1979) apresentado na Equação 5.7:

$$q = k_1 \cdot (1 - e^{-k_2 \cdot \Delta h}) \quad (5.7)$$

onde, k_1 e k_2 são constantes e Δh é a diferença entre o nível superficial do rio e o nível do aquífero. Os parâmetros do modelo hidrométrico fazem parte dos resultados e foram quantificados pela ferramenta de modelagem estatística em planilha eletrônica.

5.7 Balanço Hídrico Superficial e Subterrâneo

A formulação do balanço hídrico permitiu avaliar quantitativamente as fontes individuais de água no sistema, ao longo de diferentes períodos de tempo, e estabeleceu o grau de variação no regime d'água devido às mudanças nos componentes do sistema.

Para a quantificação dos componentes hidrológicos do balanço hídrico superficial das duas microbacias foi utilizada a Equação 5.8:

$$P + Q_{on} = ET + Q_{off} + \Delta S \quad (5.8)$$

onde, P é a precipitação na área da bacia, Q_{on} e Q_{off} são as entradas e as saídas de fluxo de massa da bacia, ET é a evapotranspiração e ΔS é a variação do armazenamento subterrâneo, que a maioria dos autores consideram nulo para um período anual, mas que denota grande importância na diferença de comportamento subterrâneo entre as bacias com diferentes coberturas do solo.

Para o início do cálculo do armazenamento líquido subterrâneo ou recarga líquida, utilizou-se a Equação 5.9 apresentada por Pinto et al. (2011):

$$R = \Delta S^{subt} + ET^{subt} + Q^{Eb} + Q_{out}^{subt} - Q_{in}^{subt} \quad (5.9)$$

onde, R é a recarga, ΔS^{subt} é a alteração do armazenamento subterrâneo, ET^{subt} é a evapotranspiração das águas subterrâneas, Q^{Eb} é o escoamento base e $Q_{out}^{subt} - Q_{in}^{subt}$ é o escoamento líquido da área de estudo.

5.7.1 Evapotranspiração real das microbacias

Para execução do método de cálculo, existe a condição da existência de dados diários de algumas variáveis locais do regime hidrológico superficial e subterrâneo como: precipitação, escoamento superficial direto (escoamento total – escoamento base) e recarga direta. Além disso, necessita-se da precisão do dado

de rendimento específico do aquífero, variável essa que influencia diretamente na qualidade da informação de recarga. Essa variação do método tradicional do balanço hídrico estima a evapotranspiração real (ETR) em mm.dia^{-1} . A seguir, a Equação 5.10 apresentada por Barreto et al.(2009):

$$ETR = P - ES - R_d \quad (5.10)$$

onde, P é a precipitação, ES é o escoamento superficial direto e R_d é a recarga direta estimada pelo WTF.

A infiltração média na bacia corresponde à diferença entre precipitação e escoamento superficial direto. Da parcela que infiltra, parte chega à zona saturada (recarga direta, R_d) e parte fica na zona não saturada, podendo sair do sistema por evapotranspiração. Com o valor da recarga direta estimado a partir da variação do nível do aquífero, e assumindo a hipótese de que o balanço de umidade na zona não saturada é nulo no período anual, pode-se chegar a um valor para a evapotranspiração real anual na bacia (BARRETO et al., 2009).

Pelo fato de a microbacia florestada possuir uma área equivalente a cerca de 50% composta por vegetação nativa (Reserva Legal e APP), buscou-se a evapotranspiração real da microbacia florestada e não considerando um cultivo homogêneo de eucalipto em todo local. Procedeu-se dessa forma, por entender que o alvo da avaliação foram os efeitos hidrológicos que o modelo da silvicultura praticado proporciona em relação à microbacia e não da planta isoladamente.

Para o cálculo da evapotranspiração mensal da bacia, utilizou-se a média de duas estações com dados de tanque classe A para o período de análise, apenas como fator de ponderação para dividir o valor global da ETP de cada bacia para valores mensais na área de estudo. As estações mais próximas estão localizadas na cidade de Santa Maria e Santana do Livramento. Os valores obtidos e a ponderação estão descritos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Estações climatológicas oficiais utilizadas para ponderação mensal da ETP nas microbacias de estudo.

Ano	Mês	Estação Santa Maria	Estação Santana do	Média	Fator de
		Código OMM: 83936 mm/mês Latitude: -29.7° Longitude: -53.7°	Livramento Código OMM: 83953 mm/mês Latitude: -29.75° Longitude: -57.08°		
2009	ago	49,33	108,58	78,95	0,03
2009	set	49,83	105,67	77,75	0,03
2009	out	76,11	125,44	100,78	0,03
2009	nov	118,35	141,48	129,92	0,04
2009	dez	133,39	150,41	141,90	0,05
2010	jan	139,40	153,58	146,49	0,05
2010	fev	131,54	131,09	131,31	0,05
2010	mar	113,58	133,06	123,32	0,04
2010	abr	66,78	108,23	87,50	0,03
2010	mai	43,64	100,76	72,20	0,02
2010	jun	33,73	92,29	63,01	0,02
2010	jul	30,67	91,95	61,31	0,02
2010	ago	34,09	97,03	65,56	0,02
2010	set	52,93	110,21	81,57	0,03
2010	out	69,88	122,39	96,14	0,03
2010	nov	93,65	136,28	114,97	0,04
2010	dez	131,20	158,83	145,01	0,05
2011	abr	42,02	65,71	53,87	0,02
2011	mai	28,39	36,34	32,36	0,01
2011	jun	26,73	23,31	25,02	0,01
2011	jul	37,65	21,00	29,33	0,01
2011	ago	52,32	28,29	40,31	0,01
2011	set	77,73	45,19	61,46	0,02
2011	out	107,57	63,74	85,65	0,03
2011	nov	124,74	94,82	109,78	0,04
2011	dez	147,33	110,17	128,75	0,04
2012	jan	138,33	139,35	138,84	0,05
2012	fev	104,92	117,31	111,11	0,04
2012	mar	61,22	94,54	77,88	0,03
2012	abr	50,98	57,34	54,16	0,02
2012	mai	31,45	49,86	40,65	0,01
2012	jun	23,87	26,84	25,35	0,01
2012	jul	65,46	18,15	41,81	0,01
2012	ago	58,92	49,16	54,04	0,02
2012	set	89,60	48,76	69,18	0,02
		Totais		2897,23	1,00

Fonte: BDMEP/ INMET (2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Pluviometria

Utilizando-se das estações descritas nos itens anteriores, as chuvas no período de outubro de 2008 a setembro de 2009 ficaram distribuídas de acordo com a Tabela 6.1:

Tabela 6.1– Valores médios de precipitação pluviométrica na microbacia de campo e florestada no período de Out/08 a Set/09, nas fazendas São Carlos e Santa Ambrosina, respectivamente.

Pluviosidade / Outubro 2008 a Setembro 2012											
	Mês	Campo (mm)	Floresta (mm)	Média Hist. 1979 a 2009 (mm)		Mês	Campo (mm)	Floresta (mm)	Média Hist. 1979 a 2009 (mm)		
1	2008	Outubro	374	160	25	2010	Outubro	26	10	160	
2		Novembro	93	133	26		Novembro	22	21	133	
3		Dezembro	7	109	27		Dezembro	69	48	109	
4	2009	Janeiro	98	113	28	2011	Janeiro	41	98	113	
5		Fevereiro	211	194	131		29	Fevereiro	98	132	131
6		Março	82	44	122		30	Março	99	92	122
7		Abril	32	38	188		31	Abril	119	106	188
8		Maio	113	102	133		32	Maio	57	70	133
9		Junho	24	25	137		33	Junho	91	97	137
10		Julho	35	28	128		34	Julho	83	83	128
11		Agosto	100	86	85		35	Agosto	87	88	85
12		Setembro	271	210	144		36	Setembro	100	118	144
13		Outubro	127	113	160		37	Outubro	105	108	160
14		Novembro	585	576	133		38	Novembro	78	78	133
15		Dezembro	282	203	109		39	Dezembro	38	40	109
16	2010	Janeiro	238	204	113	40	2012	Janeiro	9.8	5	113
17		Fevereiro	195	196	131	41		Fevereiro	78.3	107	131
18		Março	62	47	122	42		Março	21.9	40	122
19		Abril	131	108	188	43		Abril	60	79	188
20		Maio	103	109	133	44		Maio	5	5	133
21		Junho	54	47	137	45		Junho	47	53	137
22		Julho	225	212	128	46		Julho	83	72	128
23		Agosto	31	27	85	47		Agosto	62	64	85
24		Setembro	178	200	144	48		Setembro	110	100	144
TOTAL		3651	3341		TOTAL	1590	1714				

6.1.1 Avaliação de impacto da interceptação – Int no período de 10/2008 a 09/2009

No ano de 2008, começou-se a aprimorar a metodologia para avaliação mais precisa da precipitação interna da microbacia florestada, o que conseqüentemente traz os valores das perdas da bacia, como a interceptação - int. Nessa época, o plantio havia sido realizado em meados de 2007 e final de 2006, ou seja, as copas ainda não ocupavam seu espaço vital de $6m^2$, dificultando a metodologia de interceptação. No entanto, ainda assim foi possível mensurar a variável, sem a distinção por espécie, como mostra a Tabela 6.2:

Tabela 6.2 – Valores de interceptação estimados pela metodologia dos interceptômetros para a primeira fase do estudo.

Ano	Mês	Chuva Incidente	Int, Campo (5% * col2)	Int, Floresta (% col2)	Int, Floresta (col2*col4)	Int, Campo (Int _C x A _C)	Int, floresta (Int _F x A _F)	ET% x A _F	Int, Total	% da Chuva Interc.	Impacto da Silvicultura (col9 - col3)
	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	Col7	Col8	Col9	Col10	Col11
	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	mm	mm	%	mm
2008	Out	374	18,7	43,6	163,1	9,1	83,8	4,3	88,6	23,7	69,9
	Nov	93	4,7	31,4	29,2	2,3	15,0	1,1	16,2	17,4	11,6
	Dez	7	0,4	31,8	2,2	0,2	1,1	0,1	1,2	17,6	0,9
2009	Jan	98	4,9	19,8	18,9	2,4	9,7	1,1	11,0	11,2	6,1
	Fev	194	9,7	15,0	29,0	4,7	14,9	2,2	17,4	9,0	7,7
	Mar	44	2,2	13,4	3,1	1,1	1,6	0,5	2,1	4,9	-0,1
	Abr	38	1,9	23,3	8,9	0,9	4,6	0,4	5,0	13,3	3,1
	Mai	102	5,1	33,4	34,1	2,5	17,5	1,2	18,8	18,4	13,7
	Jun	25	1,3	28,2	7,0	0,6	3,6	0,3	3,9	15,8	2,7
	Jul	28	1,4	27,3	7,7	0,7	3,9	0,3	4,3	15,3	2,9
	Ago	86	4,3	21,6	18,5	2,1	9,5	1,0	10,6	12,4	6,3
	Set	210	10,5	17,9	37,6	5,1	19,3	2,4	22,0	10,5	11,5
Total	1299	65,0	25,5	359,26	31,6	184,66	14,9	201,37	14,13	136,42	
	100%	5%		25,5%			1,14%			10,5%	

*

precipitação total (Chuva incidente), Interceptação na área de campo nativo (Int. Campo e Int_C), Interceptação na área de floresta (Int. Floresta e Int_F), Área pertencente a porção de floresta (A_F), área pertencente à porção e campo (A_C), escoamento pelo tronco (ET%), Interceptação total (Int. Total), percentagem da chuva interceptada (% da chuva interceptada).

Assim, um somatório proporcional quantifica o valor para a microbacia florestada (MF). Na Tabela 6.2, as variáveis que possuem a indicação “Int” estão apresentando valores de interceptação referentes ao campo ou floresta (sinônimos “Int_C” e “Int_F”), e aparecem multiplicando a área da microbacia (“A_F” ou “A_C”).

Além disso, a $ET\%$, refere-se à entrada de água via escoamento pelo tronco, que é multiplicado pela área da microbacia florestada. O valor de escoamento pelo tronco, por ser proporcional ao crescimento da planta, foi retirado de Consensa (2012), com representatividade média de 2,2% do que precipita no aberto. Esse valor de escoamento pelo tronco, ficou próximo aos 1,7% que apresenta Oliveira et al. (2008) em teste de interceptação na floresta amazônica. Por outro lado, Lima (1976), encontrou valores de 4,5% de ET em eucaliptos em SP. A interceptação média no período de análise, resultou em 25,5%, que vai ao encontro dos estudos como o de Kittredge *et al.* (1941), Voigt, (1960) e Karschon e Heth (1967).

Na última coluna da Tabela 6.2 o valor de 136,42 mm mostra a diminuição da precipitação efetiva, ou seja, o impacto da silvicultura na microbacia florestada pela interceptação diferenciada em relação ao campo. Em suma, na mudança de ocupação do solo de campo nativo pela floresta plantada, descontando-se a interceptação natural da pastagem, restaria um déficit de 10,5 % de precipitação neste período. Ademais, para ilustrar melhor o resultado, no primeiro ano de avaliação, o deflúvio da microbacia florestada foi de 189 mm ou aproximadamente 14% da precipitação no aberto.

Os valores negativos que apareceram na coluna correspondente aos impactos, podem significar, para este período, uma ausência real de impacto, já que no primeiro ano de avaliação, foi possível observar a interceptação mês a mês, com uma proporção de interceptação específica.

6.1.2 Avaliação de impacto da Interceptação – Int – no período de 10/2009 a 09/2012 para o *Eucalyptus dunnii*.

A decisão em dividir a avaliação de impacto da silvicultura sobre a interceptação em duas partes se deu basicamente pelos resultados obtidos por Consensa (2012) a respeito da significativa diferença entre o *E. dunnii* e o *E. urograndis* em termos de suas características morfológicas, que contribuem mais ou menos na retenção de água da copa. Logo, se fez necessário uma análise mais detalhada para se ter a magnitude das perdas ao longo de 4 anos.

Na Tabela 6.3, estão representados os valores de interceptação e escoamento pelo tronco correspondentes ao período de outubro de 2009 até setembro de 2012. Alguns parâmetros utilizados para o cálculo do impacto, foram

retirados do estudo do Consensa (2012), quais sejam, interceptação média do *E. dunnii* (10% da Precipitação no aberto) para a microbacia florestada e escoamento pelo tronco médio (2,2 % da Precipitação no aberto) para a mesma espécie na mesma bacia. Os valores de interceptação estão um pouco abaixo da média de interceptação de *Eucalyptus* revisado por Giglio e Kobiyama (2013) no Brasil, no qual os autores mostram valores entre 12,2 e 15,6% da precipitação.

Pode se observar, que o impacto calculado diminuiu consideravelmente em relação ao período inicial do estudo. Isso se deve em parte pelas características das copas e arquitetura do dossel desta espécie. Estima-se que a quantidade de água que deixou de entrar na microbacia em 3 anos, seria de aproximadamente 53,38 mm, algo próximo de 1,43% do que choveu no período dos 36 meses. A precisão dessa informação passaria, logicamente, pela precisão de todos os elementos envolvidos, no entanto, não foi possível no caso do valor de interceptação do campo nativo, no qual se utilizou um valor aproximado, conforme a metodologia, por falta de estudos de referência.

Um dos motivos pelos quais houve uma disparidade de resultados do primeiro ano de avaliação para o segundo, reside na diferença de área plantada de *E. dunnii* (8,6%) dos 48,8 ha, em relação ao *E. urograndis* (91,4 %). Logo, essa diferença tende a se reduzir na ponderação do impacto da interceptação em função da área florestal cultivada.

Tabela 6.3 – Valores de interceptação calculados pela metodologia dos interceptômetros para a segunda fase do estudo, com avaliação de impacto no cultivo de *Eucalyptus dunnii*.

Ano	Mês	Chuva Incidente	Int, Campo (5% * col2)	Int, Floresta (% col2)	Int, Floresta (col2*col4)	Int, Campo Int _C x A _C	Int, floresta Int _F x A _F	ET% x A _F	Int, Total	% da Chuva Interc,	Impacto da Silvicultura (col9 - col3)
	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	Col7	Col8	Col9	Col10	Col11
	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	mm	mm	%	mm
2009	Out	113	5,65	10	11,30	2,75	5,81	1,28	7,28	6,44	1,63
	Nov	576	28,80	10	57,60	14,00	29,61	6,51	37,09	6,44	8,29
	Dez	203	10,15	10	20,30	4,93	10,43	2,30	13,07	6,44	2,92
2010	Jan	204	10,20	10	20,40	4,96	10,49	2,31	13,14	6,44	2,94
	Fev	196	9,80	10	19,60	4,76	10,07	2,22	12,62	6,44	2,82
	Mar	47	2,35	10	4,70	1,14	2,42	0,53	3,03	6,44	0,68
	Abr	108	5,40	10	10,80	2,62	5,55	1,22	6,95	6,44	1,55
	Mai	109	5,45	10	10,90	2,65	5,60	1,23	7,02	6,44	1,57
	Jun	47	2,35	10	4,70	1,14	2,42	0,53	3,03	6,44	0,68
	Jul	212	10,60	10	21,20	5,15	10,90	2,40	13,65	6,44	3,05
	Ago	27	1,35	10	2,70	0,66	1,39	0,31	1,74	6,44	0,39
	Set	200	10,00	10	20,00	4,86	10,28	2,26	12,88	6,44	2,88
	Out	10	0,50	10	1,00	0,24	0,51	0,11	0,64	6,44	0,14
	Nov	21	1,05	10	2,10	0,51	1,08	0,24	1,35	6,44	0,30
	Dez	48	2,40	10	4,80	1,17	2,47	0,54	3,09	6,44	0,69
2011	Jan	98	4,90	10	9,80	2,38	5,04	1,11	6,31	6,44	1,41
	Fev	132	6,60	10	13,20	3,21	6,78	1,49	8,50	6,44	1,90
	Mar	92	4,60	10	9,20	2,24	4,73	1,04	5,92	6,44	1,32
	Abr	106	5,30	10	10,60	2,58	5,45	1,20	6,83	6,44	1,53
	Mai	70	3,50	10	7,00	1,70	3,60	0,79	4,51	6,44	1,01
	Jun	97	4,85	10	9,70	2,36	4,99	1,10	6,25	6,44	1,40
	Jul	83	4,15	10	8,30	2,02	4,27	0,94	5,34	6,44	1,19
	Ago	88	4,40	10	8,80	2,14	4,52	1,00	5,67	6,44	1,27
	Set	118	5,90	10	11,80	2,87	6,07	1,33	7,60	6,44	1,70
	Out	108	5,40	10	10,80	2,62	5,55	1,22	6,95	6,44	1,55
	Nov	78	3,90	10	7,80	1,90	4,01	0,88	5,02		1,12
	Dez	40	2,00	10	4,00	0,97	2,06	0,45	2,58	6,44	0,58
2012	Jan	5	0,25	10	0,50	0,12	0,26	0,06	0,32	6,44	0,07
	Fev	107	5,35	10	10,70	2,60	5,50	1,21	6,89	6,44	1,54
	Mar	40	2,00	10	4,00	0,97	2,06	0,45	2,58	6,44	0,58
	Abr	79	3,95	10	7,90	1,92	4,06	0,89	5,09	6,44	1,14
	Mai	5	0,25	10	0,50	0,12	0,26	0,06	0,32	6,44	0,07
	Jun	53	2,65	10	5,30	1,29	2,72	0,60	3,41	6,44	0,76
	Jul	72	3,60	10	7,20	1,75	3,70	0,81	4,64	6,44	1,04
	Ago	64	3,20	10	6,40	1,56	3,29	0,72	4,12	6,44	0,92
	Set	100	5	10	10,00	2,43	5,14	1,13	6,44	6,44	1,44
Total		3756	187,8	10,0	375,60	91,3	193,06	43,0	48,36		54,06
		100%	5%		10%			1,14%			1,43%

6.1.3 Avaliação da Interceptação – Int – no período de 10/2009 a 09/2012 para o *Eucalyptus urograndis*.

Na Tabela 6.4, da mesma forma que a tabela anterior, estão representados os parâmetros envolvidos no impacto da interceptação, alterando-se apenas o valor médio de interceptação do *E. urograndis* que, para fins de cálculo, utiliza-se 26,8 % conforme apresentado por Consensa (2012).

A mudança na magnitude do parâmetro médio de interceptação calculado por Consensa (2012) se traduz em uma diferença significativa em termos de impacto resultante da mudança de uso do solo para a silvicultura. É possível notar que essa característica da copa da vegetação corresponde a uma interceptação em torno de 373,6 mm para os 3 anos, valor esse que representa cerca de 10% menos água entrando na microbacia por via aérea. Além disso, esse resultado se torna mais significativo ao se considerar que 91,4% do plantio é de *E. urograndis*.

Tabela 6.4 – Valores de interceptação calculados pela metodologia dos interceptômetros para a segunda fase do estudo, com avaliação de impacto no cultivo de *Eucalyptus urograndis*.

Ano	Mês	Chuva Incidente	Int, Campo (5% * col2)	Int, Floresta (% col2)	Int, Floresta (col2*col4)	Int, Campo Int _C x A _C	Int, floresta Int _F x A _F	ET% x A _F	Int, Total	% da Chuva Interc,	Impacto da Silvicultura (col9 - col3)
	Col1	Col2	Col3	Col4	Col5	Col6	Col7	Col8	Col9	Col10	Col11
	mm	mm	mm	%	mm	mm	mm	mm	mm	%	mm
2009	Out	113	5,65	26,8	30,28	2,75	15,57	1,28	17,03	15,07	11,38
	Nov	576	28,80	26,8	154,37	14,00	79,35	6,51	86,83	15,07	58,03
	Dez	203	10,15	26,8	54,40	4,93	27,96	2,30	30,60	15,07	20,45
2010	Jan	204	10,20	26,8	54,67	4,96	28,10	2,31	30,75	15,07	20,55
	Fev	196	9,80	26,8	52,53	4,76	27,00	2,22	29,55	15,07	19,75
	Mar	47	2,35	26,8	12,60	1,14	6,47	0,53	7,08	15,07	4,73
	Abr	108	5,40	26,8	28,94	2,62	14,88	1,22	16,28	15,07	10,88
	Mai	109	5,45	26,8	29,21	2,65	15,01	1,23	16,43	15,07	10,98
	Jun	47	2,35	26,8	12,60	1,14	6,47	0,53	7,08	15,07	4,73
	Jul	212	10,60	26,8	56,82	5,15	29,20	2,40	31,96	15,07	21,36
	Ago	27	1,35	26,8	7,24	0,66	3,72	0,31	4,07	15,07	2,72
	Set	200	10,00	26,8	53,60	4,86	27,55	2,26	30,15	15,07	20,15
	Out	10	0,50	26,8	2,68	0,24	1,38	0,11	1,51	15,07	1,01
	Nov	21	1,05	26,8	5,63	0,51	2,89	0,24	3,17	15,07	2,12
	Dez	48	2,40	26,8	12,86	1,17	6,61	0,54	7,24	15,07	4,84
2011	Jan	98	4,90	26,8	26,26	2,38	13,50	1,11	14,77	15,07	9,87
	Fev	132	6,60	26,8	35,38	3,21	18,18	1,49	19,90	15,07	13,30
	Mar	92	4,60	26,8	24,66	2,24	12,67	1,04	13,87	15,07	9,27
	Abr	106	5,30	26,8	28,41	2,58	14,60	1,20	15,98	15,07	10,68
	Mai	70	3,50	26,8	18,76	1,70	9,64	0,79	10,55	15,07	7,05
	Jun	97	4,85	26,8	26,00	2,36	13,36	1,10	14,62	15,07	9,77
	Jul	83	4,15	26,8	22,24	2,02	11,43	0,94	12,51	15,07	8,36
	Ago	88	4,40	26,8	23,58	2,14	12,12	1,00	13,27	15,07	8,87
	Set	118	5,90	26,8	31,62	2,87	16,25	1,33	17,79	15,07	11,89
	Out	108	5,40	26,8	28,94	2,62	14,88	1,22	16,28	15,07	10,88
	Nov	78	3,90	26,8	20,90	1,90	10,74	0,88	11,76	15,07	7,86
	Dez	40	2,00	26,8	10,72	0,97	5,51	0,45	6,03	15,07	4,03
2012	Jan	5	0,25	26,8	1,34	0,12	0,69	0,06	0,75	15,07	0,50
	Fev	107	5,35	26,8	28,68	2,60	14,74	1,21	16,13	15,07	10,78
	Mar	40	2,00	26,8	10,72	0,97	5,51	0,45	6,03	15,07	4,03
	Abr	79	3,95	26,8	21,17	1,92	10,88	0,89	11,91	15,07	7,96
	Mai	5	0,25	26,8	1,34	0,12	0,69	0,06	0,75	15,07	0,50
	Jun	53	2,65	26,8	14,20	1,29	7,30	0,60	7,99	15,07	5,34
	Jul	72	3,60	26,8	19,30	1,75	9,92	0,81	10,85	15,07	7,25
	Ago	64	3,20	26,8	17,15	1,56	8,82	0,72	9,65	15,07	6,45
	Set	100	5	26,8	26,80	2,43	13,78	1,13	15,07	15,07	10,07
Total		3756	187,8	26,8	1006,61	91,3	517,40	43,0	566,19		378,39
		100%	5%		26,8%			1,14%			10,1%

6.1.4 Síntese do impacto médio da silvicultura referente à interceptação de água pela biomassa.

Para ser possível compreender a magnitude do impacto da interceptação em virtude da mudança de uso do solo, é necessário ponderar os efeitos da interceptação das copas ao longo dos 48 meses de avaliação, logo, realizou-se a tabulação dos resultados levando-se em consideração o tempo de obtenção dos dados e a área abrangente de cada uso e por tipo florestal na microbacia florestada, como mostra a Tabela 6.5:

Tabela 6.5 – Impacto ponderado médio das áreas de silvicultura com os tipos de interceptações resultantes.

Referência da interceptação	Meses de referência	Área de abrangência	Impacto da silvicultura	Impacto médio ponderado da silvicultura
Primeiro ano - piloto	12	100%	10,50%	
<i>Eucalyptus dunnii</i>	36	8,60%	1,43%	9,64%
<i>Eucalyptus urograndis</i>	36	91,40%	10,10%	

Logo, o impacto médio ponderado da interceptação para as situações supracitadas e para as condições da microbacia florestada, ficou em 9,64% (redução da entrada de precipitação), ou seja, ao se considerar a interceptação da vegetação herbácea nativa do Bioma Pampa como 5%, entende-se que a água que deixou de entrar no sistema, seria quase o dobro, o equivalente a 483 mm no período de 48 meses.

Nesse sentido, Giglio e Kobiyama (2013) comentam que os poucos estudos existentes nos Biomas brasileiros apontam uma grande importância quantitativa da interceptação no balanço hídrico. Esse fato deve servir de alerta para a necessidade de se voltar a atenção para esse processo hidrológico nesses ambientes, sobretudo no Pampa, onde as pesquisas nesse sentido são inexistentes.

6.2 Água superficial - comparativo quantitativo do deflúvio entre MC e MF

Optou-se por elucidar as figuras das curvas de permanência por meio de alguns elementos ditos essenciais ao bom entendimento da tradução de gráficos em números. Dentre eles, cita-se a comparação das médias de vazão para cada período estudado, a quantidade de chuva registrada e a média histórica, a interceptação e finalmente a produção de água na microbacia apresentada em mm para fins comparativos. Optou-se também por apresentar as figuras representativa dos diferentes casos, sendo as demais curvas, inseridas nos apêndices.

Para uma análise mais específica dos escoamentos de origem subterrânea, fez-se uma análise mensal das curvas de permanência. Estas foram construídas para todos os meses do estudo. A maneira como estão configuradas, no intervalo de 40% a 100% da permanência, está baseado no preceito de que, nesta fase, não haveria presença do escoamento superficial. Além disso, em Silveira e Tucci (1998), os autores trazem os 50% da permanência, como sendo aquela ideal para gestão de recursos hídricos e aproveitamento hidroenergético dos recursos hídricos, entre outros, por se tratar de um trecho em que se tem apenas a contribuição subterrânea para o rio.

No entanto, pelo fato do estudo transcorrer em uma microbacia florestal e uma microbacia de campo nativo, optou-se por reduzir 10% dos valores apresentados por Silveira e Tucci (1998), por entender que a MC, ainda que possa ter maior influência sobre o escoamento superficial, não atinja o volume representado a partir dos 40% da permanência.

Para os três primeiros meses de análise, referentes ao Apêndice A1, percebe-se uma tendência decrescente nas vazões específicas da MC em relação à MF. As precipitações que geraram essa média mensal foram 374, 93 e 7 mm para os meses apresentados, respectivamente. Nota-se que, quando a precipitação ficou reduzida, as curvas se cruzaram em Q_{92} , indicando a partir desse ponto, uma maior regularidade em vazões mínimas por parte da MF.

As precipitações retornaram próximas da média a partir de janeiro de 2009 e mesmo com 98 mm, os eventos foram de grande duração e concentrados em poucos dias. Esse fato, aliado a baixa taxa de precipitação em dezembro de 2008, fez com que as curvas se alternassem de posição e conseqüentemente, a MF

passasse a ter uma maior disponibilidade de água, quando comparada a MC (APÊNDICE A).

Em Fevereiro de 2009 a curva seguiu a tendência semelhante a do mês anterior, com proporcionalmente mais água passando pela seção do vertedor da MF em relação a MC. A partir de Março de 2009 até Setembro do mesmo ano, as curvas apresentam vantagem quantitativa na MC em função do retorno das chuvas, aliando fator distribuição e quantidade de chuvas. Nos meses de junho e julho de 2009, com a ocorrência de precipitações abaixo da média, ocorre um princípio de inversão das curvas de vazão.

Notadamente, para o ano de 2009, não foi possível distinguir um padrão de cruzamento das curvas de permanência, já que elas ocorreram em meses secos entre $0,009\text{L/s}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $0,015\text{ L/s}\cdot\text{ha}^{-1}$. Essa diferenciação pode ter a influência da demanda evapotranspiratória da bacia, que aumenta gradualmente com a temperatura e pode alterar o cruzamento das curvas com a proximidade do verão. Como exemplo, pode-se citar o mês de janeiro de 2009 (Figura 6.1), em que as curvas se cruzam em $0,025\text{ L/s}\cdot\text{ha}^{-1}$, fora do intervalo de 40 a 60%, no entanto em julho (Figura 6.2) e agosto, esse cruzamento ocorre com vazões menores, em cerca de $0,01\text{ L/s}\cdot\text{ha}^{-1}$.

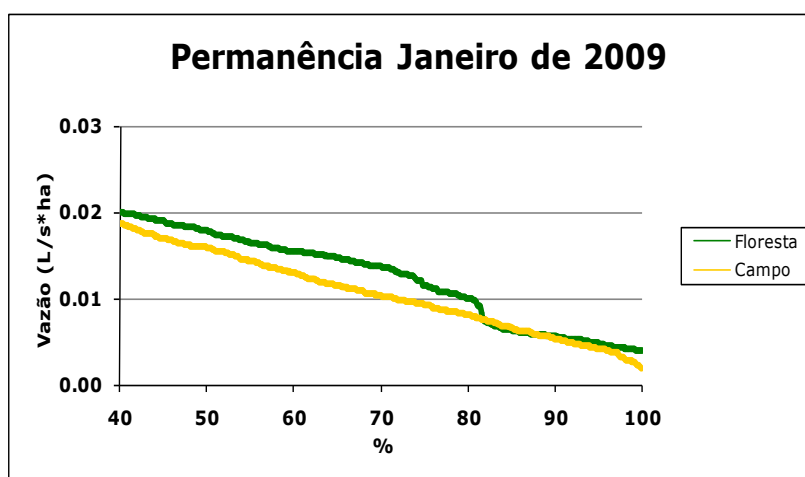


Figura 6.1 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Janeiro de 2009.

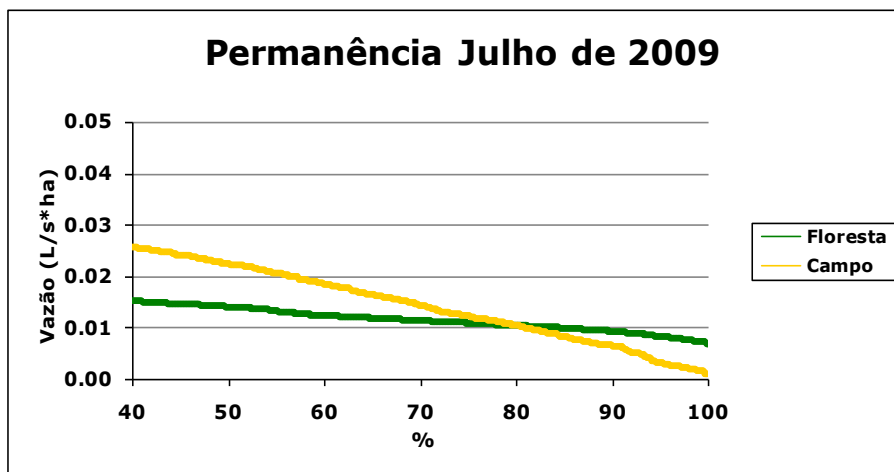


Figura 6.2– Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Julho de 2009.

Durante o mês de novembro de 2009, ocorreu um evento extremo, com registro médio de 580 mm nas duas bacias. Nas curvas desse evento, é possível notar as mínimas vazões dos primeiros dias do mês antes do início dos eventos de grande magnitude. Os maiores valores de vazão para o intervalo de 40 a 100% de permanência, foram obtidos nesse intervalo e estão apresentados na Figura 6.3.

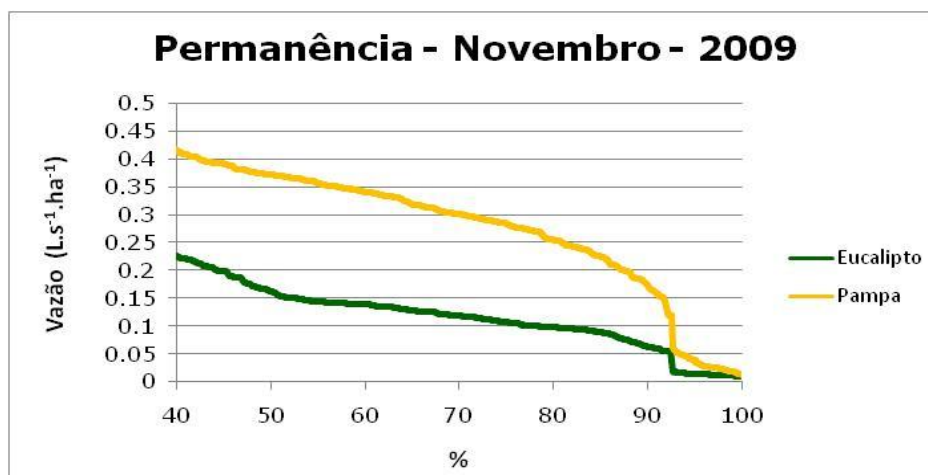


Figura 6.3 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de Novembro de 2009.

No ano de 2010, as chuvas iniciaram acima da média para os primeiros meses, com leve redução em março, mas retornando em quantidade próxima à média histórica em abril, indicando uma recarga subterrânea satisfatória e uma diferença significativa nos escoamentos das duas microbacias. Quando as chuvas

se situaram dentro da média histórica ou acima dela, as vazões em MC tendem a ser superiores em mais de 90% do trecho da curva de permanência.

Nos meses de junho, julho, setembro e novembro, foram observados cruzamentos das curvas nas menores vazões, exatamente nos pontos, $0,015 \text{ L/s.ha}^{-1}$, $0,02 \text{ L/s.ha}^{-1}$, $0,02 \text{ L/s.ha}^{-1}$ e $0,003 \text{ L/s.ha}^{-1}$, respectivamente. Ao final do ano de 2010, se iniciou uma estiagem significativa no RS, com o acumulado de outubro, novembro e dezembro (Figura 6.4), chegando a 79 mm na MC e de 117 mm na MC. Esse fato acabou invertendo as curvas antes dos 40% da permanência no mês de dezembro.

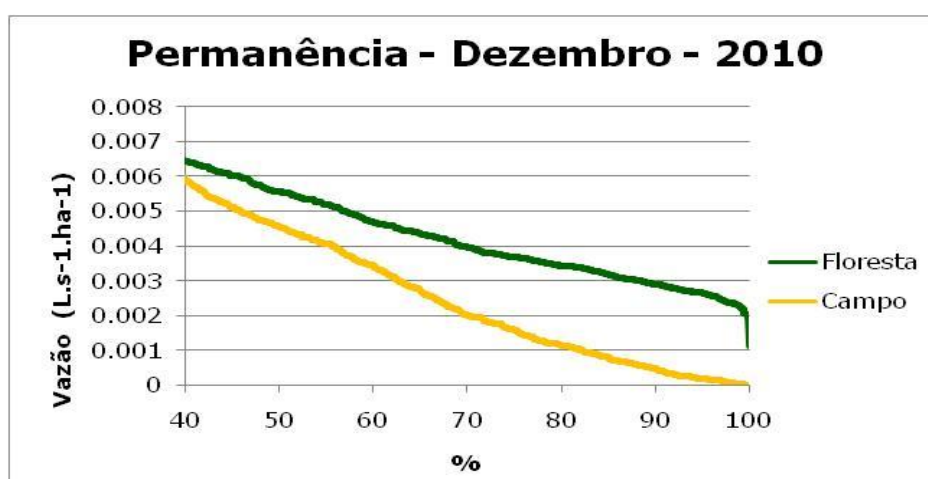


Figura 6.4– Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o mês de dezembro de 2010.

Ou seja, proporcionalmente, a MF forneceu mais água, em pelo menos 60% do tempo, no mês mais seco do ano de 2010, comparada à MC, o que leva ao entendimento de que existe uma maior regularização do regime hidrológico e uma maior disponibilidade hídrica por parte da MF, regida pelo sistema de recarga e descarga diferenciadas.

As maiores diferenças entre as microbacias, provavelmente estariam registradas no período de janeiro à março de 2011 em função da pouca quantidade de chuvas precipitadas. No entanto, os sensores foram furtados na MF, impedindo assim a comparação dos primeiros 3 meses do ano. A partir de abril de 2011, nota-se que, mesmo com as precipitações próximas à media das duas bacias, há predominância quantitativa de escoamento na MF, indicando novamente que, em situações de estiagem, a área com floresta produziu maior quantidade de água

comparativamente ao campo nativo do Pampa. Os sensores instalados na MC registraram vazão zero, durante 107 horas das 720 registradas durante o mês de abril.

Essa maior quantidade de água produzida nas mínimas vazões da permanência em MF pode ser reflexo da regularização do escoamento promovido pela área com floresta, que é bem menos propensa ao escoamento superficial hortoniano e compactação, em comparação ao campo nativo com pastagem. No mês de maio de 2011, o cruzamento das curvas ocorreu apenas nos 53%, com $0,013 \text{ L/s.ha}^{-1}$ da permanência, em virtude das chuvas precipitadas ao final do mês de abril. No entanto, apesar de bem distribuídas, as chuvas no mês de maio foram insuficientes para evitar as mínimas vazões em junho, resultando novamente cruzamento em $0,017 \text{ L/s.ha}^{-1}$.

Em função das baixas taxas de precipitação (inferiores à média histórica da região) desde maio até outubro de 2011, o reflexo nas vazões mínimas foi agravado por coincidir com a elevação das temperaturas médias no estado do RS durante o mês de setembro de 2011, logo, o aumento das taxas evapotranspiratórias da vegetação do Pampa, aliadas a pouca chuva, fizeram o córrego da MC cessar o fluxo de água durante 7 dias, após as curvas se cruzarem em 66% de permanência e $0,027 \text{ L/s.ha}^{-1}$ de vazão.

A secagem do córrego, talvez ocorra em situações bem particulares, quando se aliam diversos fatores que acabam por gerar um efeito em cadeia, como aumento da evapotranspiração, dificuldade de infiltração e estiagens. As duas microbacias registraram vazões inferiores às registradas no mês de setembro de 2011 e, no entanto, não secaram. Esse fato que ocorreu na MC, também pode estar relacionado ao início da estação vegetativa, com alta produção de biomassa no campo, o que gera também um aumento da interceptação e diminuição da recarga subterrânea.

Ao final de setembro e durante o mês de outubro as chuvas voltam a ficar próximas à média. No entanto, como ficaram mal distribuídas nos dias do mês, gerou mínimas vazões com cruzamento das curvas de permanência em $0,01 \text{ L/s.ha}^{-1}$ no mês de novembro de 2011.

Em dezembro, com chuvas de magnitude de 40 mm e 38 mm, para MF e MC respectivamente, registro abaixo da média histórica de 109 mm para a região de

Rosário do Sul, ocasionou novamente o cruzamento das curvas em 70% da permanência das vazões, em aproximadamente $0.008 \text{ L/s.ha}^{-1}$.

Por fim, em 2012, em função da logística de trabalho, só foi possível o registro de informações até o mês de setembro. Nesse período de 9 meses, o que mais chama atenção em toda a sua extensão, é a pouca variação angular dos valores de vazão na MF em relação à MC. Isso indica que, a flutuação das vazões de contribuição subterrânea, possuem uma recessão mais lenta comparada à bacia com vegetação do Pampa, o que significa uma tendência de regularização do regime hidrológico, que conseqüentemente tende a promover maior disponibilidade hídrica em períodos de estiagem ou mínimas vazões.

Em função da pouca chuva precipitada em dezembro de 2011, as conseqüências ficaram registradas na curva de permanência em janeiro de 2012, com cruzamento das curvas próximas aos $0.025 \text{ L/s.ha}^{-1}$ de vazão e 84% da permanência.

Durante os meses subsequentes, apesar da pouca entrada de água no sistema das microbacias, aparentemente não foram registradas vazões no limite de cruzamento entre as curvas (exceção de fevereiro) o que volta a ocorrer a partir do mês de julho de 2012, conseqüência da possível baixa taxa de recarga subterrânea nas bacias. No mês de agosto ocorre o mesmo efeito de comportamento do regime hidrológico das bacias, com cruzamento nos 80% da permanência nas vazões ligeiramente abaixo de $0,02 \text{ L/s.ha}^{-1}$.

Como conseqüência das chuvas abaixo da média histórica desde o mês de fevereiro, novamente o regime hidrológico apresentou situação semelhante ao ano anterior, durante o mês de setembro de 2012, com aumento da biomassa de campo, elevação das temperaturas e conseqüentemente, aumento das taxas evapotranspiratórias, mesmo com vazões não muito baixas, o campo apresentou menor produção hídrica comparada a área com eucaliptos no intervalo de 60% da permanência.

Para a curva total das vazões de 40 a 100% de permanência, registradas em todo o intervalo da pesquisa (Figura 6.5), é possível tirar conclusões a respeito do comportamento do regime hidrológico como um todo, das duas bacias de estudo. Em primeira análise na Figura 6.5, se observa um gradiente entre os 40% e os 100% de permanência para as duas microbacias, sendo que a MC compreende uma variação de $0,065 \text{ L/s.ha}^{-1}$ até 0 L/s.ha^{-1} e a MF apresenta uma variação de $0,025$

L/s.ha⁻¹ até 0,001 L/s.ha⁻¹, valores estes que indicam que a MF possui uma recessão 63% mais lenta do que a MC, para os 40% de permanência. Esse valor também representa a regularização do regime hidrológico na MF que, além disso, não permitiu o estancamento da vazão nos períodos críticos.

Para os 45 meses de informações, pode-se concluir que em média, a microbacia florestada apresentou mais água nos últimos 5% da permanência, que indicam as mínimas vazões das microbacias e esse valor coincidiu com aproximadamente 0,004 L/s.ha⁻¹.

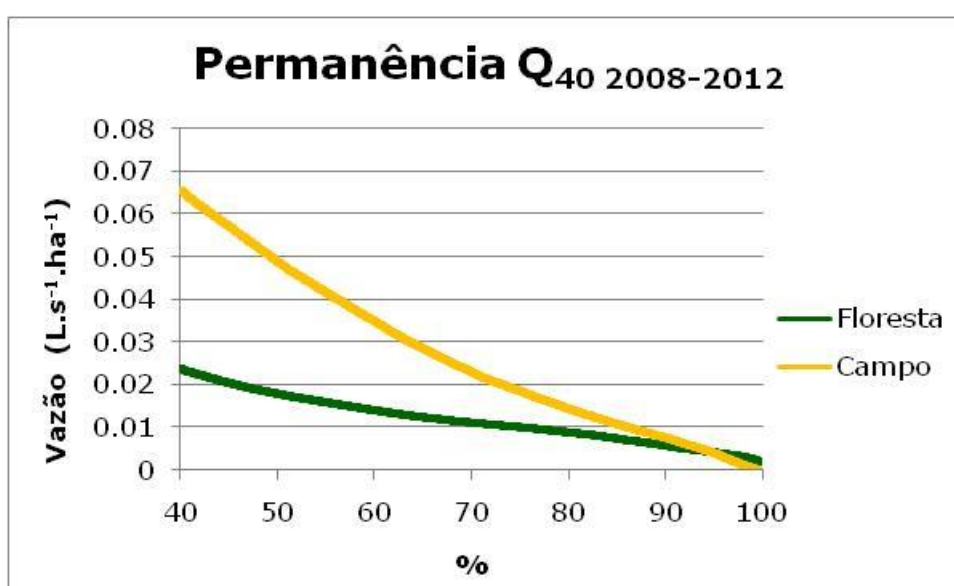


Figura 6.5– Curva de Permanência para o período de 2008 a 2012, no intervalo de 40% a 100% do tempo.

No Quadro 6.1, foram postados os valores globais dos volumes superficiais gerados no escoamento das duas microbacias, para o tempo de 45 meses da análise superficial. Observa-se que o volume escoado pela MF, foi de 697,4 mm (14,7 % de P) e o da MC foi de 1439,65 mm (29,3% de P), perfazendo uma diferença bastante significativa na redução global do escoamento em MF. Essa redução no deflúvio total na MF, levando-se em conta as chuvas locais, foi de aproximadamente 49,8%.

Ao se fazer uma análise mais detalhada, nota-se que nos meses de verão a situação se torna ainda mais problemática pois, observa-se que a somatória dos deflúvios da MF nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março de 2009, chega a apenas 57% do deflúvio da MC. Para os mesmos meses em 2010, essa marca fica

em 31% do deflúvio da MC e quando e por fim, no verão de 2012 o deflúvio registrado foi de apenas 26,5% da MC, uma redução na quantidade de água de quase 4 vezes.

Ano	Mês	MF	MC	Precipitação		Deflúvio		Interceptação		Extrapolou	
		100%	100%	MF	MC	MF	MC	MF	MC	MF	MC
		m ³ /ha	m ³ /ha	mm						%	
2008	Out	589,33	1089,29	374,00		58,93	108,93	163,06	18,70	7,7	0,9
	Nov	184,01	505,68	93,00		18,40	50,57	29,23	4,65	0,4	0,0
	Dez	64,48	143,44	7,00		6,45	14,34	2,23	0,35	0,0	0,0
2009	Jan	54,49	116,11	98,00		5,45	11,61	18,92	4,90	0,0	0,1
	Fev	83,65	165,52	194	211	8,37	16,55	29,03	10,55	0,7	0,5
	Mar	82,24	90,49	44	82	8,22	9,05	3,08	4,10	0,4	0,0
	Abr	26,36	86,22	38	32	2,64	8,62	8,87	1,60	0,0	0,1
	Mai	54,57	180,11	102	113	5,46	18,01	34,05	5,65	0,0	0,0
	Jun	37,99	122,54	25	24	3,80	12,25	7,04	1,20	0,0	0,0
	Jul	41,63	75,43	28	35	4,16	7,54	7,66	1,75	0,0	0,0
	Ago	138,61	157,87	86	100	13,86	15,79	18,55	5,00	0,7	0,0
	Set	493,81	792,47	210	271	49,38	79,25	37,56	13,55	5,4	0,8
	Out	223,27	447,27	113	127	22,33	44,73	16,18	6,35	1,8	0,4
	Nov	826,57	1819,49	576	585	82,66	181,95	82,48	29,25	12,9	4,4
	Dez	407,63	1180,90	203	282	40,76	118,09	29,07	14,10	3,9	1,5
2010	Jan	284,35	960,85	204	238	28,44	96,08	29,21	11,90	2,8	1,1
	Fev	132,34	475,67	196	195	13,23	47,57	28,07	9,75	1,2	0,9
	Mar	37,35	190,75	47	62	3,73	19,08	6,73	3,10	0,1	0,1
	Abr	67,23	198,63	108	131	6,72	19,86	15,47	6,55	0,6	0,1
	Mai	127,51	206,26	109	103	12,75	20,63	15,61	5,15	0,3	0,1
	Jun	99,51	153,76	47	54	9,95	15,38	6,73	2,70	0,6	0,0
	Jul	465,41	603,47	212	225	46,54	60,35	30,36	11,25	5,8	0,4
	Ago	106,16	377,10	27	31	10,62	37,71	3,87	1,55	0,1	0,0
	Set	388,98	700,00	200	178	38,90	70,00	28,64	8,90	4,9	0,4
	Out	44,47	336,48	10	26	4,45	33,65	1,43	1,30	0,0	0,0
	Nov	19,80	66,91	21	22	1,98	6,69	3,01	1,10	0,0	0,0
	Dez	21,85	43,21	48	69	2,19	4,32	6,87	3,45	0,0	0,0
2011	Jan			Falha nos dados							
	Fev			Falha nos dados							
	Mar			Falha nos dados							
	Abr	43,75	101,88	106	119	4,38	10,19	15,18	5,95	0,0	0,1
	Mai	43,85	58,12	70	57	4,39	5,81	10,02	2,85	0,0	0,0
	Jun	99,47	154,74	97	91	9,95	15,47	13,89	4,55	0,0	0,0
	Jul	259,51	299,95	83	83	25,95	29,99	11,89	4,15	2,2	0,0
	Ago	258,85	344,37	88	87	25,88	34,44	12,60	4,35	1,1	0,0
	Set	221,93	240,94	118	100	22,19	24,09	16,90	5,00	2,8	0,1
	Out	239,33	299,03	108	105	23,93	29,90	15,47	5,25	1,5	0,0
2012	Jan	12,16	19,66	5	9,8	1,22	1,97	0,72	0,49	0,0	0,0
	Fev	19,13	65,03	107	78,3	1,91	6,50	15,32	3,92	0,0	0,0
	Mar	13,02	147,80	40	21,9	1,30	14,78	5,73	1,10	0,0	0,0
	Abr	20,59	194,30	79	60	2,06	19,43	11,31	3,00	0,0	0,0
	Mai	31,09	172,68	5	5	3,11	17,27	0,72	0,25	0,0	0,0
	Jun	56,83	244,82	53	47	5,68	24,48	7,59	2,35	0,0	0,1
	Jul	74,11	166,91	72	83	7,41	16,69	10,31	4,15	0,0	0,0
	Ago	104,42	240,52	64	62	10,44	24,05	9,16	3,10	0,0	0,0
Set	267,06	173,56	100	110	26,71	17,36	14,32	5,50	2,8	0,4	
Período		6974,00	14396,53	4733,00	4905,00	697,40	1439,65	851,01	250,15	1,4	0,3

Quadro 6.1– Demonstrativo global das variáveis das microbacias para 100% do tempo de curva de permanência. Com contribuição do escoamento superficial

A curva de permanência Q_5 apresentada na Figura 6.6, apenas serve como elucidação visual das informações apresentadas no Quadro 6.1. A escolha pelos 5% se deu pela melhor apresentação da figura, em função dos altos valores de vazão dos 0 a 5%.

O cruzamento das curvas, da mesma forma que na Figura 6.5, ocorre aos 95% de permanência. A diferença visual entre os volumes registrados, explica a grande diferença encontrada no montante do deflúvio de ambas as microbacias. É possível observar também que a recessão da curva da MC é bem mais acentuada do que em MF, e esta se mostra mais regularizada a partir dos 35% da curva.

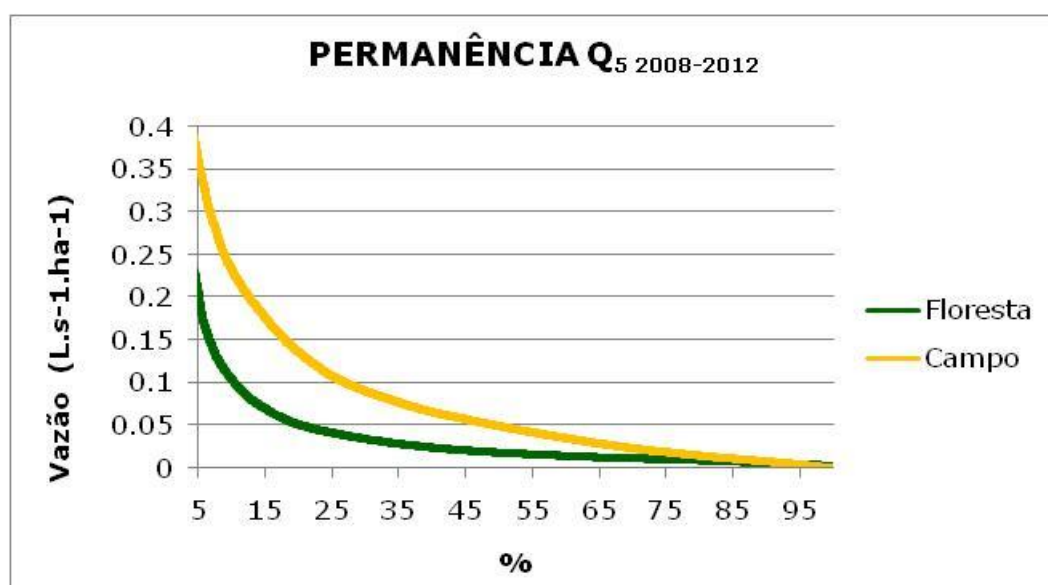


Figura 6.6 – Curva de Permanência para o período de 2008 a 2012, no intervalo de 5% a 100% do tempo.

6.2.1 Análise dos resultados quantitativos superficiais sob o prisma da gestão

Os resultados mostrados nos gráficos que representam as curvas de permanência mensais e para o período integral da pesquisa, mostram uma maior disponibilidade hídrica da MF nas mínimas vazões, quando comparadas ao campo. No entanto, essa análise nos 40% de permanência, serve como aparato de gestão

ambiental e também para diminuir as incertezas a respeito da função hidrológica do eucalipto em pequenas bacias com sazonalidade de precipitação.

O fato da MF, nas médias das vazões, não mostrar tendência em cessar o fluxo hídrico, indica um ganho ambiental na microbacia, em função da manutenção da vida de espécies da fauna e da flora, dependentes do regime hidrológico estabilizado. Por outro lado, na região que circunda o estudo, existem conflitos pelo uso da água, justamente no período do verão, em que as precipitações são mal distribuídas e o deflúvio dos rios locais, é dividido principalmente entre a lavoura orizícola e o abastecimento humano.

Logo, ao se analisar os impactos quantitativos gerados pelo regime hidrológico da bacia florestada, esta traria uma redução global de 49,8% no volume escoado. Ao se analisar apenas o escoamento dos meses considerados secos (verão), em que existem conflitos pelo uso dos recursos hídricos, a situação também não seria muito diferente, pois o escoamento da MF poderia ser reduzido a 1/4 do esperado em uso do solo tradicional do Pampa.

Por outro lado, o fator hidrológico é apenas um dos itens que entram na polêmica do eucalipto. Ao se pensar que se utilizaria uma área de menos de 2% para o cultivo florestal na região da campanha, o impacto poderia ser de pequena escala, talvez imperceptível no quantitativo superficial, podendo ser compensado positivamente em outros seguimentos como a melhoria da qualidade de água dos córregos, economia regional, empregos, etc.

6.3 Água subterrânea

Nesta etapa, serão discutidos os resultados obtidos relativos à recarga subterrânea do aquífero livre ou freático.

6.3.1 Recarga Bruta

Para a execução desta etapa, se utilizou dos conceitos e metodologias apresentadas por Healy e Cook (2002), Pinto et al. (2011) e Maziero (2005). As informações foram tabuladas em planilha eletrônica para que fosse possível obter a

elevação de nível dos piezômetros em metros (Tabela 6.6 e Tabela 6.7). Posteriormente, esses resultados foram multiplicados pelo S_y (rendimento específico, em média 16,62% para a MF e 17,42% para a MC, por Avila (2014)), conforme o método WTF (Healy e Cook 2002) e transformados na unidade de milímetros brutos de elevação.

O termo “bruta” refere-se ao fato da não contabilização das perdas ou saídas no período de tempo da pesquisa. Em ordem de altitude na bacia, do ponto mais alto para o ponto mais baixo, os piezômetros da MF estavam assim postados: poço 02, poço 05, poço 03 e poço 04, ora denominados P1, P2, P3 e P4. Na MC, poço 01 (P1). Essa ordem foi adotada pela empresa de perfuração, conforme a ordem do caminho a ser percorrido na coleta dos dados, conforme Figura 6.7.

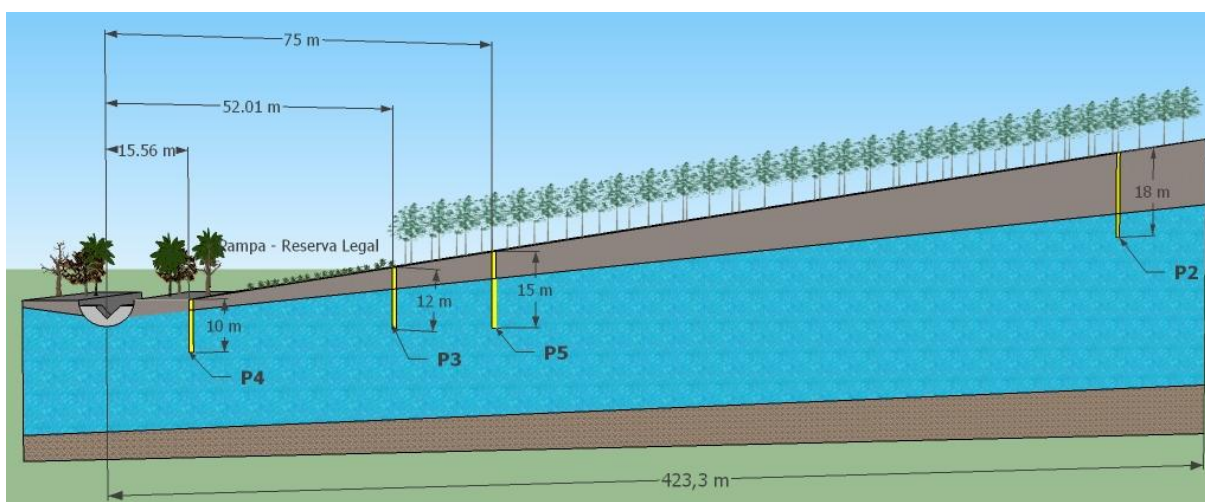


Figura 6.7– Posicionamento dos piezômetros na MF.

Tabela 6.6 – Recarga direta (bruta) do piezômetro 1 – MC

Recarga Direta até o Aquífero Livre - Poço 01				
ΔH (m)	Dias	$S_y\%$	m de elevação/dia	mm de elevação/dia
18.63	1194.6	0.17	0.0027	2.7 mm

Tabela 6.7 – Recarga direta (bruta) dos piezômetros 2, 3, 4 e 5 – MF

Recarga Direta até o Aquífero Livre - Poço 02				
ΔH (m)	Dias	$S_y\%$	m de elevação/dia	mm de elevação/dia
29.66	1194.7	0.166	0.0041	4.1 mm

Recarga Direta até o Aquífero Livre - Poço 03				
ΔH (m)	Dias	Sy%	m de elevação/dia	mm de elevação/dia
13.10	1194.7	0.166	0.0018	1.8 mm
Recarga Direta até o Aquífero Livre - Poço 04				
ΔH (m)	Dias	Sy%	m de elevação/dia	mm de elevação/dia
62.23	1194.7	0.166	0.0087	8.7 mm
Recarga Direta até o Aquífero Livre - Poço 05				
ΔH (m)	Dias	Sy%	m de elevação/dia	mm de elevação/dia
21.97	1194.7	0.1662	0.0031	3.1 mm

Nos dados apresentados, ocorreu uma grande disparidade entre as grandezas de recarga direta. O único poço perfurado na microbacia de campo nativo (P1) apresentou semelhanças na recarga em relação aos valores apresentados no P3, da microbacia florestada, apesar de se diferenciarem na recarga bruta final. Os dois piezômetros possuem profundidades de perfuração semelhantes e durante o período do estudo, obtiveram um nível estático médio de 3,04 m e 3,21m, e recargas diretas médias de 2,7 e 1,8 mm/dia para P1 e P3, respectivamente, no entanto, as diferenças de recarga podem estar relacionadas às diferenças estruturais de solo encontradas por Avila (2014), principalmente nas percentagens de areia entre as microbacias.

A diferença das grandezas de recarga direta entre os piezômetros postados na MF podem estar relacionadas ao tipo de cobertura sob a qual foram perfurados. No estudo de Avila (2014), é apresentada uma malha de testes de infiltração, realizada nas bacias deste estudo, na qual a autora encontrou uma variação significativa nas condições de infiltração em diversos pontos da MF, sendo a área coberta por plantio florestal, aquela que apresenta a maior taxa de infiltração, logo, provavelmente facilitando a recarga.

O P2, foi perfurado na porção superior da bacia, logo, é aquele em que o lençol freático encontra-se mais profundo. Seu nível estático médio foi de aproximadamente 10,72 m da boca do poço e apresentou uma recarga média/dia de 4,1 mm/dia. Este valor elevado vai de encontro dos dados encontrados por Lucas et al. (2012), que entre outras culturas, comparou área com eucaliptos e pastagem em SP. Segundo o autor, os poços perfurados nas áreas com eucaliptos eram os mais profundos, fato este usado com a justificativa das menores taxas de recarga direta

com WTF. No entanto, em P2, apesar de profundo, a recarga foi bastante significativa.

O P4 mostrou comportamento de recarga um pouco diferenciado dos demais, pelo fato de estar mais próximo do curso de água em uma área de depósito de sedimentos aluvionares arenosos, fato este demonstrado já na perfuração do piezômetro, quando ocorreram problemas de desmoronamento por 2 vezes. Este foi o poço que demonstrou as maiores velocidades de recarga, chegando a 1,5 metros em 2 horas, que ao se considerar o S_y , se poderia dizer que a condutividade hidráulica do solo próximo ao P4 é cerca de 12 mm/h.

Os sensores instalados teriam a capacidade de registrar a extrapolação ou afloramento do nível freático até a superfície do poço, no entanto, foi registrado apenas um limite de 0,36 m de profundidade durante um único evento de grande magnitude combinado com a frequência regular de chuvas, convergindo com a hipótese de que seria insignificante a magnitude do escoamento superficial em microbacias florestais.

Esse indicativo de alta permeabilidade do solo (maior percentagem de areia) em P4, aparentemente se repete no entorno do curso de água, na maior parte da microbacia, assim, entende-se que para haver escoamento superficial nos locais próximos ao córrego, em área aberta, as chuvas teriam de ter intensidade de no mínimo 12 mm/h, o que é considerada, aos padrões de classificação, uma “chuva forte” em hidrologia.

Por estar na planície de inundação e pelas características de solo e das matas de galerias no Pampa, o entorno poderia ser classificado conforme Hewlett e Hibbert (1967), no termo “área variável de contribuição ou afluência”, quando a zona ripária, funcionaria como uma espécie de “esponja” e que controlaria o regime hidrológico local. Isso iria ao encontro do estudo de Santos (2009), da mesma forma, que verificou a inexistência de escoamento hortoniano em reflorestamento de Pinus.

Nas Figura 6.8 a Figura 6.12, estão postados os comparativos da distribuição no tempo da recarga direta nos 5 piezômetros, com a vazão e precipitação mensal comparados com o histórico de precipitação de 30 anos para a região.

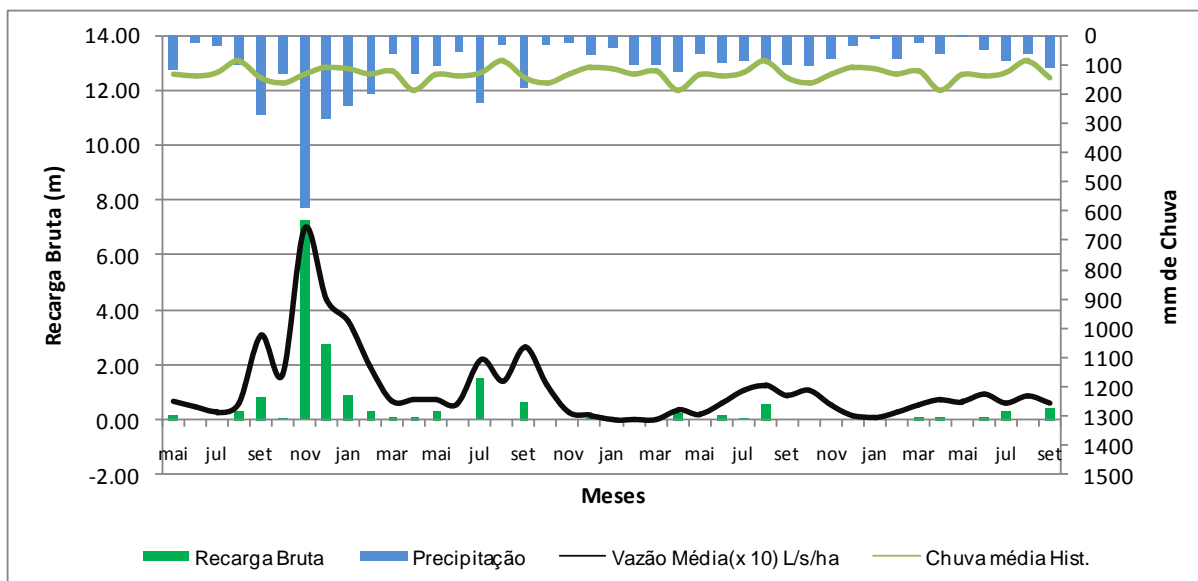


Figura 6.8– Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 01.

Na Figura 6.8, é apresentado o comparativo em P1, sendo possível notar que os picos de recarga, coincidiram com a subida das médias das vazões para a microbacia de campo. Da mesma forma, existe uma tendência de subida das médias das vazões quando as precipitações ultrapassam a média mensal ou se situam na mesma linha. Nos meses de novembro e dezembro de 2009 e janeiro e fevereiro de 2010, ocorreram chuvas acima da média histórica, que fez com que a média das vazões se elevasse. Em suma, é possível observar que as médias de vazão superficial e recarga subterrânea foram diretamente proporcionais no período analisado quando as chuvas foram iguais ou superiores a média histórica.

Na Figura 6.9, (P2) na MF, foi possível notar que a lógica de recarga do piezômetro 01 não se confirmou, o que pode ser justificado em parte pela profundidade do lençol freático em P2.

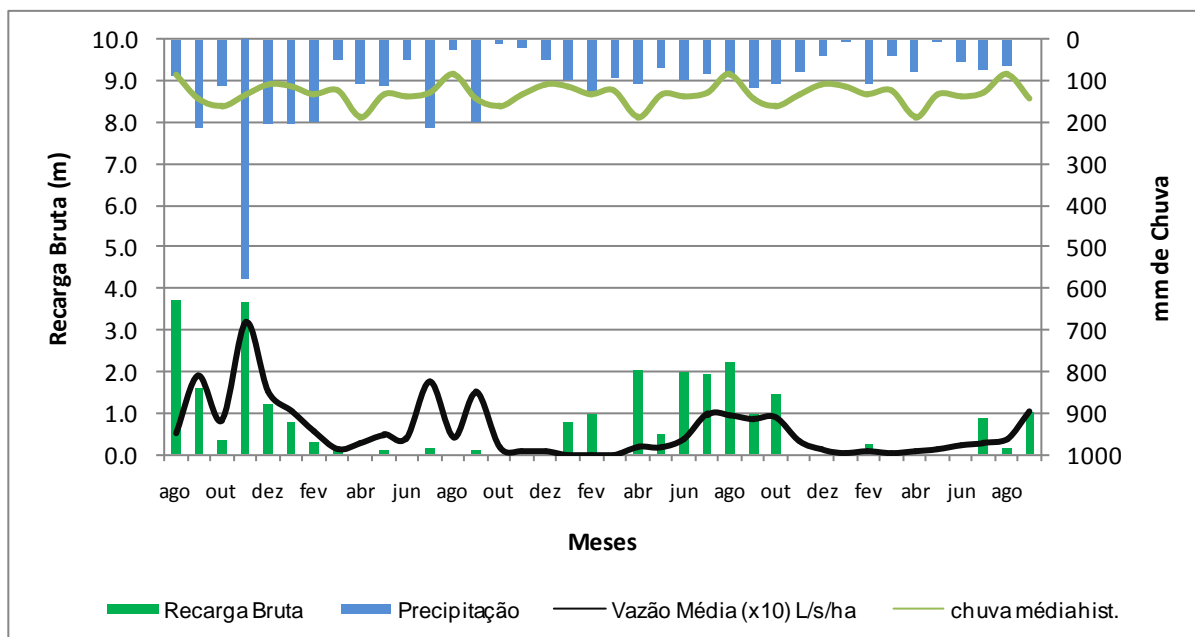


Figura 6.9 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 02.

É possível observar o aumento das médias das vazões para a MF, no entanto, sem subida dos níveis em P2. No entanto, com o retorno das chuvas frequentes, ainda que abaixo da média histórica, é possível notar uma grande elevação do lençol freático. Pela resposta deste piezômetro, entende-se que existem mais alguns fatores que influenciam diretamente na capacidade de recarga, como arquitetura de raízes em regiões com estiagem frequente, bem como a facilitação da infiltração da água.

Ainda em P2, foram encontradas raízes finas, de absorção, do eucalipto à aproximadamente 7 metros de profundidade pela parede do poço, o que leva também a um entendimento sobre a maior produção de raízes, em profundidade, em busca de água, o que facilitaria fisicamente à recarga. No entanto, as médias das vazões superficiais nas duas microbacias foram semelhantes, levando-se ao entendimento que os fatores que determinam o aspecto quantitativo do deflúvio, situam-se mais próximos do córrego, corroborando o conceito de “área variável de contribuição” de Hewlett e Hibbert (1967).

Já no P3, (Figura 6.10), o comportamento foi semelhante ao P1, da MC. Foram gerados picos de recarga gradativamente conforme os eventos de grande magnitude, ou na média histórica. No entanto, as vazões médias do córrego apresentam claramente 3 momentos de aumento da magnitude e nos 2 primeiros é

possível notar o deslocamento simultâneo entre recarga e deflúvio, já no terceiro, existe aumento da vazão, mas não da recarga.

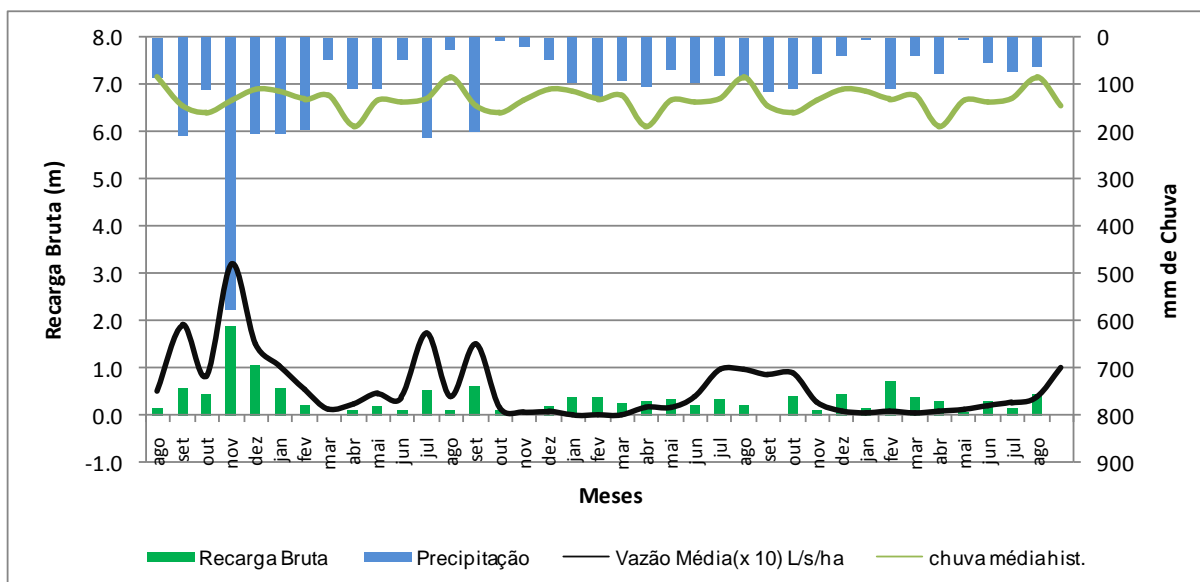


Figura 6.10 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 03.

O fato da não coincidência do aumento dos picos entre recarga e deflúvio em P3, não significa que não há uma resposta direta, pois a representação se dá em valores médios para o deflúvio e somatória para a recarga, no entanto, apesar de abaixo da média histórica, as chuvas foram bem distribuídas e contribuíram para a recarga, quase na mesma velocidade em que se desloca lateralmente do lençol freático para as cotas mais baixas do terreno.

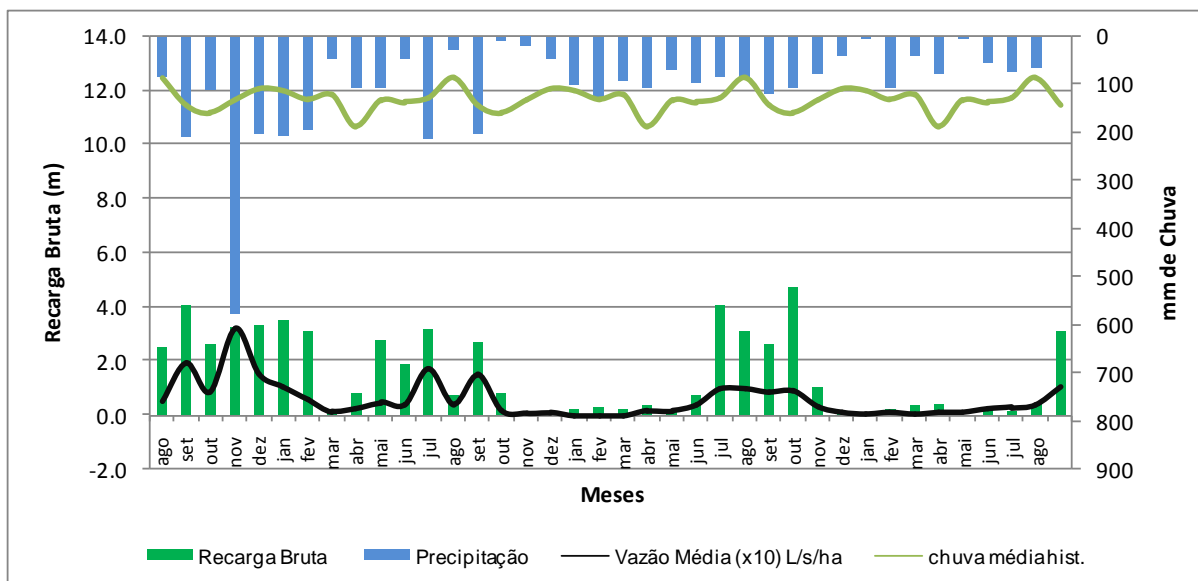


Figura 6.11 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 04.

O P4, (Figura 6.11) apresentou respostas bem diferentes dos demais piezômetros. Claramente, durante os 3 momentos de alta das médias do deflúvio, ocorreram os picos de recarga correspondentes, ainda que as precipitações fossem abaixo da média histórica. Como mencionado anteriormente, a posição do piezômetro 04, e as características construtivas e do solo proveniente da sua perfuração, infere-se que, este pode estar no leito de inundação do córrego.

É possível notar facilmente que, logo após uma precipitação - que gere recarga - o gradiente de nível do P4, é sempre maior do que o seu subsequente, P3, localizado à apenas 36 metros em direção a cota mais alta. Esse fato leva ao entendimento de que existe um trecho lateral que talvez coincida com a zona ripária e possivelmente em grande parte da extensão do córrego, que funcionaria como regulador da sua vazão, recebendo água das cotas superiores e as drenando para os canais. Ainda, é importante mencionar o fato de que, em novembro de 2009 (extremo de 585 mm), não houve afloramento do lençol freático em P4, permanecendo por cerca de 2 horas à no máximo 0,36 m de profundidade.

O P5 (Figura 6.12) foi perfurado distante 72 metros do curso de água e à cerca de 20 m do P3; durante o tempo do estudo P5 mostrou comportamento semelhante à P3, ainda que tenha, quantitativamente, apresentado uma maior recarga direta. Um fator que pode explicar esse fenômeno, reside na sua posição na

microbacia, pois está postado justamente dentro da floresta, diferente do poço 03, localizado na intersecção floresta – APP. O cultivo florestal no local pode auxiliar na abertura de poros e incorporação de matéria orgânica no solo, melhorando a sua capacidade de infiltração.

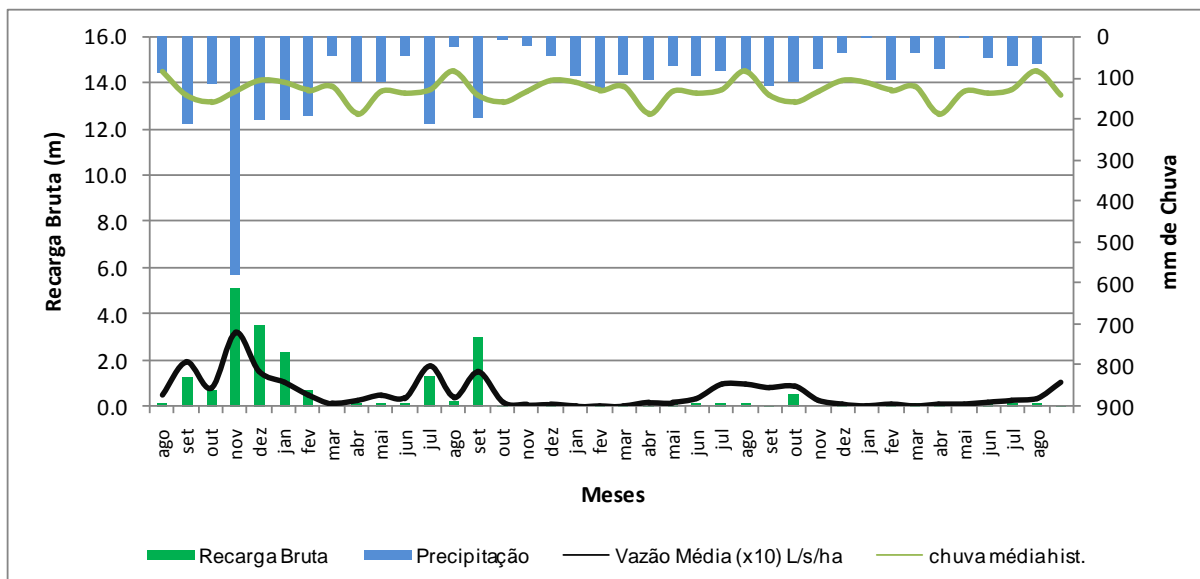


Figura 6.12 – Comparativo de recarga direta com vazão média mensal, com precipitação para o piezômetro 05.

Na Tabela 6.8 foram reunidos os dados extremos, registrados pelos sensores nos piezômetros do estudo. Destas informações, vale destacar a diferença entre os poços da microbacia florestada, visto que o gradiente de nível é reduzido no piezômetro 03 e aumenta em direção às maiores cotas e também em direção ao rio.

O gradiente de nível (menor valor de nível – o maior valor de nível em metros) de P1 foi 2,78 m, P2 foi de 5,94 metros, de 3,06 m para o P5, 1,72 m para P3 e 2,07 m para P4 e estão postados na. No entanto, apesar da variação superior em P2, no somatório final, o poço 4 teve um recarga direta de 62,23 m para o tempo do estudo, enquanto o poço P2, teve um somatório de elevações que totalizou 29,66 m. Ou seja, o P4, é mais sensível às precipitações, resultando em menor gradiente, no entanto, o nível se altera com mais facilidade que nos demais piezômetros, resultando em maior recarga direta.

Tabela 6.8 – Síntese das informações registradas nos piezômetros em relação à boca do poço – 0 m.

	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5
$h_{\text{máx}}$ (m)	3.64	13.32	4.00	2.43	5.61
$h_{\text{mín}}$ (m)	0.86	7.37	2.29	0.36	2.56
$h_{\text{méd}}$ (m)	3.04	10.72	3.21	1.53	4.83
$\Delta h_{\text{máx}}$ (m)	2.78	5.94	1.72	2.07	3.06
Distância ao Cór. (m)	32.30	423.30	52.01	15.56	72.10

6.4 Balanço Hídrico Superficial e Subterrâneo das Microbacias

Para realizar o cálculo do balanço hídrico nas duas microbacias, escolheu-se um intervalo de dados que todos os instrumentos estivessem pareados e em pleno funcionamento. Logo, iniciou-se o cálculo em 01/08/2009 e concluiu-se em 01/09/2012, período esse que se tem informações concomitantes em todos os piezômetros e nas duas estações hidrométricas. Os meses de janeiro, fevereiro e março de 2011, foram excluídos de todos os cálculos do balanço hídrico, em função do furto dos equipamentos da estação hidrométrica da MF, sendo retomada a coleta em 01/04/2011.

6.4.1 Separação de escoamento

Vários são os métodos e filtros propostos para a separação dos escoamentos em bacias hidrográficas. No entanto, pela especificidade do regime hidrológico em pequenas bacias, a simples utilização de qualquer método de separação, deve ser aliada a observação visual do terreno, conhecimento do uso do solo da bacia e informações hidrológicas como chuva, recarga subterrânea e deflúvio, em curto intervalo de tempo.

Em relação ao hidrograma de cheia, foi constatado que o pico normalmente se eleva ao seu ponto máximo entre 2 e 3 horas (observação visual e gráfica) nas duas microbacias (Figura 6.13), dependendo da intensidade da chuva e grau de

saturação que se encontra o solo. No entanto, o período de recessão do hidrograma mostra-se diferenciado na floresta em relação ao campo. Logo, após unir a observação de deflúvio e recarga para separação de escoamento, chegou-se aos valores mostrados na Tabela 6.9.

Na MF, para o escoamento total, somou-se os valores de vazão de hora em hora até o final do estudo. Para o escoamento superficial, buscou-se primeiramente separar graficamente o superficial do subterrâneo de alguns hidrogramas de cheia, unindo-se dois pontos “A” (correspondente ao início do escoamento superficial no hidrograma) e “C” (correspondente ao fim do escoamento superficial, TUCCI, 2009) nos eventos selecionados. Ao se aplicar apenas modelo de separação a todas as elevações do hidrograma, se estaria negligenciando avanços decorrentes do monitoramento hidrológico em pequenas bacias, alcançados por Hewlett e Hibbert (1967), Dunne e Black (1970), Tucci e Clark (1997) e Santos (2009) entre outros.

Pelo fato de, em observações de campo nos eventos de precipitação, tanto com baixas intensidades como elevadas, durante as quais não foi percebido escoamento direto pela superfície e margens do curso de água e considerando o comportamento observado das elevações dos níveis de P04 e a comparação com os níveis do curso de água, sentiu-se a necessidade de se desenvolver um método alternativo para separação de escoamento.

Assim, aplica-se um filtro em planilha eletrônica no qual, por meio da separação gráfica, observou-se uma tendência de intervalo entre duas e três horas entre os pontos A e C que excluiu os picos máximos de 3 horas, daquelas cheias que ultrapassaram 100 L/s, já que em alguns eventos pluviométricos intensos o comportamento de subida da curva se manteve entre 2 e 3 horas para vazões válidas do vertedor (102 L/s) e com recarga constante do P4 sem afloramento do lençol freático.

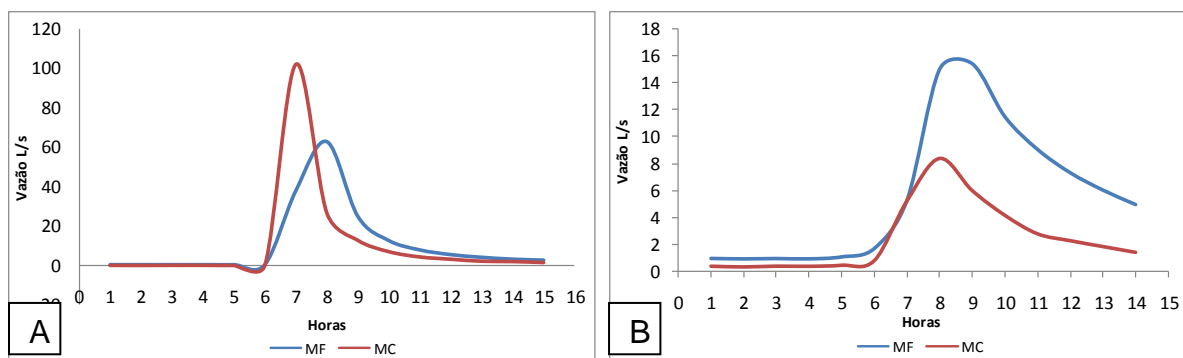


Figura 6.13 – Exemplos de hidrogramas de cheia pareados em MF e MC, em diferentes situações de volume. A – Pico de cheia maior em MC. B – Pico de cheia maior em MF.

Dessa forma, obteve-se como resultado aproximadamente 1% do volume total escoado na MF, cerca de 5,8 mm no período estudado como sendo de escoamento superficial. Dessa forma, considera-se a contribuição subterrânea na MF, em aproximadamente 99%.

Tabela 6.9 – Caracterização dos escoamentos nas microbacias

ago/2009 até set/2012	Microbacia Florestada	%	Microbacia de Campo	%
	mm		mm	
Escoamento total	575.5	15.4	1182.2	30.1
Escoamento Superficial	5.8	0.2	271.8	6.9
Escoamento subterrâneo	569.8	15.3	910.4	23.1
Chuva Total	3730.0	100.0	3934.0	100.0

Para a MC, da mesma forma, fez-se uma ponderação de vários fatores, dentre eles os resultados obtidos da separação gráfica de alguns eventos e observação visual da bacia em eventos de precipitação e comparação do hidrograma com as taxas de recarga, com isso, chegou-se a um filtro que considerou como escoamento superficial, valores de duas horas de cheias acima de 15 L/s, totalizando 23% do escoamento total de 1182 mm. A escolha dos 15 L/s se deu principalmente pela proporção da MC (4,5 x menor o que fomentaria o corte do filtro em 22 L/s) em função da MF e visualização de escoamento superficial em alguns eventos em que a vazão atingiu essa magnitude.

Como resultado mais conclusivo da Tabela 6.9, tem-se que o escoamento total na MF é aproximadamente a metade da MC. Parte dessa água que não virou escoamento na floresta, voltou para a atmosfera sob forma de interceptação. Além

disso, em função do volume de biomassa do eucalipto por metro quadrado, infere-se que, espécies florestais irão utilizar mais água para o seu crescimento, quando comparadas à pastagem ou mesmo ao campo nativo do pampa. O eucalipto, ainda que eficiente no uso da água para produção de biomassa, segundo Novaes (1996), trouxe uma redução de aproximadamente 14.7% de P, no escoamento total da bacia em comparação com o campo.

6.4.2 Balanço hídrico subterrâneo da microbacia florestada

No Quadro 6.2, estão postados os valores obtidos por meio do monitoramento subterrâneo nos piezômetros 2 a 5 da microbacia florestada com eucaliptos. Como precipitação total (P) deste período estudado, tem-se 3730 mm. Ao se utilizar o método Water Table Fluctuation - WTF, proposto por Healy e Cook (2002), obteve-se os valores de recarga bruta ou direta (RB) para cada hora de monitoramento, que posteriormente foram organizados mensalmente no intervalo de tempo requerido para o balanço hídrico. O deflúvio subterrâneo (DSUB), da mesma forma, foi organizado mensalmente, conforme explicado no item anterior e está contido no montante contabilizado como RB. A evapotranspiração das águas subterrâneas (ET SUB) é a resultante de $RB - DSUB$, cuja maior parte deste volume, indica a utilização pela cobertura vegetal florestal via transpiração.

O D_{SUB} , por ser um valor médio mensal, apresentou uma correlação direta com a precipitação, resultando em um r^2 de 0.78, logo, por consequência, a ET SUB também mostrou uma correlação positiva com coeficiente de determinação 0.78. Os valores de ET SUB, são apenas nominais e não indicam um valor preciso da transpiração, no entanto, serve com um excelente parâmetro na contabilização anual ou superior, indicando o quanto de água foi utilizada na zona insaturada, transpiração da vegetação e evaporação superficial do solo.

A magnitude da RB foi de 76,76% da precipitação total, que dividida nos seus dois componentes DSUB e ET SUB, no período de 35 meses, ficou representada em 15,28% e 61,49% de P, respectivamente.

Ano	mês	P	RB	DSUB	ET SUB
		mm	mm	mm	mm
2009	ago	86	21,5	13,7	7,8
2009	set	210	176,0	48,9	127,1
2009	out	113	78,3	22,1	56,2
2009	nov	576	554,8	81,8	473,0
2009	dez	203	300,7	40,4	260,3
2010	jan	204	194,2	28,2	166,0
2010	fev	196	61,3	13,1	48,2
2010	mar	47	6,4	3,7	2,8
2010	abr	108	14,2	6,7	7,5
2010	mai	109	21,5	12,6	8,8
2010	jun	47	12,4	9,9	2,5
2010	jul	212	102,8	46,1	56,7
2010	ago	27	18,6	10,5	8,1
2010	set	200	191,2	38,5	152,7
2010	out	10	8,1	4,4	3,7
2010	nov	21	0,0	2,0	-2,0
2010	dez	48	13,2	2,2	11,0
2011	abr	106	130,9	4,3	126,5
2011	mai	70	49,3	4,3	44,9
2011	jun	97	121,2	9,8	111,4
2011	jul	83	122,7	25,7	97,0
2011	ago	88	135,5	25,6	109,9
2011	set	118	54,9	22,0	32,9
2011	out	108	125,8	23,7	102,1
2011	nov	78	5,1	7,8	-2,6
2011	dez	40	28,3	2,6	25,7
2012	jan	5	9,4	1,2	8,2
2012	fev	107	56,6	1,9	54,7
2012	mar	40	25,2	1,3	24,0
2012	abr	79	23,6	2,0	21,5
2012	mai	5	3,2	3,1	0,1
2012	jun	53	25,4	5,6	19,8
2012	jul	72	61,1	7,3	53,8
2012	ago	64	40,9	10,3	30,5
2012	set	100	69,0	26,4	42,5
Valores totais (mm)		3730	2863,3	569,8	2293,5
Valores totais (%)		100	76,76	15,28	61,49

Quadro 6.2– Balanço hídrico subterrâneo da Microbacia Florestada

6.4.3 Balanço hídrico subterrâneo da microbacia de campo

No Quadro 6.3, estão postados os valores referentes a divisão dos componentes subterrâneos da microbacia de campo nativo do bioma pampa. É importante salientar, que a vegetação que compõe a microbacia é apenas manejada com a criação de gado de corte, alternando com búfalos, nunca portanto, teve alteração por plantio de qualquer cultura.

O componente P, contabilizou um total de 3934 mm, cerca de 204 mm a mais que a MF e a RB registrada foi de 62,4%, logo, em termos de percentagens de P, a redução foi de 14,36% menos água infiltrando na MC, comparado à MF. Esse resultado se deve em parte ao aumento do escoamento superficial devido a compactação pela pecuária e também à maior velocidade de impacto da gota de chuva ao atingir o solo, diferentemente da MF, que conta com as copas, para redução da energia cinética.

As curvas de permanência demonstraram essa diferença de recarga normalmente em períodos de grande estiagem, quando a MC, registrou menores vazões, havendo cruzamento dos eixos da permanência entre a Q_{92} e Q_{95} .

A contribuição subterrânea pro deflúvio foi de 23%, bem acima dos 15,28% de contribuição da microbacia florestada, cujo escoamento superficial quase não ocorre. A magnitude do fator ET SUB é de 39,2%, bem inferior aos 61,5% da MF. Isso indica que, a atividade evapotranspiratória com utilização da água subterrânea é maior na área com floresta, na grandeza de aproximadamente 22,5%.

Ano	mês	P	RB	DSUB	ET SUB
		mm	mm	mm	mm
2009	ago	100	41,80	13,41	28,39
2009	set	271	117,80	58,43	59,37
2009	out	127	10,30	34,15	-23,85
2009	nov	585	1034,42	123,27	911,15
2009	dez	282	393,67	85,99	307,68
2010	jan	238	125,09	67,47	57,62
2010	fev	195	47,66	34,15	13,50
2010	mar	62	11,43	18,22	-6,79
2010	abr	131	13,79	14,95	-1,17
2010	mai	103	45,09	16,56	28,53
2010	jun	54	0,00	13,09	-13,09
2010	jul	225	210,87	42,77	168,10
2010	ago	31	0,00	36,22	-36,22
2010	set	178	93,05	51,41	41,63
2010	out	26	0,00	33,55	-33,55
2010	nov	22	0,00	6,10	-6,10
2010	dez	69	8,76	3,57	5,19
2011	abr	119	31,38	5,37	26,01
2011	mai	57	0,00	5,26	-5,26
2011	jun	91	27,76	12,17	15,59
2011	jul	83	8,08	20,92	-12,84
2011	ago	87	84,51	28,36	56,15
2011	set	100	0,00	15,76	-15,76
2011	out	105	0,00	25,56	-25,56
2011	nov	78	0,00	9,39	-9,39
2011	dez	38	0,00	4,56	-4,56
2012	jan	9,8	0,00	1,97	-1,97
2012	fev	78,3	0,00	5,88	-5,88
2012	mar	21,9	17,76	14,65	3,11
2012	abr	60	16,18	15,97	0,21
2012	mai	5	0,00	17,81	-17,81
2012	jun	47	12,80	22,35	-9,55
2012	jul	83	43,37	15,79	27,58
2012	ago	62	0,00	22,32	-22,32
2012	set	110	58,50	12,98	45,52
Valores totais (mm)		3934,00	2454,07	910,40	1543,67
Valores totais (%)		100	62,4	23,1	39,2

Quadro 6.3 – Balanço hídrico subterrâneo da Microbacia de Campo

6.4.4 Balanço hídrico superficial da microbacia de campo

No Quadro 6.4, foi realizada a última análise a respeito do balanço superficial e a diferença percentual de utilização do recurso hídrico pelos dois tipos de cobertura do solo. Cabe ressaltar que o intervalo de tempo em que transcorreu este estudo, houve um déficit de precipitação de 882 mm em relação à média história da região de Rosário do Sul para a MF e de 678 mm para a MC.

Logo, os potenciais impactos aqui transcritos pelas diferenças numéricas, ocorreram em uma situação em que choveu 19,1% e 14,7% menos do que o esperado na MF e MC, respectivamente. Outro fator relevante, se deve ao fato de que 31,8% (MF) e 34,7% (MC) do total de P, ocorreram entre agosto e dezembro de 2009, logo, a divisão do restante da precipitação ficou sobre os demais 30 meses, até setembro de 2012.

A situação mais extrema foi registrada no intervalo de janeiro e setembro de 2012, nos quais, a somatória da precipitação chegou apenas aos 40,1% para a MC, do esperado para o período.

Como resultado da transformação da precipitação em deflúvio, os registros deram conta de que 30,1% de P escoaram pelo córrego da microbacia. Foi considerada a magnitude de 5% para interceptação média da vegetação nativa, em função da grande variação de biomassa entre as estações do ano e pela dificuldade de monitoramento, logo, a contabilização resultou em 196,7 mm.

A variação no armazenamento subterrâneo (ΔS^{SUB}) foi calculada baseada na diferença dos níveis piezométricos dos primeiros e últimos dias de cada mês do estudo, que ao final, resultou em um valor aproximado de 17,46 mm positivo, ou seja, um ganho no armazenamento ao final dos 35 meses de avaliação. Nota-se que no balanço mensal do armazenamento, as maiores perdas ocorrem nos meses de verão, nos quais as temperaturas elevam a sua média e por consequência, aumenta também as demandas evapotranspiratórias da microbacia.

O valor apresentado no Quadro 6.4, intitulado “TRANS ++”, indica a resultante da soma de entradas e saídas, ou seja, 65,4 % de toda a precipitação está dividida nos componentes transpiração da vegetação, recarga bruta (sem o escoamento subterrâneo, pois já consta no deflúvio somado ao escoamento superficial) e demais

parâmetros não controlados neste estudo, como água retida na zona das raízes, interceptação da serrapilheira, evaporação do solo e do sub-bosque.

Ano	mês	P	D	INTERCEPTAÇÃO	ΔS^{SUBT}	TRANS ++
		mm	mm	mm	mm	mm
2009	ago	100,00	15,79	5	20,5	90,44
2009	set	271,00	79,25	13,55	68,6	128,87
2009	out	127,00	44,73	6,35	-26,6	62,79
2009	nov	585,00	181,95	29,25	159,0	253,13
2009	dez	282,00	118,09	14,1	-65,6	55,07
2010	jan	238,00	96,08	11,9	-18,0	109,28
2010	fev	195,00	47,57	9,75	-20,2	94,81
2010	mar	62,00	19,08	3,1	-56,8	57,21
2010	abr	131,00	19,86	6,55	-2,7	73,84
2010	mai	103,00	20,63	5,15	13,1	76,51
2010	jun	54,00	15,38	2,7	-6,5	50,61
2010	jul	225,00	60,35	11,25	73,2	120,22
2010	ago	31,00	37,71	1,55	-52,9	7,85
2010	set	178,00	70,00	8,9	31,0	99,59
2010	out	26,00	33,65	1,3	-58,5	31,56
2010	nov	22,00	6,69	1,1	-23,9	84,17
2010	dez	69,00	4,32	3,45	-20,2	114,05
2011	abr	119,00	10,19	5,95	22,4	67,64
2011	mai	57,00	5,81	2,85	-6,6	21,32
2011	jun	91,00	15,47	4,55	22,0	41,25
2011	jul	83,00	29,99	4,15	37,0	60,71
2011	ago	87,00	34,44	4,35	-9,2	24,76
2011	set	100,00	24,09	5	-6,8	46,53
2011	out	105,00	29,90	5,25	-1,1	74,98
2011	nov	78,00	14,14	3,9	-29,3	71,03
2011	dez	38,00	4,49	1,9	-22,9	97,50
2012	jan	9,80	1,97	0,49	-28,2	103,16
2012	fev	78,30	6,50	3,915	7,9	109,54
2012	mar	21,90	14,78	1,095	-5,3	67,57
2012	abr	60,00	19,43	3	5,5	53,99
2012	mai	5,00	17,27	0,25	-1,1	37,31
2012	jun	47,00	24,48	2,35	7,1	28,83
2012	jul	83,00	16,69	4,15	-27,9	7,65
2012	ago	62,00	24,05	3,1	-1,4	46,84
2012	set	110,00	17,36	5,5	41,7	101,95
Totais (mm)		3934,00	1182,17	196,70	17,46	2572,59
Totais (%)		100	30,1	5,0	-0,4	65,4

Quadro 6.4 – Balanço hídrico superficial da microbacia de campo.

6.4.5 Balanço hídrico superficial da microbacia florestada

No Quadro 6.5, estão especificados os parâmetros hidrológicos superficiais avaliados na microbacia florestada. A precipitação total no intervalo avaliado foi menor que na MC, como mencionado anteriormente, e o deflúvio foi de 15,43% de P.

Ano	mês	P	D	INTERCEPTAÇÃO	ESC TRONCO	ΔS^{SUBT}	TRANS ++
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
2009	ago	86,00	13,86	18,55	1,89	12,0	81,31
2009	set	210,00	49,38	37,56	4,62	100,3	152,01
2009	out	113,00	22,33	16,18	2,49	-6,2	89,88
2009	nov	576,00	82,66	82,48	12,67	111,1	182,78
2009	dez	203,00	40,76	29,07	4,47	-23,1	106,81
2010	jan	204,00	28,44	29,21	4,49	-28,3	106,52
2010	fev	196,00	13,23	28,07	4,31	-29,3	89,93
2010	mar	47,00	3,73	6,73	1,03	-25,3	103,27
2010	abr	108,00	6,72	15,47	2,38	-24,9	57,31
2010	mai	109,00	12,75	15,61	2,40	12,9	78,27
2010	jun	47,00	9,95	6,73	1,03	3,9	66,79
2010	jul	212,00	46,54	30,36	4,66	34,7	75,75
2010	ago	27,00	10,62	3,87	0,59	-16,4	51,72
2010	set	200,00	38,90	28,64	4,40	2,7	67,30
2010	out	10,00	4,45	1,43	0,22	-33,7	69,76
2010	nov	21,00	1,98	3,01	0,46	-34,9	87,75
2010	dez	48,00	2,19	6,87	1,06	-21,1	130,97
2011	abr	106,00	4,38	15,18	2,33	-16,8	28,98
2011	mai	70,00	4,39	10,02	1,54	48,6	75,34
2011	jun	97,00	9,95	13,89	2,13	17,3	32,77
2011	jul	83,00	25,95	11,89	1,83	21,1	43,01
2011	ago	88,00	25,88	12,60	1,94	53,3	86,56
2011	set	118,00	22,19	16,90	2,60	-2,8	49,82
2011	out	108,00	23,93	15,47	2,38	-13,3	66,88
2011	nov	78,00	7,85	11,17	1,72	-62,8	47,23
2011	dez	40,00	2,67	5,73	0,88	-73,0	62,38
2012	jan	5,00	1,22	0,72	0,11	-70,6	79,93
2012	fev	107,00	1,91	15,32	2,35	-1,7	106,34
2012	mar	40,00	1,30	5,73	0,88	-13,7	66,24
2012	abr	79,00	2,06	11,31	1,74	3,1	52,49
2012	mai	5,00	3,11	0,72	0,11	-10,2	33,44
2012	jun	53,00	5,68	7,59	1,17	11,6	32,81
2012	jul	72,00	7,41	10,31	1,58	24,1	60,88
2012	ago	64,00	10,44	9,16	1,41	13,6	64,67
2012	set	100,00	26,71	14,32	2,20	18,3	81,49
Totais (mm)		3730,00	575,52	547,85	82,06	-19,3	2669,38
Totais (%)		100,00	15,43	14,69	-2,20	0,52	71,57

Quadro 6.5 – Balanço hídrico superficial da microbacia florestada.

Quantitativamente, se observa uma redução de 30,1% de P para 15,43% de P (Quadro 6.4) no deflúvio esperado do Bioma original do Pampa, pela conversão de uso do solo área de cultivo florestal. A magnitude em termos de redução global do deflúvio da MF em relação à MC, com dados dos 45 meses, foi de 49,8%, ou seja, o uso do solo com *Eucalyptus* reduziu o deflúvio quase à metade. Resultados semelhantes foram encontrados em bacias experimentais por Hibbert (1967), Vertessy et al. (2001), Scott e Lesch (1997), Câmara e Lima (1999), Oki (2002) entre outros.

Assim, se mostram importantes os argumentos de Kirchner (2003), o qual diz que o preenchimento das lacunas existentes no conhecimento, principalmente em relação à resposta de pequenas bacias à ocorrência de precipitações e quais os mecanismos que regem o escoamento direto, serão grandes contribuições em bacias experimentais.

Ainda, da mesma forma como ocorre na MC, a grande maioria das precipitações (próximas à 100 mm) geraram escoamentos distintos, variando de poucos milímetros até 30 mm no canal. Esse fato corrobora os argumentos de Kirchner (2003), pois os estudos em microbacias na busca de detalhamento de informações deve ser uma constante, já que temos uma lacuna no conhecimento, principalmente com relação aos modelos de manejo florestal aliados à conservação dos recursos hídricos.

Alguns autores como Lima e Câmara (1999), Oki (2002), Lima (2006), entre outros, afirmam por meio de seus estudos experimentais, que com o passar do tempo o deflúvio da microbacia seria reduzido gradualmente até a estabilidade, que variaria conforme a espécie florestal e tipo de solo. Esse gradiente de redução não foi claramente observado, apesar de os plantios estarem com aproximadamente 7 anos e supostamente prontos para a colheita.

Conforme a Figura 6.14, o que se observa é uma semelhança na característica dos volumes escoamentos da MC e MF, com leve vantagem quantitativa e visual nos volumes da MC nos últimos 7 meses, justamente naqueles em que houve uma precipitação menor que a média histórica. No mês de setembro quando as chuvas voltam à sua normalidade, as curvas de escoamento voltam a ficar próximas.

Outra diferença real a ser considerada é a do armazenamento subterrâneo nas microbacias. O que se observou nos cálculos foi um ganho de 17,43 mm no

ΔS^{sub} da MC e uma perda de 19,3 mm na MF entre 01/08/2009 e 31/09/2012. Assim, a diferença total entre as duas microbacias, ou diferença na recarga líquida, representa 36,73 mm menos água no lençol freático da MF em relação à MC.

Este resultado no armazenamento, não pode ser utilizado como um indicativo de que existe uma tendência ao rebaixamento do lençol freático na microbacia florestada, já que essa pequena diferença entre os valores de recarga está contemplada no erro dos equipamentos de coleta de dados, como os transdutores de pressão, os pluviômetros, etc.

Analisando-se os resultados, observa-se que as maiores perdas da MF, ocorreram entre dezembro de 2009 até abril de 2010 e também de outubro de 2010 a abril de 2011 e por fim de outubro de 2011 a março de 2012. Logo, existe uma tendência de perdas de armazenamento no período seco do RS (meses de verão) que além de serem quentes e aumentarem a demanda evapotranspiratória, são os mais propensos, historicamente, a estiagens.

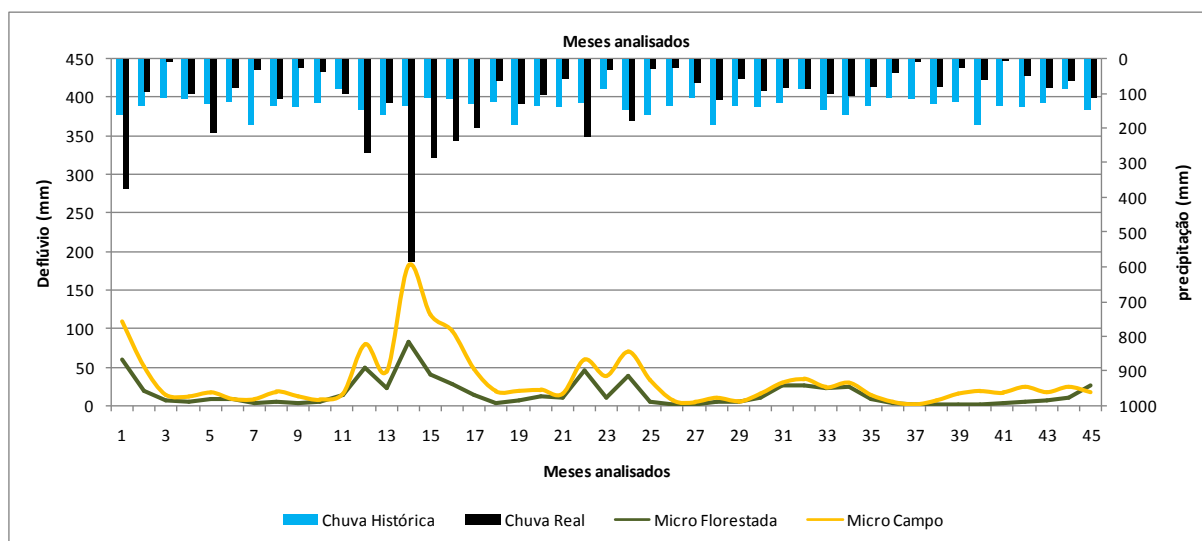


Figura 6.14 – Comparativo do deflúvio em milímetros da MF e MC com as chuvas reais e médias históricas.

Na MF, Consensa (2012), realizou um exaustivo estudo sobre a magnitude do parâmetro interceptação da chuva e escoamento pelo tronco, por meio das espécies de eucaliptos cultivados na área. Os resultados levaram em consideração parâmetros como área foliar, obtida por meio de fotografias das copas, além da instalação de uma série de interceptômetros considerando posições diferenciadas sob às copas, como entrelinhas, entre-copas, espaços vazios e sob a copa. Logo,

baseado no estudo da autora, se chegou à valores médios de interceptação, muito próximos aos valores reais.

Os valores de interceptação da copa apresentados no Quadro 6.5, já contemplam a ponderação de área das espécies presentes na área, sendo a maioria composta de *Eucalyptus grandis*, juntamente com a proporção de cultivo florestal e APPs+Reserva na bacia, ou seja, é o valor médio de interceptação da microbacia. Como grandeza, esse parâmetro representa 14,69% da precipitação total.

Da mesma forma, o parâmetro escoamento pelo tronco – ESC TRONCO, é um dado médio das duas espécies de *Eucalyptus* presentes na área, também contemplado no estudo de Consensa (2012) e que vão ao encontro dos dados apresentados em Lima (2008). O total de entrada de água via ESC TRONCO foi de 82 mm, perfazendo 2,2% na precipitação total na microbacia.

Por fim, a coluna de TRANS⁺⁺, possui uma grandeza de 71,57% de P. Aparentemente este valor não está muito distante dos 65,4 % na MC, no entanto, este resultado deve ser melhor analisado em conjunto com a flutuação subterrânea.

Logo, na Figura 6.15 e Figura 6.16, foi esquematizada uma síntese para comparação hidrológica das duas bacias.

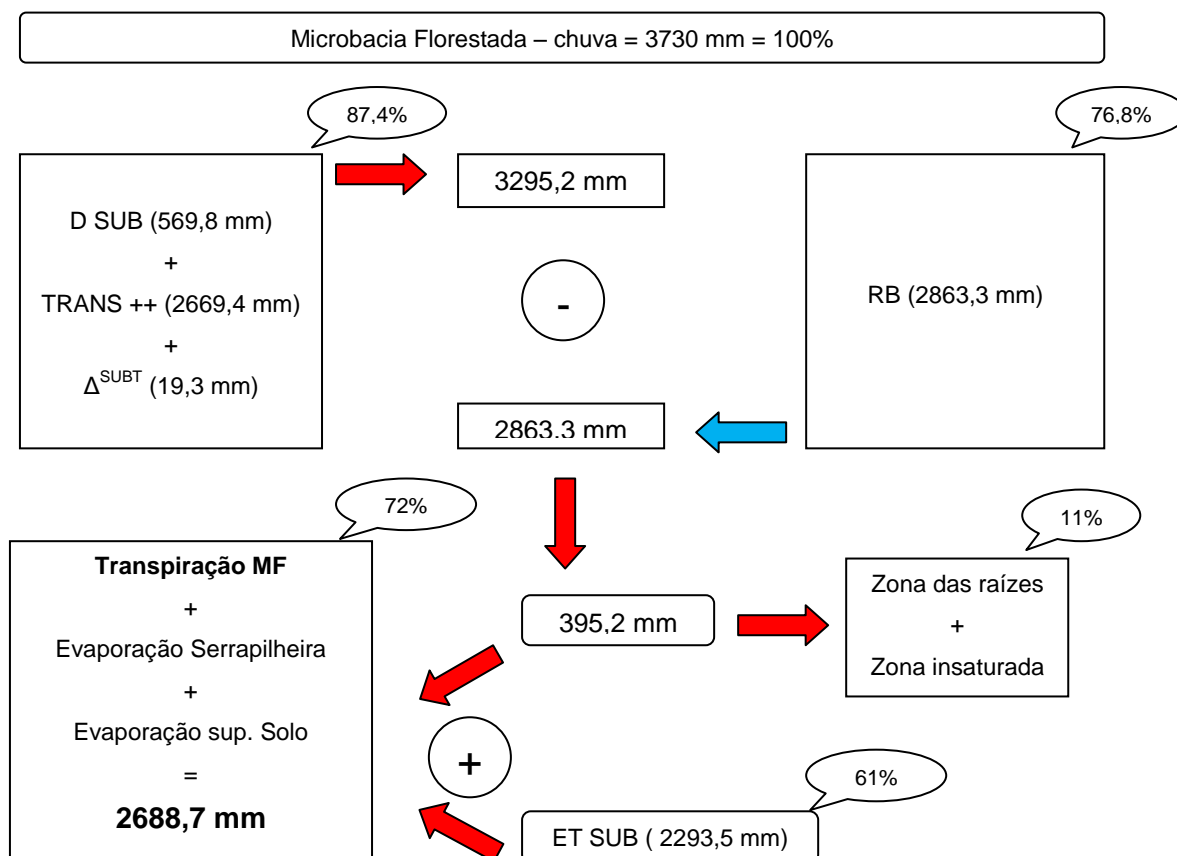


Figura 6.15 - Esquema superficial x subterrâneo no balanço hídrico da MF.

Na Figura 6.15, foi organizado um esquema ilustrativo para melhorar o entendimento da grandeza dos processos que ocorrem na fase superficial e subterrânea da microbacia florestada – MF. Com isso é possível notar que uma parte da água contabilizada no balanço hídrico superficial não foi detectada na Recarga direta. Logo, entende-se que essa fração de entrada, ficou retida na zona das raízes e/ou retida nos microporos da zona insaturada, totalizando 11% de P.

Como parte desses 11% também pode ter sido utilizado na transpiração da vegetação da MF, ele foi somado ao valor de ET SUB retirado do balanço hídrico subterrâneo, como sendo aquela água que entrou via recarga direta e descontado o escoamento subterrâneo, tem seu valor como resultado. Essa soma resultou em 2688,7 mm, aproximadamente 72% de P.

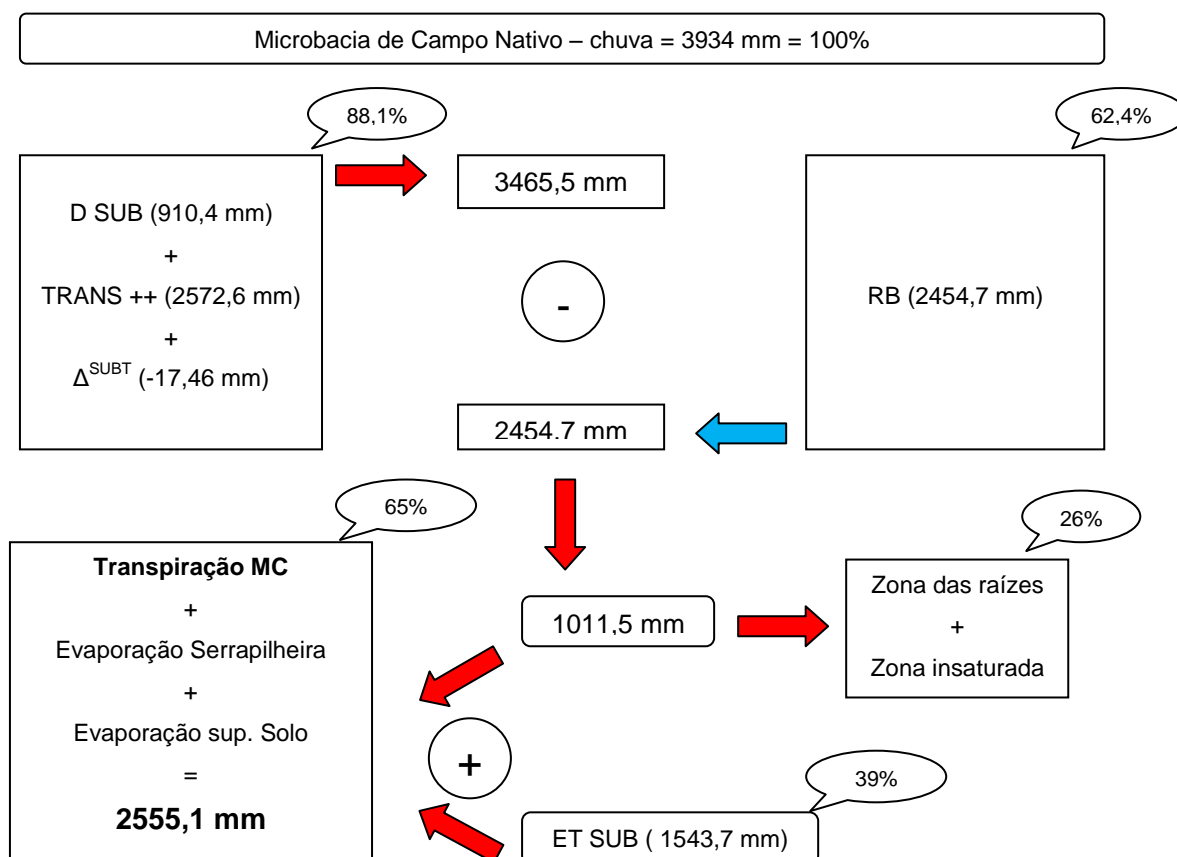


Figura 6.16 - Esquema superficial x subterrâneo no balanço hídrico da MC.

Na Figura 6.16 está apresentado o esquema ilustrativo do balanço hídrico da MC. Parte da água superficial detectada no balanço hídrico superficial da MC, não foi detectada na recarga direta, da mesma forma como ocorreu na MF. Essa fração foi bastante elevada, cerca de 26% de P, não havendo justificativa aparente para o

valor, diferente daquelas mencionadas para a MF. A evapotranspiração das águas subterrâneas somou o montante de 39% de P, que somada aos 26% restantes, resulta nos 65%, os quais indicam a transpiração da microbacia de campo, somadas outras evaporações como a da serrapilheira e evaporação do solo.

Uma das discussões muito frequentemente debatidas a respeito do eucalipto, seria sua alta capacidade evapotranspiratória, que supostamente seria muito superior ao de outras espécies florestais. É de suma importância que a análise seja construída no âmbito da microbacia hidrográfica e tomar o cuidado para não dividir os registros como se 100% da bacia estivesse plantado com eucalipto. Os plantios comerciais de celulose no RS, seguem um rigor técnico cuja área efetivamente cultivada, chamado “aproveitamento”, varia entre 45 e 60% de uma fazenda, por exemplo (Stora Enso Florestal RS, s/d).

Este estudo apresentou valores não muito divergentes em relação ao conjunto do balanço hídrico superficial e subterrâneo para as duas microbacias. Para fins de comparação, 7% de P, foi o excedente da demanda transpiratória da microbacia com eucalipto, comparada à microbacia de campo nativo.

Como mais uma informação adicional, é possível saber o intervalo de consumo de água de 1 planta de eucalipto por dia, a considerar os seguintes critérios:

- a) Válido para o espaço vital de 6 m²
- b) Interceptação de 14,7%.
- c) Plantios com APP + Reserva legal em formato de corredores ecológicos.
- d) Válidos para transpiração MF + evaporação/serrapilheira + evaporação/solo
- e) Dados obtidos em 35 meses de avaliação

Logo, com o valor do conjunto relativo ao item d) obtido da Figura 6.15, tem-se:

- 2688,7 mm/35 meses
- 76,82 mm/mês
- 2,56 mm/dia

Sendo assim, 2,56 mm equivale a 2,56 L/m² de somatória do item d) para toda a bacia florestada. Considerando-se um espaço vital médio de 6 m² por planta de eucalipto na bacia, tem-se que 2,56 * 6 = 15,36 Litros/dia de água transpirada no espaço vital de um eucalipto na MF.

Se o cálculo levar em consideração a interceptação média ponderada da bacia florestada, 14,7% de P, os valores ficariam ajustados com um acréscimo na transpiração diária, da seguinte forma:

- 547,85 mm/35 meses – Quadro 6.5
- 15,6 mm/mês
- 0,52 mm/dia ou 0,52 L/m²

Logo, somando-se ao item anterior tem-se que:

$15,36 \text{ L/dia} + (0,52 \cdot 6) = 15,36 + 3,1 \approx 18,5 \text{ L/dia}$ de evapotranspiração média diária por 6m² na MF, em espaço equivalente a 1 planta de eucalipto.

7 CONCLUSÕES

A substituição da vegetação nativa do Bioma Pampa, anteriormente utilizada para pecuária extensiva, pelo cultivo de eucalipto (celulose) para o tempo de 45 meses de análise, resultou em uma redução média de 49,8% no deflúvio da microbacia florestada (MF) em relação ao deflúvio da microbacia testemunha de campo (MC).

Na análise das curvas de permanência, se observou uma maior regularização do regime hidrológico na MF em relação à MC. Essa regularização também surtiu efeito sobre a disponibilidade hídrica em MF, pois ainda que em mínimas vazões o deflúvio não foi interrompido nos períodos de estiagem. Como efeitos da regularização, pode-se citar a diminuição dos picos de vazão durante os eventos de precipitação, evitando assim erosão nos taludes e mantendo a qualidade da água. A MC cessou o fluxo de água durante os dias mais secos do ano.

No entanto, nos verões de 2009, 2010 e 2012, apesar da MF não ter interrompido o fluxo de água, também houve redução no deflúvio na ordem de 43%, 69% e 73,5%, respectivamente, indicando que, nos meses em que as chuvas acumulam volumes menores que as médias históricas, apesar de perene, a vazão do córrego da MF diminui.

O fato da MF, nas médias das vazões, não mostrar tendência em cessar o fluxo hídrico, indica um ganho ambiental na microbacia, em função da manutenção da vida de espécies da fauna e da flora, dependentes do regime hidrológico estabilizado. Por outro lado, na região que circunda o estudo, existem conflitos pelo uso da água, justamente no período do verão, em que as precipitações são mal distribuídas e o deflúvio dos rios locais, é dividido principalmente entre a lavoura orizícola e o abastecimento humano, sendo essencial, a água em quantidade.

Em relação à recarga direta de água subterrânea ou recarga bruta - RB, para o período de agosto de 2009 até setembro de 2012, em função da subsolagem para plantio, melhoria das condições de infiltração por meio das raízes, diminuição da velocidade de impacto da gota de chuva, a MF apresentou uma Recarga maior que a MC.

A redução de entrada de água via precipitação, ficou reduzida em 14,69% na microbacia florestada, em função da interceptação da chuva pelas copas e ramos. Por meio do balanço hídrico conjugado entre parte subterrânea e superficial, chegou-se aos valores aproximados para transpiração mensal e total de cada microbacia. Para a MF, após concluída a contabilidade de entradas e saídas do sistema, restou um total de 72% da precipitação, que indica o somatório entre a transpiração da biomassa da bacia, evaporação da serrapilheira e evaporação direta do solo. Para a MC, o total foi de 65% da precipitação.

A diferença final entre as duas microbacias foi de aproximadamente 7% no balanço da evapotranspiração, indicando ser essa a diferença em função do tipo de uso do solo. Ainda como resultado do balanço hídrico, obteve-se a diferença de armazenamento subterrâneo- ΔS^{SUB} do início até o final do período de análise (ago/2009 a set/2012) entre as duas microbacias. Os resultados mostraram uma diferença de 36,73 mm entre as duas bacias (menor na MF), o que não representa efetivamente um rebaixamento do lençol freático, já que o somatório das probabilidades dos erros de dos dados, são superiores a esta diferença. Logo, infere-se que no período analisado não houve propensão ao rebaixamento do lençol freático em função do cultivo florestal com eucaliptos na área.

Para as condições em que a pesquisa foi realizada, com eucaliptos para celulose no Bioma Pampa, com sistema de APP+Reserva Legal em formato de corredores ecológicos e para área média útil de uma árvore de eucalipto adulta, chegou-se ao valor de 15,36 Litros/dia de água transpirada em um espaço vital de 6 m² para a idade atual de aproximadamente 7 anos do plantio. Ao se contabilizar o parâmetro interceptação ponderada, esse valor fica em aproximadamente 18,5 L/água/dia de evapotranspiração na MF.

Por fim, como foi possível identificar características diferentes nos escoamentos das microbacias em função dos diferentes usos do solo, é possível então, estudar cenários dos usos em diferentes gradientes de ocupação na área, como para estudos de impactos no regime hidrológico em função da mudança de uso do solo.

8 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos e da experiência obtida com a pesquisa e seus métodos, estabeleceu-se algumas recomendações pertinentes.

- Para investigações futuras que busquem informações cujas respostas sejam rápidas da bacia, como por exemplo, o tempo de concentração, recomenda-se que se diminua o tempo total de coleta e aumente a frequência diária de coleta para entre 5 e 10 minutos em função das características físicas da microbacia.
- Estudar qual a possível diminuição quantitativa do escoamento de base com o crescimento da floresta na MF. Essa informação pode ser obtida por meio de modelos aplicados aos dados horários da microbacia florestada.
- Estudar a relação de conectividade precisa rio x aquífero por meio da confecção de pequenos piezômetros ao longo das vertentes, correlacionando os níveis subterrâneos com os níveis superficiais.
- Simular situações de taxa de corte na MF com o retorno do deflúvio na bacia, a fim de evitar possíveis problemas hidrológicos oriundos do corte raso da floresta.
- Detalhar a interceptação do campo nativo no Pampa, com diferentes intensidades de precipitação e estações do ano.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Propriedades dos aquíferos**. 2011. Disponível em: <http://www.abas.org/abasinforma/122/paginas/22.htm>. Acesso em: 14 de Fev de 2012.

AG SOLVE – Monitoramento Ambiental. Disponível em: <http://www.agsolve.com.br>. Acesso em 05 dez. 2009.

AGEFLOR - **Associação Gaúcha de Empresas Florestais**. Disponível em: <<http://www. Ageflor.com.br>>. Acesso em: 19 nov. 2007.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ANDRADE, E. N. **O reflorestamento do Brasil e a Companhia Paulista de Estradas de Ferro**. Rio Claro, SP: Typographia Conrado, 1922.

ANDRESSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**. V. 291: p. 1-27. 2004.

ANESI, S. A. O “Nó” do Eucalipto: A sustentabilidade da silvicultura na Metade Sul. In: I SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA DO SUL: O EUCALIPTO E O CICLO HIDROLÓGICO. 2007, Taubaté, SP. **Anais...** Taubaté: IPABHi, 2007. 1 CD-ROM.

Aracruz Celulose – **Sem terras Encapuzados Fazem Vandalismo no RS**. Disponível em: <http://www.aracruz.com.br/show_pressdo?act=news&id=1000105&lang=1>. Acesso em: 07 Out. 2009.

ARANTES, E. J. **Emprego de infiltrômetros na caracterização da interação entre rio e aquífero**. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar**. 1996. 130 f. Dissertação

(Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, SP, 1996.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Revista Instituto Florestal de São Paulo**, v. 9, n. 2, p. 153-170, 1997.

ARTHUR, M. A.; COLTHARP, G. B.; BROWN, D. L. Effects of best management practices on forest streamwater quality in eastern Kentucky. **J. Am. Water Resources**. V. 34, 1998, 481–495.

AVILA, C. B. **Variação da infiltração devido a alterações de uso do solo: estudo de caso de implantação de floresta em Bioma Pampa**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

AZEVEDO, E. C. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e *Eucalyptus grandis***. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, 1995, 91 p.

AZEVEDO, F. B. Análise de medições de vazão e definição de curva-chave. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, v. 2, p. 48-51, 1994.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BARRETO, C. E. A. G.; WENDLAND, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da Evapotranspiração a partir de variação de nível estático de aquífero. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.1, p. 52-61, 2009.

BAUMHARDT, E. et al. Intensidade de Amostragem de Interceptômetros em Microbacia Florestada para Validação de Dados de Interceptação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande, MS. **Anais...**, Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. 1 CD ROM.

BDMEP/ INMET - **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa** – Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 03 jan. 2014;

BEEKMAN, H. E.; GIESKE, A.; SELAULO, E. T. (GRES: Groundwater Recharge Studies in Botswana 1987-1996. **Botswana J. of Earth Science**, Vol. III, 1996. 117p.

BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**. v 55, p. 2-23. 1982.

BRACELPA – Associação Brasileira de Papel e Celulose, 2009. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/booklet/booklet.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2009.

BRASIL. **ABNT/NBR 12.212**. Poço tubular – Projeto de poço tubular para captação de água subterrânea. 2006.

BRASIL. **ABNT/NBR 12.244**. Poço tubular – Construção de poço tubular para captação de água subterrânea. 2006.

BRASIL. **ABNT/NBR 6.457**. Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. 1986.

BRASIL. **ABNT/NBR 7.181**. Solo – Análise Granulométrica – Método de Ensaio. 1984.

BRASIL. Lei n. 11.428, de 22 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, dez. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato20042006/2006/Lei/L11428.htm>. Acesso em: 08 jan. 2010.

BRASIL. Lei n. 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jan, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS /L9433.htm>. Acesso em: 07 out. 2009.

BRASIL/CPRM, 2008. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br>>. Acesso: 10 maio 2010.

BREDENKAMP, D. B.; BOTHA, L. J.; Van TONDER, G. J.; Van RENSBURG, H.J. Manual on Quantitative Estimation of Groundwater Recharge and Aquifer Storativity. **Water Research Commission**, Pretoria. 1995.

CMMAD. **Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: Ed. da FGV, 1988.

BUCKUP, L. A **Monocultura com eucaliptos e a sustentabilidade**. Porto Alegre, RS, 2006. Disponível em: <<http://www.natbrasil.org.br>>. Acesso em: 12 set. 2007.

BURCH, G. J.; BATH RK, MOORE, I. D.; O'LOUGHLIN, E. M. Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in south-eastern Australia. **Journal of Hydrology**, v. 90, p. 19-42, 1987.

BURKART, A. Evolution of grasses and grasslands in South America. **Táxon**, p. 53-66. 1975.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P.G. **Growth and Water Use of Forest Plantations**, Chichester: John-Wiley, 1992. 381 p.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; PRASANNA, K. T. Hydrological impact of Eucalyptus plantation in India. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2/4, p. 635 - 648, Oct. 1993.

CÂMARA, C. D.; LIMA, W. P. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balanço hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis**, v. 56, p. 41-58, 1999.

CARLESSO R.; ZIMMERMANN F. L. (). **Água no Solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. ed. UFSM, Santa Maria – RS, 2000 88p.

CASTANY, G. **Traité pratique des eaux souterraines**. 2. ed. Paris: Dunod, 1967. 661 p.

CEY, E.E.; RUDOLPH, D.L.; PARKIN, G.W.; AVARENA, R. Quantifying groundwater discharge to a small perennial stream in Southern Ontario, Canada. **Journal of Hydrology**, v. 210, 1998, p.21-37.

CHAFFE, P. L. B. **Monitoramento e modelagem do processo chuva-vazão de uma pequena bacia florestal com ênfase em interceptação**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CLEARY, R. W. **Hidrologia de águas subterrâneas**. In: Engenharia Hidrológica. Ramos et al. Rio de Janeiro: ABRH: UFRJ. 1989. 404 P.

COLLISCHONN W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia**. Porto Alegre: UFRGS: IPH, 2008. 151 p.

CONSENSA, C. B. **precipitação pluviométrica e interna em povoadamentos de *Eucalyptus spp* em Rosário do Sul, RS**. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, RS, 2012.

COSSALTER, C.; PYE-SMITH, C. **Fast-wood forestry: myths and realities**. Jakarta: Forest Perspectives: CIFOR, 2003.

CPRH N 2004. **Medição de vazão de efluentes líquidos**: escoamento Livre. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/normas-cprh-2004.pdf>> Acesso em: nov. 2008.

CREA-RS. **Conselho em Revista**. Disponível em: <<http://saturno.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/35/capa.asp>> Acesso em: 21 nov. 2007.

CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. **Avaliação quali-quantitativa das disponibilidades e demandas de água na bacia hidrográfica do Baixo Jacuí**. Porto Alegre, RS: Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SOPSH): Fundo de Investimentos em Recursos Hídricos, 1999. (Relatório técnico).

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga**: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. (Jan/Mar). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 111-124, 2008.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología Subterránea**. 2ª ed., v. 2. Barcelona: Omega, D. L. 1996.

DAMBRÓS, C. **Recarga e Flutuação no nível da água subterrânea em sub-bacias com floresta e campo nativo**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2011.

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 2009.

DEWALLE, D. R.; PIONKE, H. B. Streamflow generation on a small agricultural catchment during autumn recharge. II: Stormflow periods, **Journal of hydrology**, v. 163, n. 1-2, , p. 23-42. 1994.

DUNNE, T.; BLACK, R. D. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. *Water Resources. Res.*, v.6, n.2, , p.478- 490. 1970.

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..

ESPÍRITO SANTO. Lei n. 6.780, de 3 de outubro de 2001. Proíbe, por tempo indeterminado, o plantio de eucalipto para fins de produção de celulose no Estado e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**, Espírito Santo, ES, 4 de out. 2001. Disponível em: < <http://www.ibase.org.br /paginas/deserto.html>>. Acesso em: 09 jan. 2008.

FARLEY, K. A.; JOBBAGY, E. G.; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: A global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1565 - 1576, 2005.

FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. . 116, n. 4, p. 530-549.1990.

FERNÁNDEZ, E. D.; ROJAS, A. F. G. T.; HUERTA, Y. C.; CHÁVEZ, A. G. T.; CASTRO, H. Z. **Análisis comparativo sobre la interceptación pluvial entre hojarasca de pino, encino y pastizal utilizando un simulador de lluvia en la cuenca hidrográfica de cointzio, Michoacán**. Disponível em: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales /docs/memorias/Extenso/CB/EO/CBO-02.pdf. Acesso em: 10 jan. 2014.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62. 2005.

FETTER, C.W. **Applied Hydrogeology**. Macmillan: New York, 3 ed., 1994. 691 p.

FILHO, A. T. Eucaliptais. Qual o Rio Grande do Sul que queremos? Pelotas. Editado pelos autores. 2008. 471 p.

FORTES, A. B. **Geografia física do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Globo, 1959.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979, 604p.

GARCEZ, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: E. Blucher, 1976. 249 p.

GARCIA, S. M.; RIGHES, A. A. Vertical Mulching e manejo da água em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 833 - 842. 2008.

GÊNOVA, K. B. de; HONDA, E. A.; DURIGAN, G. Processos Hidrológicos em Diferentes Modelos de Plantio de Restauração de Mata Ciliar na Região de Cerrado. **Revista do Instituto Florestal**, 2007.

GERHART, J.M. Ground-water recharge and its effect on nitrate concentrations beneath a manured field site in Pennsylvania. **Ground Water**, v. 24, 1986, p.483–389.

GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M.; Interceptação da chuva: uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **RBRH**. V. 18, n. 2, p. 297 – 317, 2013.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. 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.

GONÇALVES, J. A. C.; SCUDINO, P. C. B.; SOBREIRA, F. G. **Reservas renováveis e caracterização dos aquíferos fissurais do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e adjacências**. *Geol. USP, Sér. cient.* [online]. 2005, vol.5, n.1, pp. 19-27. ISSN 1519-874X.

GREGORY, K. J.; WALLING, D. E. **Drainage Basin Form and Process: a geomorphological approach**. [S.l.]: J. Wiley and Sons, 1973. 456 p.

HALL, D.W.; RISSER, D.W. (1993). Effects of agricultural nutrient management on nitrogen fate and transport in Lancaster county, Pennsylvania. **Water Resources**, v. 29, p. 55–76.

HARRIS, N. M. et al. Classification of river regimes: a context for hydroecology. In: **Hydrological Processes**. [S.l.]: J. Wiley & Sons, Ltd, 2000. v. 14, p. 2831-2848.

HASENACK H.; CORDEIRO J.L.P.; COSTA B.S.C.. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 2., 2007, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS - Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia, 2007. p.15-22.

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.

HEALY, R. W.; COOK, P. G. Using groundwater levels to estimate recharge. **Hydrogeology Journal**, 10, DOI 10.1007/s10040-001-0178-0. 2002, p. 91-109.

HEATH, R. C. **Hidrologia básica de água subterrânea**. Geological United States Geological Survey Water Supply Paper 2220. 1983. 84 p.

HEWLETT, J.D.; HIBBERT, A.R. Increases in water yield after several types of forest cutting. **Quart. Bull. Int. Assoc. Sci. Hydrol.**, v.6, n.3, p. 5-17, 1961.

HEWLETT, J. D.; LULL, H. W.; REINHART, K.G. In defense of experimental watersheds. **Water Resour. Res.**, v.5, n.1, p. 306-316, 1969.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT A. E. **Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas**. International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press: 1967, p. 275-290.

HIBBERT, A. R. **Forest treatment effects on water yield**. In: SOPPER e LULL (Ed.) International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press. 1967, p 527-543.

HORNBERGER, G. M. et al. **Elements of physical hydrology**. Baltimore: J. Hopkins University Press, 1998.

HORTON, R.E., An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. **Soil Science Society of America Proc.**, 5: 399-417. Validation. 1940.

HUGHES, D.A.; HANNART, P.; WATKINS, D. Continuous baseflow separation from time series of daily and monthly streamflow data. **Water SA**, v. 29 (1), 2003, p. 43-48.

IBGE 2004. **Mapa da vegetação do Brasil e Mapa de Biomas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

IBGE 2006. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.br>>. Acesso em: 05 set. 2006.

JORNAL ZERO HORA. 2009. Caderno de Economia. Pólo de Celulose pode Ganhar força. Disponível em: <<http://zerohora.clicrbs.com.br/zerohora/jsp/default.jsp?uf=1&local=1&newsID=a2663763.xml&channel=13&tipo=1§ion=Geral>>. Acesso em 24 de set. 2009.

KARSCHON, R.; HETH, D. **The water balance of plantation of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn**. Contributions of Eucalyptus in Israel, III: 7-34. 1967

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997. 1 CD-ROM.

KIRCHNER, J. W. A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. **Hydrological Processes**. V. 17, p.871-874, 2003.

KITTREDGE, J.; LOUGHEAD, J.J.; MAZURAK, K. Interception and stemflow in a pine plantation. **Journal of Forestry**, 39: 505-522. 1941.

KOBIYAMA, M. Conceito de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: Seminário de Hidrologia Florestal, 2003, Alfredo Wagner. **Anais...** Florianópolis: PPGEA, p 1 – 13, 157 p. 2003.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. **Revista OESP Construção**, São Paulo, Ano 5, n. 32, p. 112-117, 2000.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B. Water balance in Cubatao-Sul river catchment, Santa Catarina, Brazil. **Revista Ambi-Água**, Taubate, v.3, n.1, 2008, p.5-17.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

LACEY, G.C.; GRAYSON, R.B. Relating baseflow to catchment properties in south eastern Australia. **Journal Hydrology**., Amsterdam, v.204, p.231-250, 1998.

LAL, R. Deforestation and land use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. 1. Soil physical and hydrological properties. **Land Degradation and Development**, v. 7, n. 1, p. 19-45, 1996.

LANNA, A. E. L. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre. Ed. UFRGS/ABRH, cap. 4, 1993.

LANNA, A. E. **O bioma pampa em risco? A plantação de Pinus e Eucaliptos**. Entrevista concedida. Revista IHU Online. V. 207. 2007. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1559&secao=247>. Acesso em 14 de fev de 2012.

LANE, P. N. J., MORRIS, J., NINGNAN, Z.: Water balance of tropical Eucalyptus plantations in southeast China, **Agr. Forest**, 124, 253–267, 2004.

LEE, D. R. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. **Limnology Oceanographic**, v. 22, n. 1, 1977. p. 140-147.

LEE, D. R.; CHERRY, J. A. A field exercise on groundwater flow using seepage meters and minipiezometers. **Journal of Geology**, v. 27, 1978.p. 6-10.

LERNER, D.N. Groundwater recharge in urban areas. **Atmos. Environment**, 24 B(1), 1990, p. 29-33.

LERNER, D.N. Surface water – groundwater interactions in the context of groundwater resources. In: XU, Y. e BEEKMAN, H.E. (Ed) (2003). Groundwater recharge estimation in Southern Africa. **UNESCO IHP Series** No. 64, UNESCO Paris. ISBN 92-9220-000-3. 2003.

LIKENS, G. E. An experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Biology**, v. 73, p. 381-396, 1985.

LIMA W. P. Indicadores hidrológicos ao manejo sustentável de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Colombo: Embrapa CNPF, 1997. p. 12-29.

LIMA, W. P. Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. 2. ed. Piracicaba, São Paulo: [s.n.], 2008.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do Eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

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

LIMA, W. P.; FREIRE, O. Evapotranspiração em povoamentos de eucalipto e de pinheiros e em parcela contendo vegetação herbácea natural. **IPEF–Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, n. 12, p 103-117 1976.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Paulo: Rima, 2006.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Indicadores hidrológicos em áreas Florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p.53-64, 1998.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B.; LIBARDI, P. L.; SOUZA FILHO, A. P. Comparative evapotranspiration of *Eucalyptus*, Pine and natural cerrado vegetation measured by the soil water balance method. **IPEF International**,1: 5-11. 1990.

LOW, K. S. Interception loss in the humid forested areas (with special reference to Sungai Lui catchment, (West Malaysia). *Malayan Nature Journal*, v. 25 n. 2. P. 104-111. In: **Forestry Abstract**, v. 35, n.3, p. 615, 1972.

LUCAS, M. C.; GUARABARA, R. C.; WENDLAND, E. Estimativa de recarga subterrânea em área de afloramento do Sistema Aquífero Guarani. **Boletín Geológico y Minero**, 123 (3): 311-323. 2012.

LULL, H. W. Ecological and Silvicultural Aspects. In: V. T. Chow (Ed.). **Handbook of applied hidrology**. New York: [s.n.], 1964. p. 6-1 – 6-30.

MARTINI, A. J. **O plantador de eucaliptos**: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade. 2004. 178 f. Dissertação (Mestrado em História) – Universidade de São Paulo São Paulo, 2004.

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.

MAZIERO, T. A. **Monitoramento de água subterrânea em área urbana**: aspectos quantitativos. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2005

MIRANDA, R. A. C. et al. Interceptação de chuva em cafezais adensados da região serrana centro-norte fluminense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, 2004.

MOON, S.; WOO, N.C.; LEE, K.S. (). Statistical analysis of hydrographs and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. **Journal of Hydrology**, v. 292, 2004, p. 198-209.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

MOSCA, A. R. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MOSTER, C. **Avaliação hidrológica da zona ripária através da análise da água subterrânea ao longo das vertentes de uma microbacia experimental**. 2007. 83 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MOTA, A. A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

NETO, O. B. S. **Balço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente-MG**. 77 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, UFV. Viçosa, MG, 2001.

NOVAES, R. F. Aspectos nutricionais e ambientais do Eucalipto. **Revista Silvicultura**, n. 68, p. 10-17, 1996.

OKI, V. K. **Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias**. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 723-732, 2008.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2001. 628 p.

PAMPA – Silencioso e Desconhecido. Revista Eletrônica IHU – Online. **Revista da Unisinos**. Disponível em <www.unisinos.br/lhu>. Acesso em: 05 Ago. 2009.

PANARIO, D. et al. **Síntesis de los efectos ambientales de las plantas de celulosa y del modelo forestal en Uruguay**. Montevideo – UY: Facultad de Ciencias, 2006. Informe interno.

PERRY, D. A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: time for reappraisal. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p.123 - 140, 1989.

PILGRIM, D. H. et al. **Water balance and runoff characteristics of mature and cleared pine and eucalypt catchments at Lidsdale, New South Wales**. The First National Symposium on Forest Hydrology. Australia, The Institution of Engineers. National, Conference Publication, n. 82/6, p.103-110, 1982.

PILLAR, V de P. et al. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403 p.

PINTO, E. J. A.; LIMA, J. E. S.; DAVIS, E. G., SILVA, A. J.; DANTAS, C. E. O.; CANDIDO, M. O.; PALMIER, L. R.; MONTE-MOR, R. C. A. Estimativa da recarga natural do aquífero livre de uma sub-bacia da bacia representativa de Juatuba (MG) aplicando o método da variação dos níveis d'água (VNA). **Águas Subterrâneas**, set. 2011. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/asubterraneas/article/view/23095>>. Acesso em: 08 Fev. 2012.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia básica**. São Paulo: E. Blucher, 1976. 278 p.

PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície**. 2. ed. São Paulo: E. Blücher, 1973. 179 p.

PONCE, V. M. **Engineering hydrology, principles and practices**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1989. 640 p.

PRITCHETT, W. L. **Properties and Management of Forest Soils**. John Wiley, New York, 1979, 500 p.

RABELO, J. L.; WENDLAND, E. **Estudo da interação rio-aquífero no sistema jacaré-tietê por meio de um modelo numérico baseado em SIG. Águas Subterrâneas**, set. 2011. Disponível em: <[http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/asubterraneas/article /view/23162/15277](http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs-2.2.4/index.php/asubterraneas/article/view/23162/15277)>. Acesso em: 09 Fev. 2012

RADAMBRASIL. Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das Folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 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. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e teste. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, nov./dez., 2006.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso**. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 9.519 de 21 de Janeiro de 1992. Institui o Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, jan 1992. Disponível em: <<http://www.al.rs.gov.br/legiscomp/arquivo.asp?idNorma=6&tipo=pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2010.

RIO GRANDE DO SUL. **Ministério Público 2005**. Disponível em: <<http://www.mp.rs.gov.br/>> imprensa/ noticias/ id4362.htm. Acesso em: 22 jul. 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA n. 187 de 11 de Abril de 2008. Aprova o Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul. **Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, abr 2008. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/doc/Resolucao_CONSEMA_187_2008_zoneamento_Ambiental_11_04.doc>. Acesso em: 07 out. 2009.

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas**. 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM, CCR/UFSM, 2001, 302 p.

RUSHTON, K. R.; TOMLINSON, L. M. Possible mechanisms for leakage between aquifers and rivers. **Journal of Hydrology**, v. 40, 1979, p. 49-65.

SABARÁ, M. G. Análise estatística da Correlação entre Uso do Solo e Nascentes no Médio Rio doce – MG. **Revista On-line Unileste**, Minas Gerais, v. 2, julho/dez., 2004. Disponível em: <http://www.unilestemg.br/revistaonline/volumes/02/downloads/artigo_07.pdf>. Acesso em: 30 junho 2009.

SABARÁ, M. G. **Comparação ecológica entre rios de menor ordem, drenando bacias cobertas por plantios agrícolas, pastagens e plantios de *Eucalyptus grandis*, na região do médio Rio Doce, MG.** 1999. 259 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

SAMPAIO, A. N. **O eucalipto.** Belo Horizonte: Boletim da Secretaria da Agricultura, Indústria, Comércio e Trabalho, 1948.

SAMRAJ, P.; SHARDA, V. N.; CHINNAMANI, S. Hydrological behaviour of the Nilgiri sub-watersheds as affected by bluegum plantations, Part I. The annual water balance. **Journal of Hydrology**, v. 103, p. 335–345, 1988.

SANTOS, I. dos et al. **Hidrometria aplicada.** Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 372 p.

SANTOS, I. **Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: Mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica.** 2009. 167 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2009.

SARTORI, M. G. **O Clima de Santa Maria: do regional ao urbano.** Dissertação de Mestrado, Dep. de Geografia da Fac. de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1979.

SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, v10,. DOI 10.1007/s10040-0010176-2. 2002. p. 18- 39.

SCARPINELLA, G. D. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto.** Dissertação (Mestrado em Energia Eletrotécnica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SCOTT, D. F.; LESCH, W. Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, v.199, p. 360-377, 1997.

SEMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente do RS. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/sema/jsp/descnoticias.jsp?ITEM=1717&TIPO=>> Acesso em: 18 nov. 2007.

SHARDA, V. N. et al. Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiris sub watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 211, p. 50-60. 1998.

SIKKA, A. K.; SAMRA, J. S.; SHARDA, V. N.; SAMRAJ, P.; LAKSHMANAN, V. Low flow and high flow responses to converting natural grassland into bluegum (*Eucalyptus globules*) in Nilgiris watersheds of South India. **Journal of Hydrology**, 270: 12-26. 2003.

SILVA, A. C. et al. Influência da estrutura da paisagem sobre a diversidade de fragmentos de floresta aluvial no Sul de Minas Gerais”. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, 2007 **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1855-1862.

SILVA, C. A. **As florestas encantadas**. 2007. Disponível em: <<http://www.blogdodiego.com.br/index.php?flavor=lerArtigo&id=424>> Acesso em: 14 de fev 2012.

SILVA, P. A. D.; LOUREIRO, C. O. Pequenas variações piezométricas nas águas subterrâneas. In: Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba-PR: ABAS, 2006.

SILVEIRA, A. L. da; SILVEIRA, G. L. da. **Vazões Mínimas**: hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. cap. 5.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009, p. 35-51.

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. 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.

SILVEIRA, G. L. da et al. Informações hidrológicas em pequenas Bacias Hidrográficas Rurais. **A Água em Revista**, v. 4, p. 31 - 39, 1995.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 97-110, julho/set.1998.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, p. 111-131, 1998.

SILVEIRA, G. L. Estimativa de vazões em pequenas bacias hidrográficas com dados escassos. In: **AGUA: uso y manejo sustentable**. 1. ed. Buenos Aires: Industria Gráfica del Libro, 1997. v. único, p. 201-212.

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, G. L. et al. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 5-16, 1998.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SMAKHTIN, V. Y. Low-flow hidrology: a review. **Journal of Hydrology**, v. 240, p. 147-186, 2001.

SOARES, J. V.; ALMEIDA A. C.; PENCHEL R. M. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman-Monteith. In: INTERNATIONAL UNION OF FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS (IUFRO) CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: [s.n.], 1997. v. 4, p. 52-61.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing Eucalyptus plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 253, p. 130-147, 2001.

SOPHOCLEOUS, M. Combining the soil water balance and water-level fluctuation methods to estimate natural groundwater recharge: practical aspects **Journal of Hydrology**, v. 124, 1991, p. 229-241.

SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. **Hydrogeology Journal**, v. 10, 2002, p.52-67. DOI 10.1007/s10040-001-0170-8.

STEDNICK, J. D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. **Journal of Hydrology**, v. 176, p.79-85, 1996.

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

SUGAI, M. R. V. B.; FILL, H. D.; GOMES, J. A. Importância do monitoramento na gestão de recursos hídricos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1998, Gramado. **Anais...** Gramado: ABRH, 1998.

TOEBES, C.; OURYVAEV, V. **Representative and experimental basins, an international guide for research and practice**. Paris: UNESCO, 1970. 348 p.

TRIMBLE, Jr.; WEITZMAN G. R. S. Effect of a hardwood forest canopy on rainfall intensities. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 35, n. 2, p. 226-234, 1954.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia, ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2009. 943 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, N. 1, p135-152, 1997.

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).

UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA.. **Desenvolvimento de ações para implantação de outorga na Bacia do Rio Santa Maria - IOGA**. [S.l.:s.n.], 2005. (Relatório Técnico Parcial, n. 1).

VALENTE, M. L. **Alteração nas características físico-químicas e biológicas da água com a introdução da atividade de silvicultura de eucalipto em microbacias na região do Pampa - RS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

VERTESSY, R. A.; WATSON, F. G. R.; O'SULLIVAN, S. K. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. **Forest Ecology and Management**, v. 143, p. 13-26, 2001.

VELÁSQUEZ F., S.; JARAMILLO R., A. Redistribución de la lluvia en diferentes coberturas vegetales de la zona cafetera central de Colombia. **Revista Cenicafé**. 60 (2): 148-160. 2009.

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

VITAL, M. H. Impacto ambiental das florestas de eucalipto, **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 28, p. 235-276, 2007.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M.; Flow Duration Curves. I: new Interpretation and confidence intervals. **J. Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 4. p. 485-504. 1994.

VOIGT, G.K. Distribution of rainfall under forest stands. **Forest Science**, v. 6, n1, p. 2-10. 1960.

WINTER, T.C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. (1998). Ground Water and Surface Water: A Single Resource. U.S. **Geological Survey**, Circular 1139, Denver, Colorado, 1998.

WMO. Guide to hydrological practices, data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. 15. ed. Genebra-Suíça: [s.n.], 1994. cap. 20, p 259. 1994, n. 168.

XU, Y.; BEEKMAN, H. E. Groundwater recharge estimation in Southern Africa. **UNESCO IHP Series** Nº. 64, UNESCO Paris. 2003.

XU, Y.; Van TONDER, G. J. Estimation of recharge using a revised CRD method. **Water SA**, v.27, 2001, p. 341-343.

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. **Water resources research**, vol. 37, no. 3, p. 701–708, 2001

ZHOU, G. H.; MORRIS, J. D.; YAN, J. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China. **Forest Ecology and Management**, v.167, n.1, p.209-222, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Curvas de permanência mensais comparativas das bacias

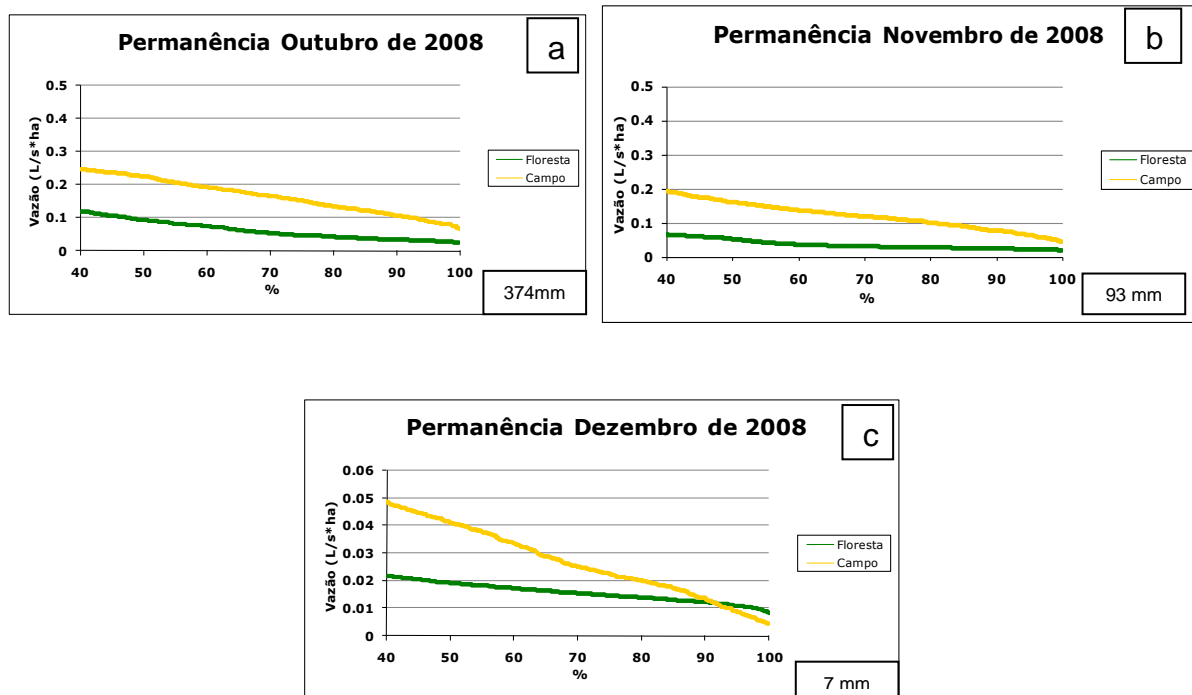
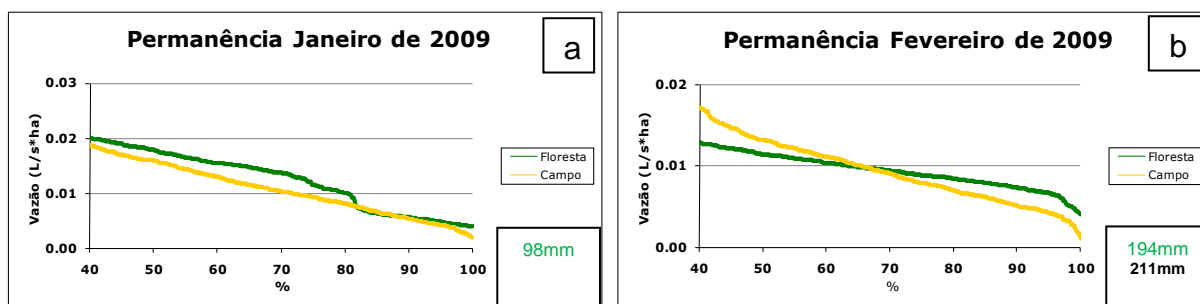


Figura A1 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o ano de 2008 onde, a) outubro, b) novembro e c) dezembro.



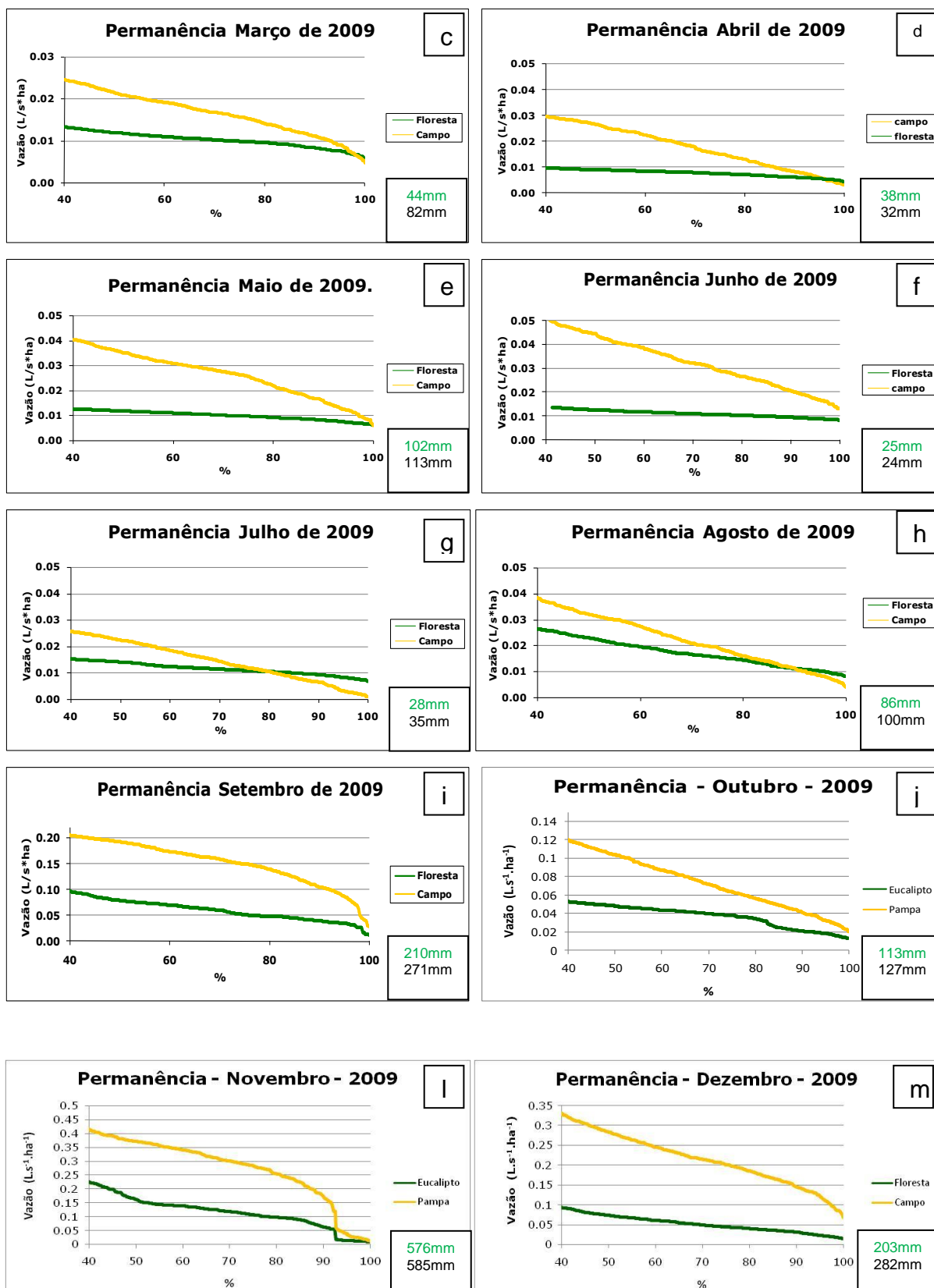
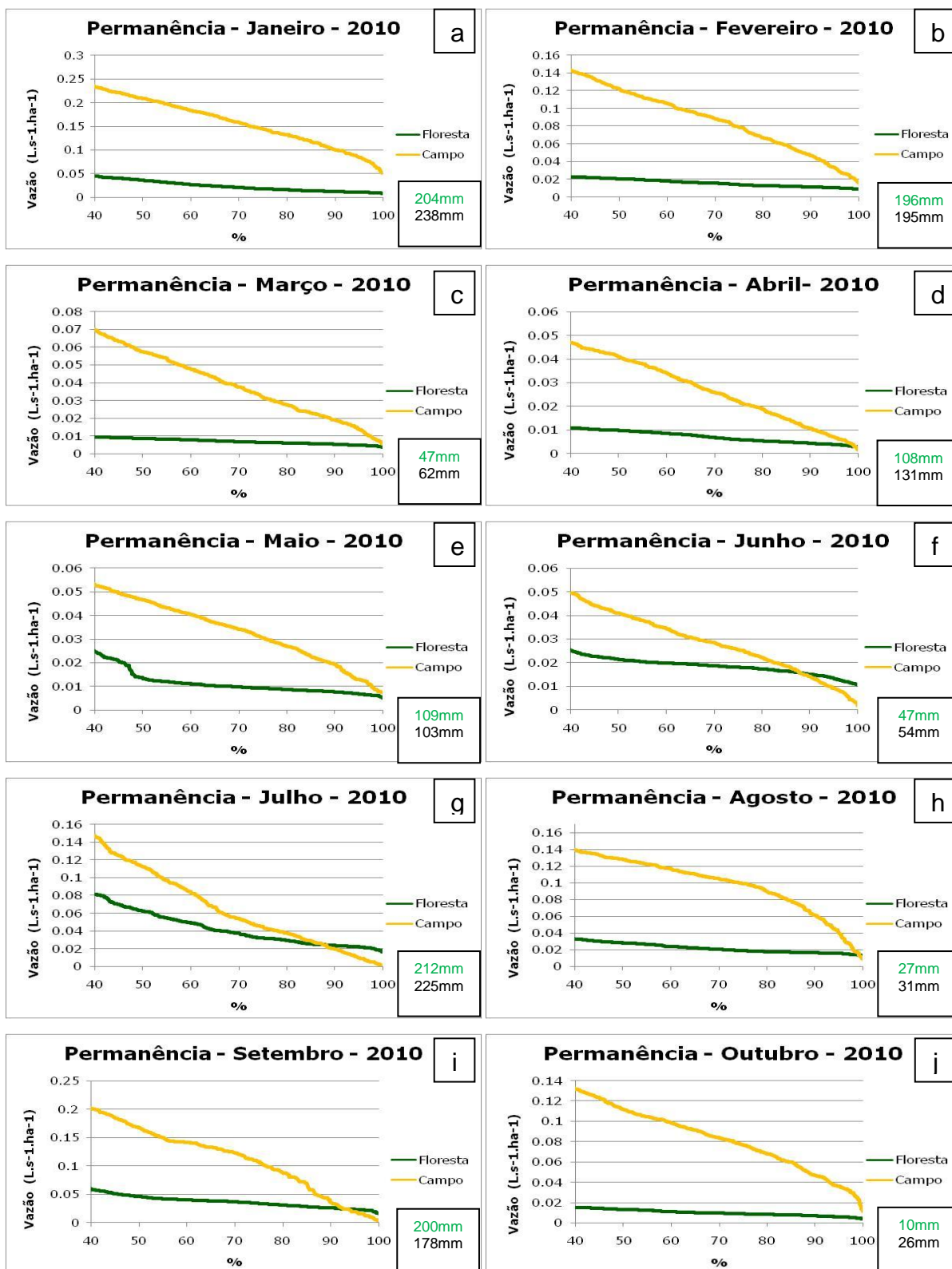


Figura A2 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o ano de 2009 onde, a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, l) novembro, m) dezembro.



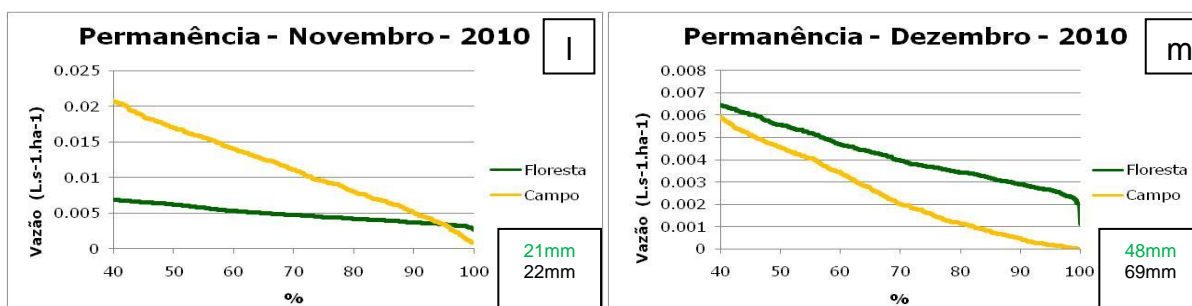
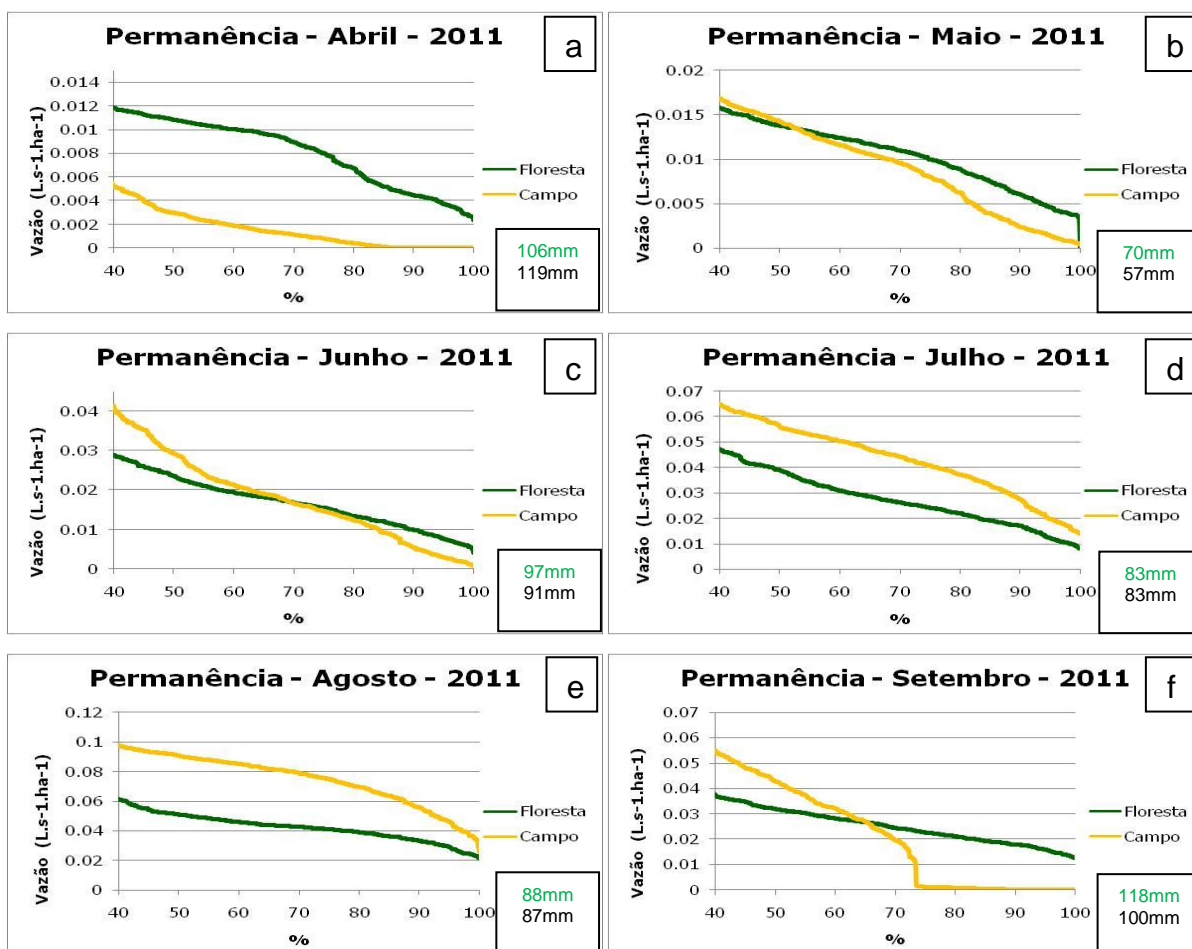


Figura A3 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o ano de 2010 onde, a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro, j) outubro, l) novembro, m) dezembro.



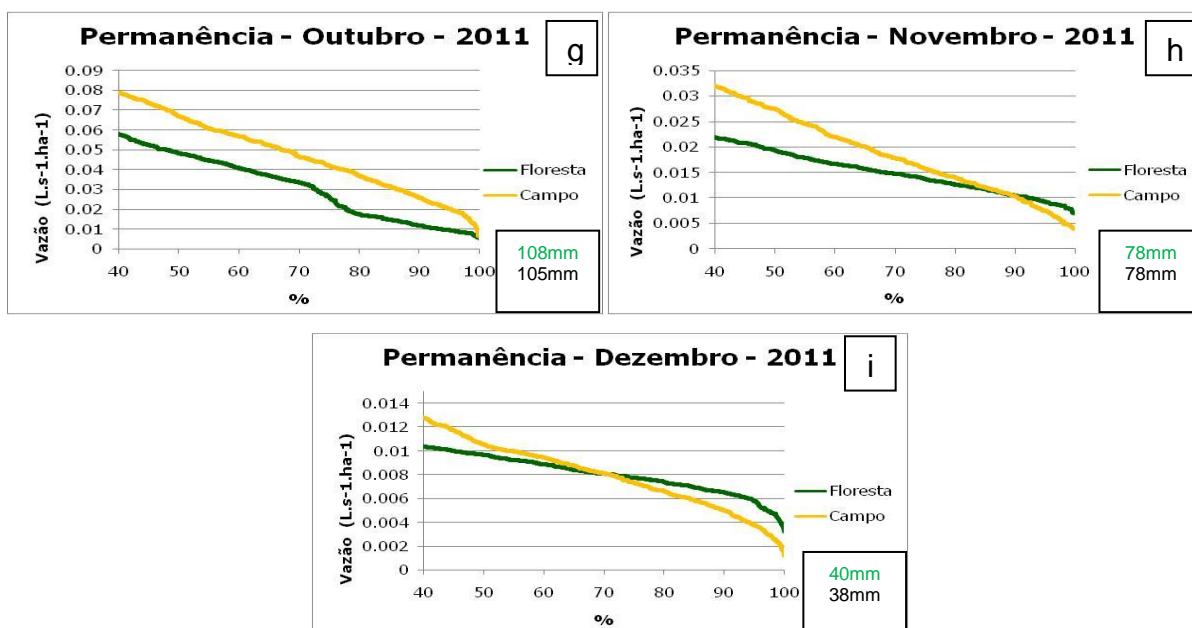
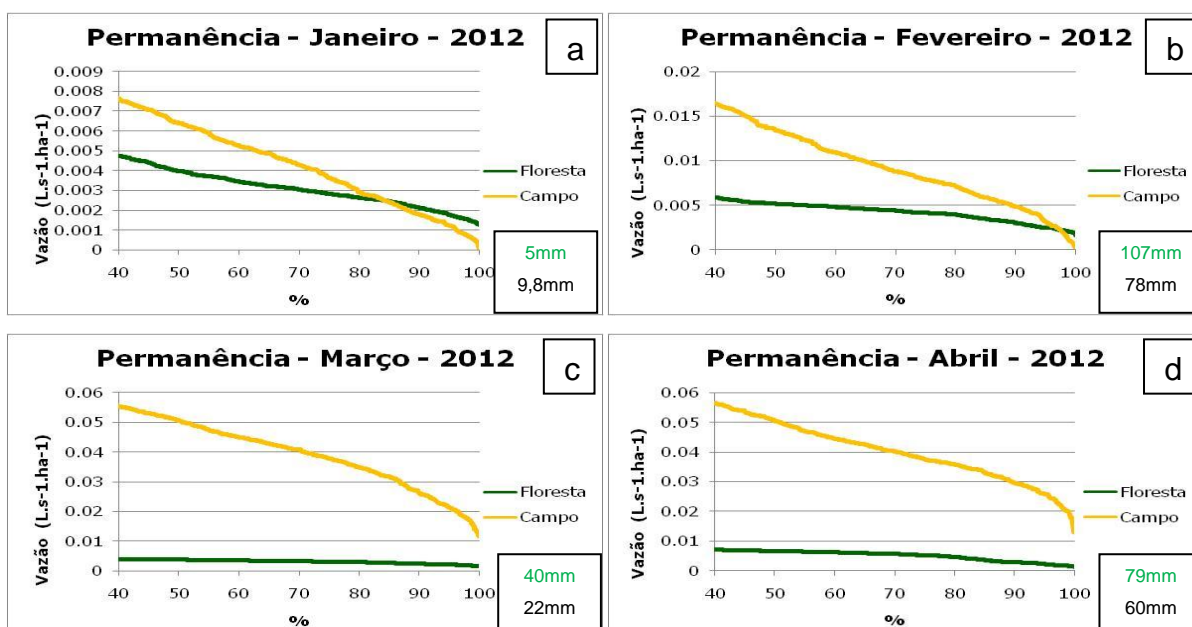


Figura A4 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o ano de 2011 onde, a) abril, b) maio, c) junho, d) julho e) agosto, f) setembro, g) outubro, h) novembro, i) dezembro.



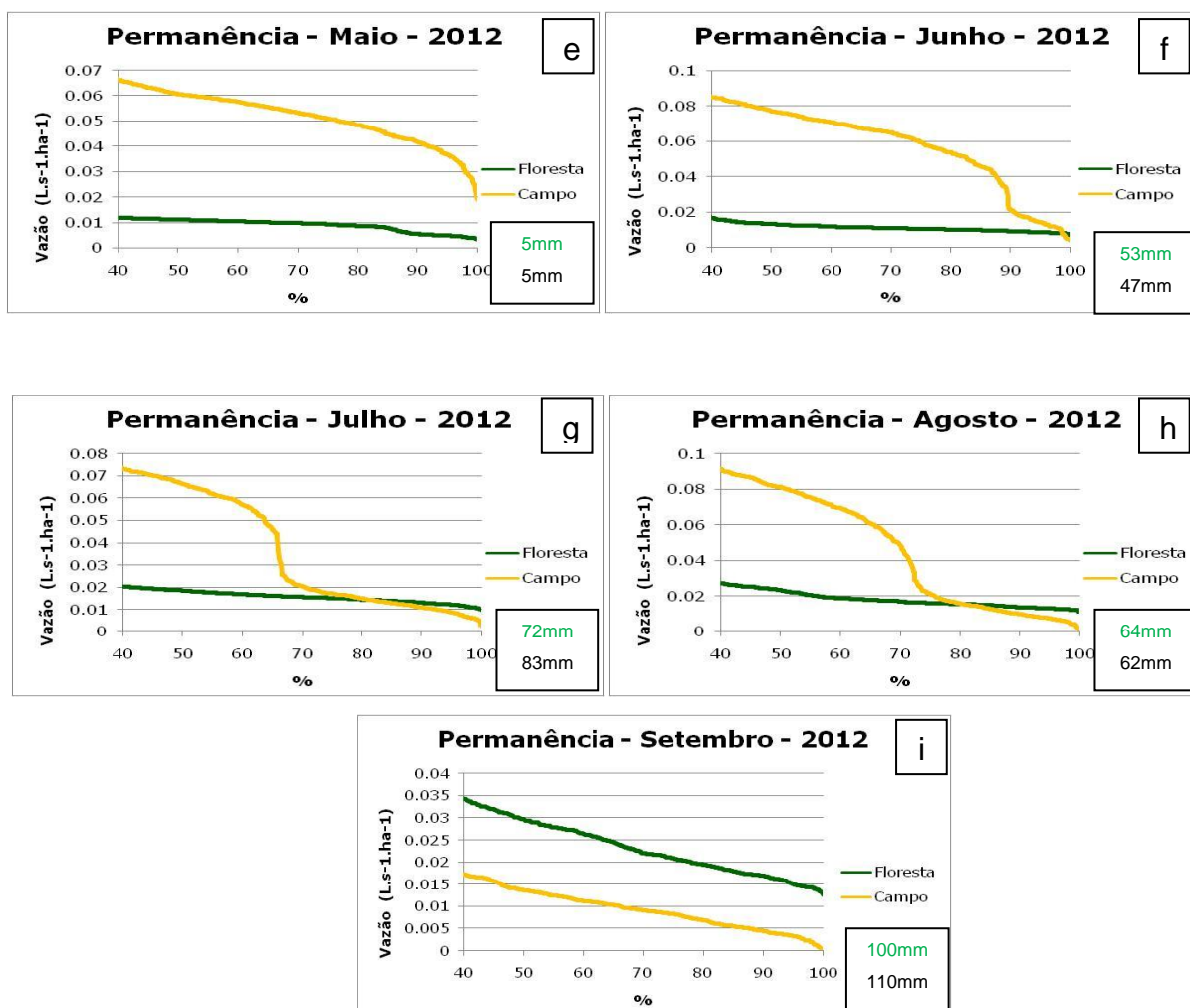


Figura 6.5 – Curvas de Permanência comparativas na MF e MC de 40% a 100% do tempo para o ano de 2012 onde, a) janeiro, b) fevereiro, c) março, d) abril, e) maio, f) junho, g) julho, h) agosto, i) setembro.