

# ESTUDO DO ESCOAMENTO EM DUAS BACIAS COM FLORESTAS PLANTADAS, EM CAÇADOR – SC.

*Adilson Pinheiro<sup>1</sup> & André Silveira Rosa<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- Neste trabalho são analisados os resultados obtidos em duas bacias, com uso florestal, *Pinus taeda* de 27 anos de idade, localizadas na região de Caçador, Meio-Oeste Catarinense. As bacias foram manejadas de forma diferente. As duas bacias foram monitoradas, com vertedores mistos. O período de monitoramento ocorreu entre agosto de 2005 e agosto de 2006. Neste período duas situações hidrológicas foram identificadas. A primeira com condições de precipitação em torno de valores médios históricos e a segunda com a ocorrência de estiagem, cujas precipitações foram bastante inferiores a média histórica. Na bacia 1, no mês de janeiro de 2006, foi iniciado o corte raso. Testes de infiltração foram realizados para determinar as capacidades de infiltração nas florestas, nos períodos antes e após o corte raso. Foram estabelecidas as curvas de permanência das duas bacias e realizadas as comparações entre elas. Observou-se que o corte raso promoveu a redução da capacidade de infiltração, aumento na permanência das vazões mínimas durante a estiagem, na vazão de pico dos hidrogramas de cheias e nos volumes escoados superficialmente.

**ABSTRACT** --- In this paper the results had been collected in two basins are analyzed, with forest landuse, *Pinus taeda* of 27 years of age, located in Caçador, Santa Catarina state. The two basins had been monitored, with mixed overflow. During this period, two hydrological situations were identified. The first with precipitation conditions of around historical measured values and the second with the occurrence of drought, in which precipitation was much lower than the historical average. In January 2006, at basin 1, the clearcutting was initiated. Infiltration capacity test had been carried, before and after periods the clearcutting. Frequency curves at two basins had been established and carried comparisons between them. It was observed that the forest cut had promoted decrease of the infiltration capacity, increase of the minimum streamflow, of the maximum discharge and the runoff.

**Palavras Chave:** Bacias florestadas, escoamento superficial, corte raso.

---

<sup>1</sup> Professor doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Regional de Blumenau – FURB. Rua São Paulo, 3250, 89030-000 – Blumenau - SC. email: pinheiro@furb.br

<sup>2</sup> Professor mestre da Universidade do Contestado, engenheiro da Juliana Florestal Ltda., Caçador – SC. email: andre@frameport.com.br

# 1 - INTRODUÇÃO

A atividade florestal tem sido desenvolvida na região de Caçador, Meio Oeste Catarinense, desde a chegada dos primeiros colonizadores. No princípio, de forma extrativista, com a exploração desordenada de espécies nativas como a Araucária e a Imbuia. Atualmente, os florestamentos e reflorestamentos, principalmente com o gênero *Pinus*, continuam fazendo com que a atividade florestal seja uma das atividades econômicas, através do fornecimento de matéria prima para as indústrias madeireiras e de celulose e papel, mais propícias e rentáveis para o desenvolvimento regional.

Os rumos e metas de programas estaduais e federais referentes a bacias hidrográficas necessitam de informações como essas levantadas neste trabalho. Não é possível falar do uso do solo desta região, sem mencionar florestas, tanto nativas quanto implantadas. Sejam propriedades pequenas ou grandes, boa parte é recoberta por vegetação arbórea. O manejo de florestas nativas diminuiu muito nos últimos anos, devido principalmente a escassez de materiais industrializáveis e de restrições legais. Porém, o manejo de florestas implantadas é uma prática constante, onde inúmeras empresas operam suas unidades de manejo para o abastecimento de seus parques fabris.

Os reflorestamentos, principalmente com o gênero *Pinus*, constituem-se em uma importante atividade econômica, através do fornecimento de matéria prima para as indústrias madeireiras e de celulose e papel. No entanto, esta atividade econômica pode resultar em alterações no regime hídrico da região onde ela é desenvolvida.

Os impactos ambientais do deflorestamento, colheita e re-estabelecimento têm sido avaliados através de experimentos no qual chuva e vazão são monitoradas em coletas selecionadas em períodos específicos através de um plano de alteração do uso da terra. Essa abordagem é normalmente considerada como apropriada para detectar mudanças no escoamento superficial depois da introdução de uma mudança no uso da terra (Fahey e Jakson, 1997).

Tucci e Clarke (1997) consideram que o desenvolvimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas produziram alterações significativas na superfície e no uso do solo rural em países em desenvolvimento como o Brasil. O impacto dessas alterações tem sido discutido muito mais dentro de uma avaliação qualitativa que quantitativa, já que o número de combinações entre as diferentes condições de clima, cobertura do solo, geologia e outros fatores são numerosas para permitir uma real estimativa dos impactos sobre o escoamento, produção de sedimentos e qualidade da água. Em um primeiro estágio ocorre o aumento na vazão média, com redução da evapotranspiração, devido à retirada da cobertura. Com o crescimento da vegetação, cerca de 20 anos, o balanço tende a voltar às condições iniciais devido à recuperação das suas condições prévias.

Valcarcel (1985) complementa citando que a eliminação da cobertura florestal de uma bacia hidrográfica pode aumentar a vazão momentânea dos rios, uma vez que, analisado sob o ponto de vista da economia de água, esta diminui as perdas por evapotranspiração e infiltração do sistema. Porém, uma mudança nas características fisionômicas da vegetação deverá causar uma modificação nas etapas do ciclo hidrológico, que envolvem a floresta e, conseqüentemente, os processos hidrológicos dentro da bacia hidrográfica.

De acordo com Sun e Li (2005), os fatores impactantes nas funções hidrológicas das florestas incluem o tipo de cobertura vegetal, clima, tamanho da bacia, entre outros. A inferência é que: (i) Florestas de folhosas, coníferas, coberturas com gramíneas ou pastagens, mistos de coníferas e folhosas, e coberturas com espécies arbustivas, têm um decréscimo na produção de água. A seqüência de decréscimo não é uma linha que se pode estimar antecipadamente. (ii) A resposta na produção de água da mudança na cobertura florestal é relatada para regiões através do coeficiente de escoamento médio anual. Em regiões mais úmidas, a produção de água devido à mudança da cobertura florestal é mais rápida que em regiões mais secas. (iii) Há uma maior flutuação na resposta do escoamento para mudanças da cobertura florestal em pequenas bacias.

Assim, surge o interesse na avaliação da influência das florestas implantadas no âmbito das bacias hidrográficas e os efeitos do manejo destas florestas no regime hídrico desta região e suas as implicações. No presente trabalho, avalia-se a geração do escoamento da água, em duas bacias, cobertas predominante com floresta de *Pinus taeda*, com idade de 27 anos.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho avalia a geração de escoamento, em floresta de *Pinus taeda*, implantada no ano de 1978, com espaçamento inicial de 2,50 x 1,60 metros e que, atualmente, após 3 (três) desbastes, se encontra com 403 árvores por hectare, sendo que cada árvore possui um volume médio de 1,494 m<sup>3</sup>, conforme o relatório de inventário florestal de 2004, realizado pela Juliana Florestal Ltda, de Caçador. O período de estudo transcorreu de agosto de 2005 a agosto de 2006.

São analisadas duas bacias, identificadas como bacia 1 e bacia 2 (Figura 1). As áreas de drenagem são 32,41 ha e 42,49 ha, respectivamente. Elas estão localizadas uma ao lado da outra. A bacia 1 a floresta foi submetida ao corte raso, cuja operação iniciou em janeiro de 2006. A outra não foi alterada, permanecendo as suas condições de cobertura florestal original. Na tabela 1 são apresentadas às características físicas das bacias e, na tabela 2 a distribuição das superfícies do uso do solo em cada unidade experimental, antes do corte raso.

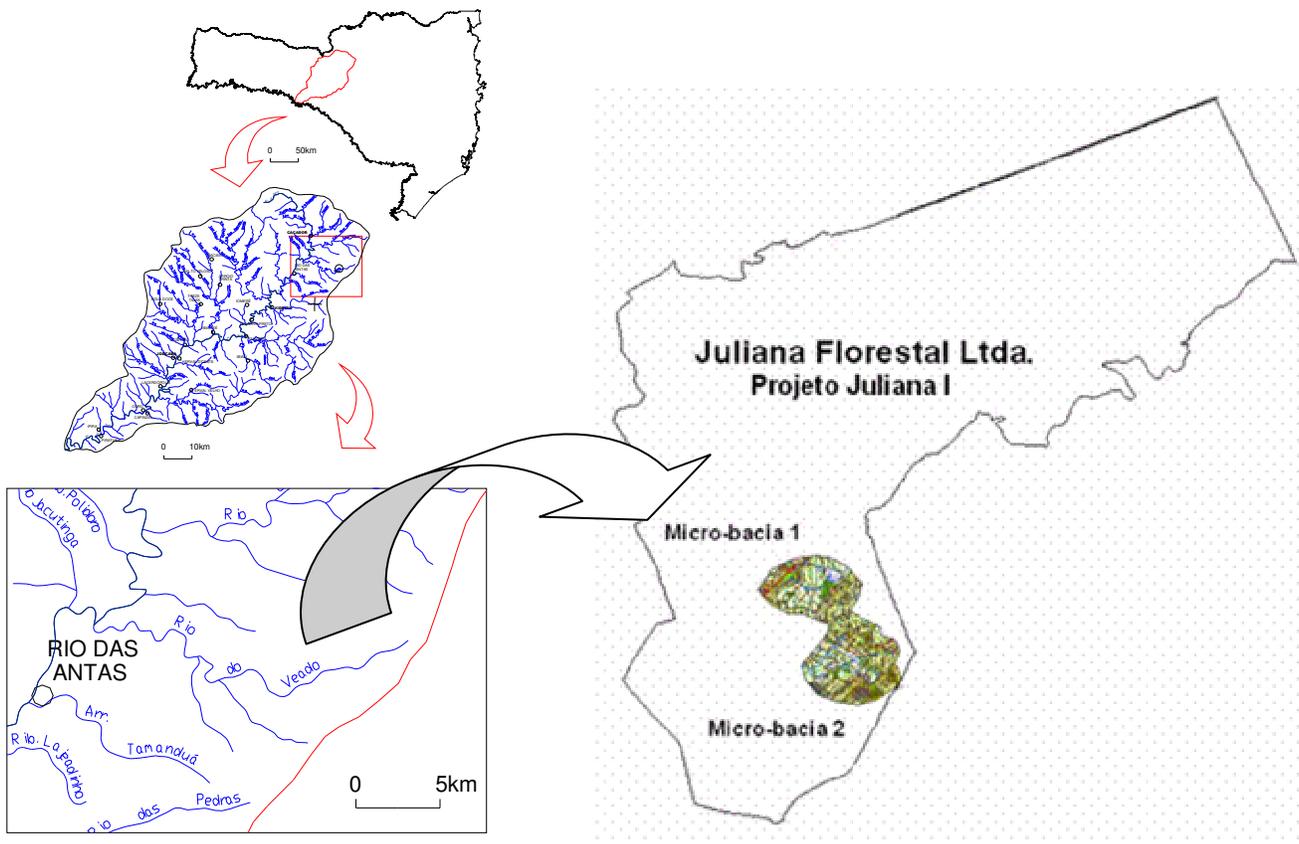


Figura 1 – Localização das áreas de estudo (bacia do rio do Peixe)

Tabela 1 – Características físicas das bacias

<b>Tipo</b>	<b>Bacia 1</b>	<b>Bacia 2</b>
Área Total (ha)	32,41	42,49
Perímetro (m)	2159,99	2524,36
Comprimento da drenagem (m)	1111,19	2302,51

As duas bacias possuíam o mesmo tipo de floresta, com o mesmo manejo, com o traçado e a forma das estradas similares. As vegetações nativas contidas nestas duas áreas e o sistema de drenagem também são muito semelhantes. Porém, a bacia 2, possui uma declividade um pouco mais acentuada que a primeira.

Para avaliar a geração de escoamento de água, foi instalado em cada bacia, um canal de concreto, com dimensões de: 1 metro de profundidade, 1 metro de altura e 2 metros de largura, com vertedor misto, ou seja, triangular de 90° para maior parte do tempo, com a altura da vertente de 30 cm e, retangular para casos extremos onde a altura da água ultrapasse o vertedor triangular. Em cada vertedor, foi instalado um limnógrafo marca Global Water, modelo WL-15, que é composto por um

Datalogger com sensor de nível de água para monitoramento e armazenamento remoto, a intervalos de 5 minutos. Os sensores medem as alturas da lâmina de água e através do uso de equações de vertedores são determinadas às vazões escoadas.

Tabela 2 - Uso do Solo nas bacias (ha)

<b>Tipo</b>	<b>Bacia 1</b>	<b>Bacia 2</b>
Pinus spp	19,71	27,15
Capoeira	3,94	5,38
Macega	0,50	1,62
Preservação Permanente	1,68	2,81
Mata de Conservação	2,35	4,28
Caminho	0,80	0,98
Banhado	0,78	0,00
Aceiro	0,00	0,10
Corte Raso	2,27	0,00
Cipestre	0,08	0,00
Estrada	0,30	0,00

Nas duas bacias foram realizados testes de infiltração. Para isto, foi utilizado um infiltrômetro composto por 2 anéis de metal, um maior do que o outro, tendo o menor uma área de 314,16 cm<sup>2</sup>, com 20 cm de altura (Poggiani et al., 1983). Os anéis foram cravados no solo concentricamente a uma profundidade de 5 cm. Com uma régua foi realizada a leitura do nível de água. A água foi despejada dentro dos anéis.

Os dados meteorológicos, tais como precipitação, evaporação potencial, radiação, velocidade e direção dos ventos, são registrados na estação experimental da EPAGRI, localizada aproximadamente 7 km das bacias.

Com as séries de vazões, foram determinadas as curvas de permanência. Os hidrogramas de cheias foram separados em seus componentes de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, permitindo estudá-los em termos dos processos hidrológicos envolvidos. Foi realizada a separação dos escoamentos nas componentes subterrâneos, sub-superficial e superficial, através da identificação do ponto de inflexão da curva de recessão (Tucci, 2004). Com os resultados são realizadas comparações entre as áreas estudadas.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Constata-se que durante o período de execução do experimento (agosto de 2005 a agosto de 2006) ocorreram alguns momentos distintos. Nos três primeiros meses de coleta de dados, a precipitação mensal foi superior aos valores da série histórica. Nos quatro meses seguintes (novembro de 2005 a fevereiro de 2006), a precipitação ocorrida foi inferior. Ressalta-se que nos seis primeiros meses (agosto a janeiro) coincidiram com o período onde as bacias foram analisadas sem interferência de manejo.

No mês de março de 2006, a precipitação foi cerca de 21% acima da média histórica. No entanto, nos meses seguintes os totais mensais precipitados foram bastante abaixo da média histórica, correspondendo, respectivamente a 30, 17, 30, 43 e 91% do total mensal médio.

Assim, para a segunda etapa do projeto, que ocorreu a partir de janeiro de 2006, a precipitação foi muito abaixo da série histórica, exceto no mês de março. Neste período, o experimento transcorreu numa severa estiagem. O total precipitado na primeira parte do experimento (agosto-janeiro) foi de 970,7 mm (média mensal de 161,8 mm) e no segundo período (fevereiro a agosto) foi de 493,8 mm (média mensal de 70,5 mm). Na figura 2 são apresentadas as precipitações mensais durante o período de estudo.

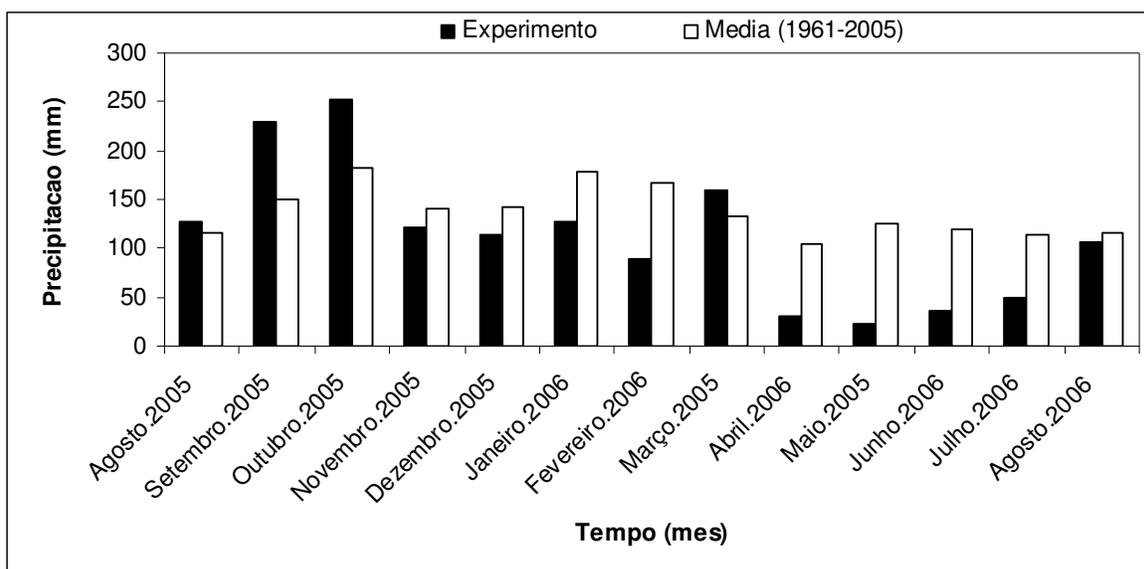


Figura 2 – Precipitação mensal registrada na estação meteorológica de Caçador (Fonte dos dados EPAGRI).

#### 3.1 Capacidade de Infiltração

Duas condições de teste foram adotadas. No primeiro período, eles foram realizados simultaneamente nas duas bacias. No segundo período, os testes foram realizados apenas na bacia 1 que sofreu o corte raso. Nas figuras 3 e 4 são apresentadas as curvas de capacidade de infiltração ajustados para as bacias 1 e 2. Ela foi realizada através da equação de Horton,

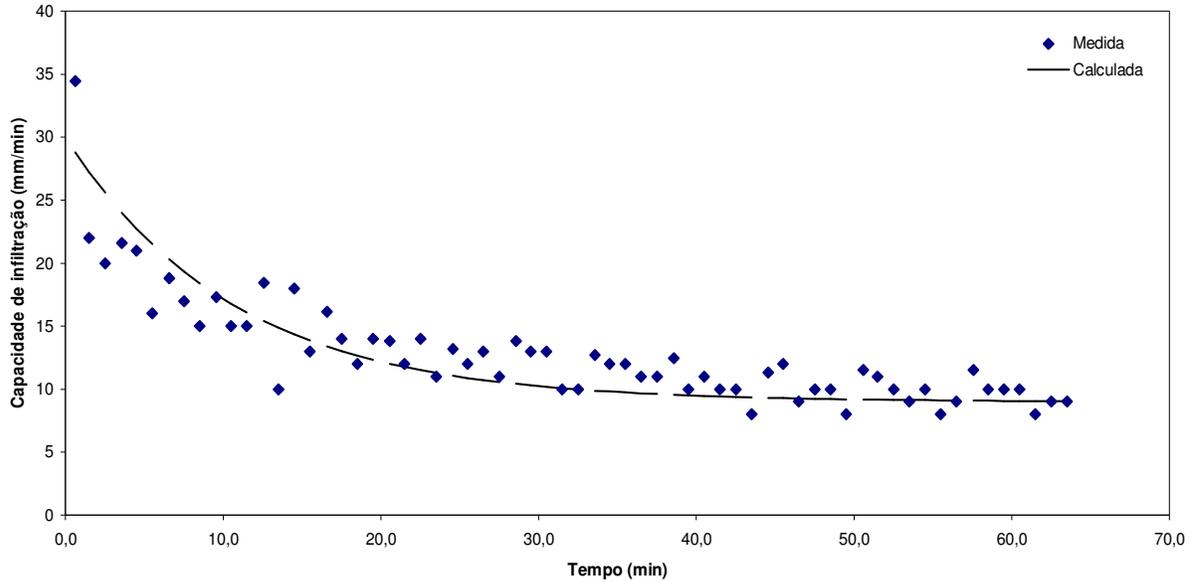


Figura 3 – Curvas de capacidade de infiltração na bacia 1.

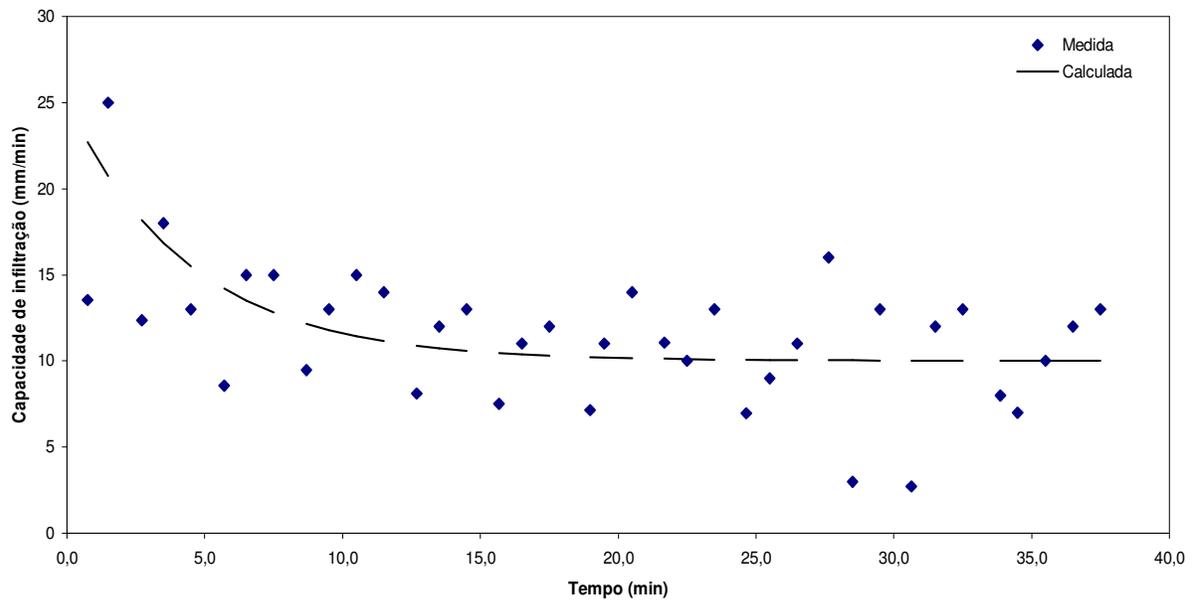


Figura 4 – Curvas de capacidade de infiltração na bacia 2.

Os valores dos parâmetros de infiltração indicam que a bacia 1 tem maior capacidade de infiltração e, como consequência, a bacia 2 tem maior capacidade de geração de escoamento superficial

hortoniano. Além disto, quando da ocorrência de escoamento superficial nas bacias 1 e 2, ele pode ter sido causado também por saturação da camada superficial do solo ou por escoamento de refluxo gerado nas áreas de contribuição variável.

A figura 5 apresenta uma curva de infiltração da bacia 1, cujo teste foi realizado após o corte raso. Observa-se que as capacidades de infiltração foram reduzidas após o corte raso. Esta redução pode ser explicada pela compactação provocada pelos equipamentos usados na colheita. Na operação de corte raso foram empregados um harvester (conjunto escavadeira sobre esteira e cabeçote processador), um carregador e um triciclo florestal.

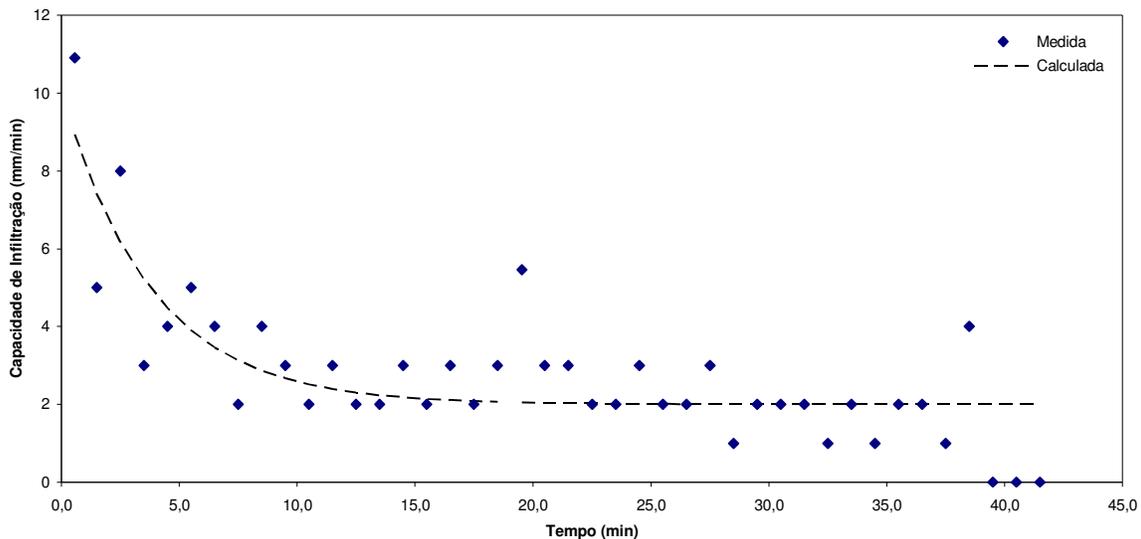


Figura 5 – Curva de capacidade de infiltração na bacia 1 após o corte raso.

### 3.2 Curvas de Permanência

Foram construídas as curvas de permanência para as bacias, considerando-se as vazões registradas no primeiro e no segundo período de estudo. Elas foram plotadas em um mesmo gráfico, em termos de vazões específicas, de modo a permitir uma comparação entre os escoamentos gerados. Além disto, as curvas foram segmentadas, permitindo a análise, de uma parte, dos escoamentos mínimos e médios e, de outra parte, das vazões máximas.

As figuras 6 e 7 apresentam as curvas de permanência do primeiro e segundo períodos, respectivamente. No primeiro período, observa-se que as bacias apresentaram valores diferentes em termos de vazões específicas. Para vazões mínimas, onde a frequência de permanência é elevada, a bacia 1 gerou valores maiores do que a bacia 2. No caso de vazões máximas, com frequência de

permanência baixa, o resultado foi inverso, tendo a bacia 1 geradas vazões específicas menores. A inversão ocorreu para a frequência de permanência de 2,6%. Isto pode ser devido ao fato que a bacia 1 possui maior capacidade de infiltração.

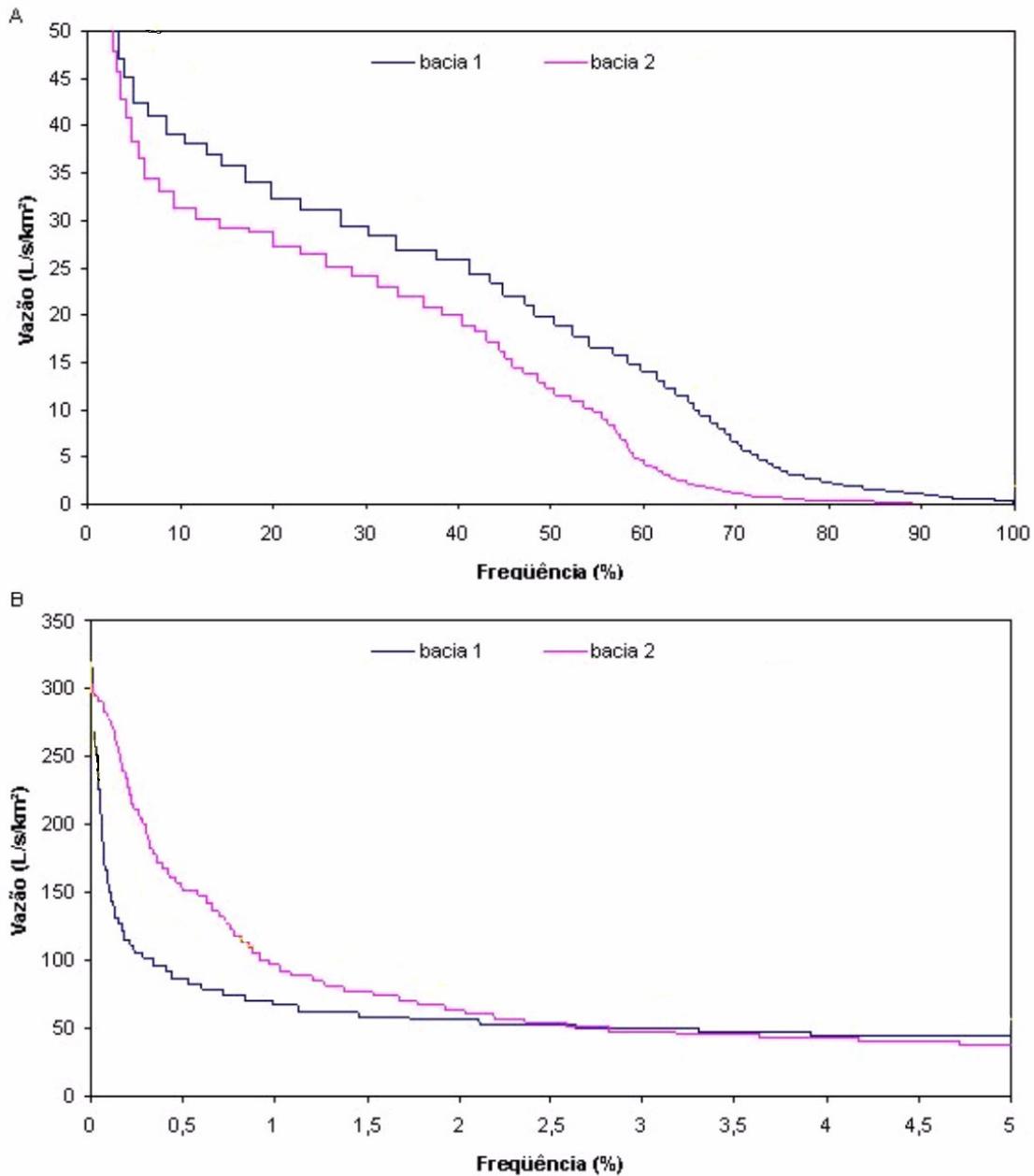


Figura 6 – Curvas de permanência do primeiro período: A) vazão inferior a 50 L/s/km<sup>2</sup> B) frequência inferior a 5%.

Com o corte raso, a evolução das curvas de permanência foi alterada significativamente. As vazões específicas da bacia 1, que sofreu o corte raso, foram superiores ao da bacia 2. Durante o

período de estiagem, a bacia 2 teve escoamento quase nulo ou nulo em cerca de 70% do tempo ou seja frequência de permanência de 30%.

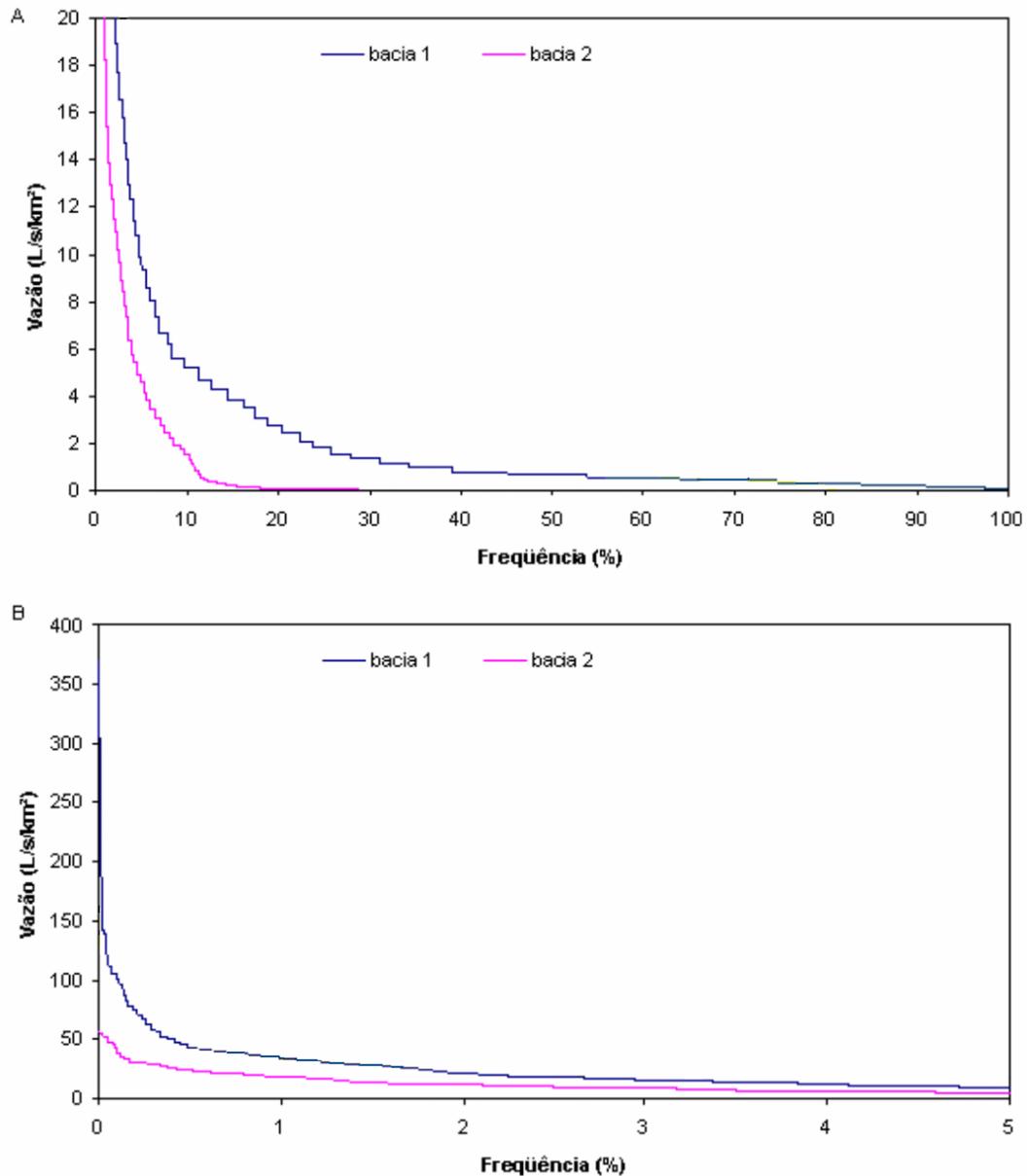


Figura 7 – Curvas de permanência do segundo período: A) vazão inferior a 20 L/s/km<sup>2</sup> B) frequência inferior a 5%.

A manutenção dos escoamentos na bacia 1 pode ser justificada pela redução do fluxo de evapotranspiração devido à redução da floresta de *Pinus ssp.* Oki (2002), estudando duas bacias experimentais no Paraná, obteve uma redução da evapotranspiração após corte do *Pinus taeda*. Antes do corte a evapotranspiração representava 91% da precipitação anual. Um ano após o corte a evapotranspiração passou a representar cerca de 77%. Vital et al. (1999) determinaram através de XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos

balanço hídrico que evapotranspiração representa em média 89% da precipitação total anual em uma bacia com *Eucalyptus saligna*.

No caso das vazões máximas, a bacia 1 apresentou valores maiores do que a bacia 2. O aumento na geração de vazões máximas é provocado pela redução na capacidade de infiltração. Assim, uma parcela maior da precipitação transforma-se em escoamento superficial hortoniano. Além disso, a precipitação que atinge o solo é superior na bacia que sofreu o corte, devido a redução da interceptação que a floresta proporcionaria. Zang et al. (1999), citando vários autores, mostram que o *Pinus ssp* pode interceptar de 19 a 38% da precipitação.

### 3.3 Hidrogramas

Foram analisados todos os hidrogramas de eventos de cheias, mesmo que não tenham sido registrados simultaneamente nas duas bacias.

Com relação ao comportamento dos hidrogramas analisados, é possível constatar que, em geral, a forma é similar nas duas bacias. A Tabela 3 apresenta as vazões máximas médias registradas nos diferentes eventos de cheias, para os períodos antes e após o corte raso na bacia 1. A bacia 2 apresentou vazão máxima superior ao da bacia 1. Cabe ressaltar, que houve problema no sensor da bacia 1 e, alguns eventos tiveram que ser excluídos desta análise. Assim, esta comparação fica um pouco prejudicada.

Tabela 3 – Vazões máximas médias (L/s) para os hidrogramas de cheias ocorridos.

<b>Período</b>	<b>bacia 1</b>	<b>bacia 2</b>
Antes do Corte	0,024	0,029
Após do Corte	0,019	0,0045 1

A bacia 2 foi mais alterada com o efeito da estiagem, apresentando sempre a menor vazão máxima. Isto já tinha sido verificado na primeira parte do experimento, porém esta diferença aumentou significativamente em relação à outra. Na figura 8 são apresentados os hidrogramas de um evento que ocorreu simultaneamente nas duas bacias para o período após o corte.

### 3.4 Escoamentos

As componentes dos escoamentos são analisadas para os períodos antes e após o corte raso na bacia 1. Os percentuais dos volumes de cada componente do hidrograma de cheia são apresentados na

tabela 4. No primeiro período, os volumes escoados superficialmente foram similares na bacia 1 e 2. Isto significa que as condições da superfície da bacia são semelhantes em uma floresta implantada.

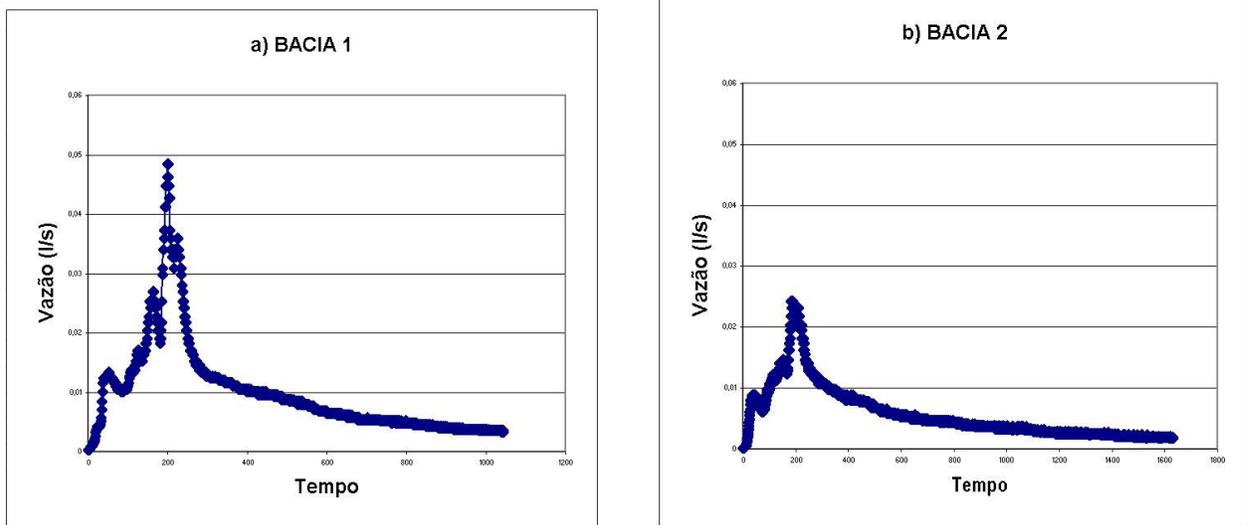


Figura 8 – Hidrogramas de cheias ocorrido após o corte raso na bacia 1.

Tabela 4 – Componentes dos hidrogramas de cheias (%).

Período	Bacia	Vol. Subterrâneo	Vol. Sub-superficial	Vol. Superficial
Antes do Corte	1	47,61	13,45	38,94
	2	44,93	16,27	38,80
Após do Corte	1	26,09	20,55	53,37
	2	19,92	30,20	49,88

O volume de escoamento subterrâneo foi praticamente igual para as bacias 1 e 2 no primeiro período. No entanto, nota-se que, devido à maior infiltração na bacia 1, a contribuição do escoamento subterrâneo foi maior. No segundo período, mesmo com a diminuição da infiltração nesta bacia, essa diferença foi maior, com a bacia 1 tendo maior escoamento subterrâneo. Isto se deve principalmente pelo longo período em que a bacia 2 permaneceu com o escoamento nulo demonstrado nas curvas de permanência de vazão. O aumento no escoamento subterrâneo na bacia 1 pode ser justificado pela redução da evopotranspiração resultante da diminuição do potencial de transpiração na área da floresta cortada.

Antes do corte, o maior escoamento para as duas bacias era o subterrâneo. Já para o segundo momento, também influenciado pela estiagem, o maior escoamento, durante as cheias, para as duas

bacias foi o superficial. Este resultado pode ser justificado pelo efeito de saturação da camada superficial do solo e conseqüente geração de escoamento não hortoniano.

Como pode ser visto, há uma influência direta na capacidade de infiltração do solo, onde o regime dos escoamentos já sofre alteração. A retirada das árvores que ali se encontravam, que compunham uma floresta em equilíbrio, onde havia um fluxo de evapotranspiração constante e que havia a proteção do solo através da interceptação de grande parte da precipitação, altera significativamente o regime hídrico da bacia.

## **4 - CONCLUSÕES**

A partir dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- a capacidade de infiltração da bacia que sofreu corte foi reduzida, proporcionando maior potencial de geração de escoamento superficial hortoniano;
- com o corte raso, a evolução das curvas de permanência foi alterada significativamente. As vazões específicas na bacia que sofreu o corte raso foram superiores a que manteve a sua cobertura;
- os hidrogramas de cheias registrados simultaneamente, após a conclusão do corte raso, mostram que a vazão máxima na bacia que sofreu corte raso foi mais elevada;
- Em relação aos escoamentos, antes do corte, o maior escoamento para as duas bacias era o subterrâneo. Para o segundo momento, também influenciado pela estiagem, o maior escoamento, durante as cheias, para as duas bacias foi o superficial.

Estudos específicos sobre transpiração, evapotranspiração, interceptação, escoamento pelo tronco para as diferentes florestas, espécies e idades, devem ser realizados visando confirmar algumas justificativas aqui apresentadas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à empresa Juliana Florestal Ltda pelo financiamento visando implantação dos dispositivos experimentais. Também à EMBRAPA/EPAGRI que disponibilizaram sua área para a pesquisa e dados climatológicos.

## **BIBLIOGRAFIA**

FAHEY, B.; JACKSON, R. (1997) *Hidrological impacts of converting native forests and grasslands to Pine plantations*. South Island, New Zealand, Agricultural and Forest Meteorology, n. 84, p. 69-82.

- OKI, V. K. (2002) *Impactos da colheita de Pinus taeda sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias*. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz.
- POGGIANI, F., REZENDE, G. C., FILHO, W. S., *Efeitos do fogo na brotação e crescimento de Eucalyptus grandis após o corte raso e alterações nas propriedades do solo*. IPEF, Piracicaba – SP, n.24, p.33-42, 1983.
- SUN, N.; LI, X. (2005) *A Summary of the Effects of Afforestation and Deforestation on Annual Water Yields, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research*. Chinese Academy of Sciences, Beijing, P. R. China.
- TUCCI, C. E. M. (2004) *Interceptação*. in TUCCI, C. E. M. (org) *Hidrologia : Ciência e Aplicação*. 3º ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, p. 243-251.
- TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. (1997) *Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão*. RBRH, v. 2, n.1.
- VALCARCEL, R. (1985) *Balanço Hídrico no Ecossistema Florestal e sua Importância Conservacionista na Região Ocidental dos Andes Venezuelanos*, in anais XI Seminário Sobre Atualidades e Perspectivas Florestais. EMBRAPA, Curitiba.
- VITAL, A. R. T.; LIMA, W. P.; POGGIANI, F.; CAMARGO, F. R. A. (1999) *Biogeoquímica de uma Microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade*. Revista Scientia Forestales, nº 55.
- ZHANG, L.; DAWES, W.R.; WALKER, G. R. (1999) *Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance*, Technical report 99/12.