

## EFEITOS DA CURVA-CHAVE SOBRE A CURVA DE PERMANÊNCIA DOS ESCOAMENTOS EM UMA BACIA AGRÍCOLA.

Adilson Pinheiro<sup>1</sup> e Sheila Birkner Badia<sup>2</sup>

**Resumo:** A curva chave relaciona a cota do escoamento fluvial com a vazão escoada. A série histórica de vazões é utilizada na determinação da curva de permanência de uma determinada estação fluviométrica. Este trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos das funções de ajuste da curva chave sobre a determinação da curva de permanência da bacia representativa e experimental do ribeirão Concórdia, situada no município de Lontras. A metodologia compreende o ajuste da curva chave através de diferentes funções, do tipo potência e polinomial e o seu efeito na determinação das vazões e na curva de permanência. Os resultados demonstram que as funções polinomiais apresentam maiores coeficientes de determinação. No entanto, a função polinomial de terceiro grau amortece os picos de vazões, sejam eles produzidos por baixas ou elevadas alturas de precipitação. A função potência descreve mais adequadamente as vazões escoadas. Por outro lado, medições de vazões realizadas com níveis mais elevados geram uma curva chave com vazões mais consistentes.

**Palavras-chave:** Curva-chave. Curva de permanência. Disponibilidade hídrica.

### 1 Introdução

A medição de vazão é uma etapa importante na estruturação de uma série hidrológica. Em estações fluviométricas convencionais, elas são realizadas com baixa frequência devido aos elevados custos financeiros e disponibilidade de equipamentos. Para a obtenção de séries de vazões a curtos intervalos de tempo, como horários ou diários, são empregadas as curvas chaves, que permitem transformar as leituras de níveis das seções fluviométricas em vazões do escoamento fluvial. Diferentes funções matemáticas podem ser empregadas no ajuste da curva chave (CHEVALIER, 2004).

A qualidade do ajuste da função matemática utilizada pode ser determinada através de parâmetros estatísticos (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Deste modo, incertezas na estimativa das vazões escoadas podem ser geradas. Além disso, Paiva et al. (2008) indicam que no estabelecimento da curva chave existem incertezas associadas ao processo de medição da vazão. Elas são devidas à determinação da área da seção transversal, da velocidade e da vazão. Foi demonstrado que quanto maior o número de verticais utilizadas em uma seção fluviométrica, menor será o erro da estimativa da área, resultando em menor erro em vazão alta onde são calculadas mais verticais.

As evoluções das vazões podem ser organizadas através da curva de permanência, que representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais (ou qualquer outra duração) de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a porcentagem de tempo que uma dada vazão é igualada ou superada em um período histórico (CRUZ; TUCCI, 2008; SILVA, 2003). A curva de permanência é empregada na estimativa da disponibilidade hídrica de uma bacia (SILVA et al., 2006).

Este trabalho tem por objetivo analisar os efeitos das funções matemáticas de ajuste da curva chave sobre a determinação da curva de permanência das vazões diárias medidas na bacia experimental do ribeirão Concórdia. Nesta bacia são realizados estudos de processos hidrossedimentológicos, envolvendo a análise de incertezas na quantificação das variáveis presentes.

### 2 Materiais e métodos

#### 2.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado na Bacia do ribeirão Concórdia, localizada no município de Lontras/SC (Figura 1). O município localiza-se aos 27° 09' 05" de Latitude Sul e aos 49° 32' 31"

<sup>1</sup> Universidade Regional de Blumenau (FURB) – Campus II, Rua São Paulo, 3250 – CEP 89030-000 – Blumenau/SC. E-mail: pinheiro@furb.br

<sup>2</sup> E-mail: xelabadia@gmail.com

de Longitude Oeste de Greenwich, estando situada na Zona Fisiográfica do Estado de Santa Catarina denominada “Bacia do Itajaí-Açu”. A região possui clima tipo Mesotérmico Umido (Cfa) de verão quente e temperatura média de 18,4°C. Sua precipitação anual encontra-se entre 1300 e 1500 milímetros (EPAGRI, 2005). Os solos da bacia são predominantemente cambissolos e argissolos vermelho-amarelos.

A bacia do ribeirão Concórdia conta com uma área de drenagem de cerca de 30,74 km<sup>2</sup>. Essa área está inserida entre as 7 microbacias monitoradas pelo Projeto de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (PRAPEM/MICROBACIAS), desenvolvido pela Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina.

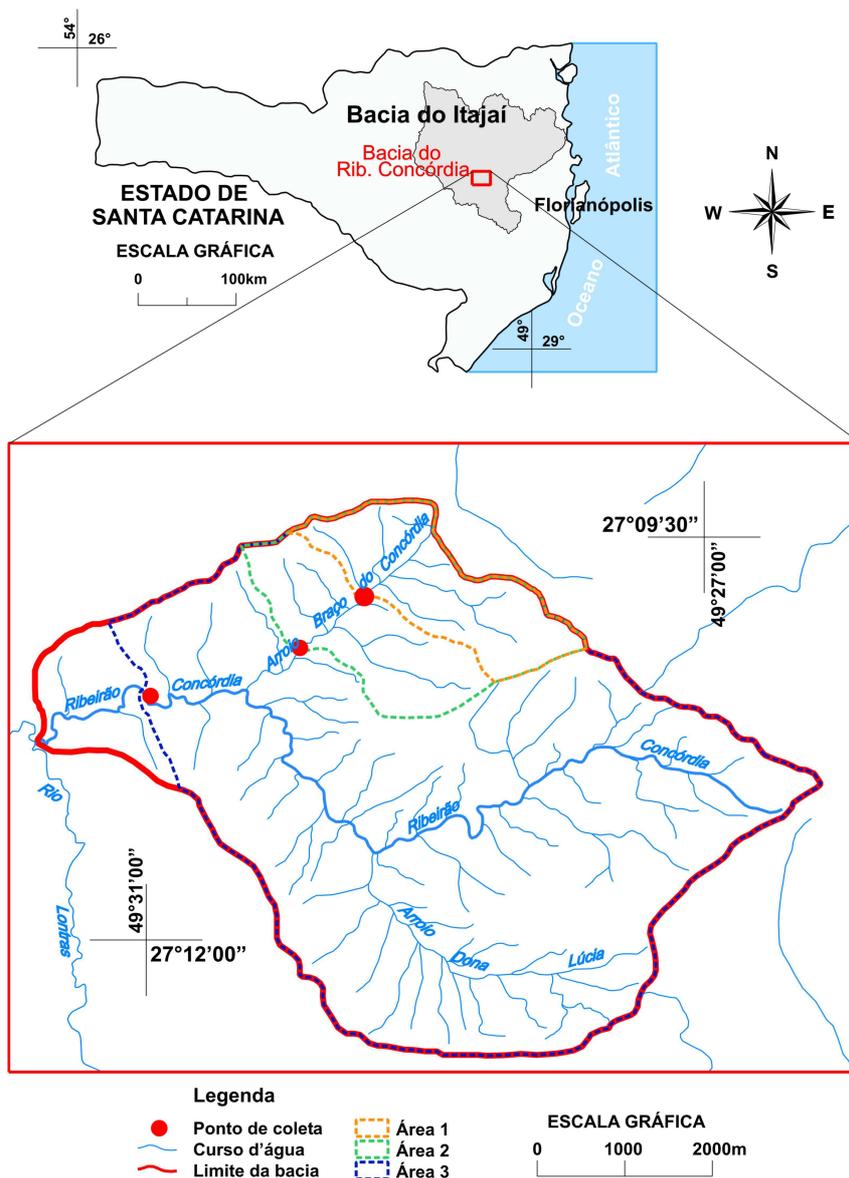


Figura 1 - Área de estudo.

A bacia do ribeirão Concórdia foi equipada através do projeto PRAPEM/MICROBACIAS e mais recentemente com os recursos do Projeto de Rede de Pesquisa em Bacias Experimentais do Bioma Mata Atlântica no sul do Brasil, denominado MATASUL, financiado pelo MCT/FINEP/CT-HIDRO-CNPq. Estão instalados sete pluviógrafos, desenvolvidos

pela EPAGRI, sendo um telemétrico e seis com datalogger e três estações fluviométricas, sendo uma telemétrica, uma régua linimétrica e um vertedor misto. Os sensores de níveis são equipados com datalogger, com armazenamento dos níveis em intervalos de 10 minutos.

## 2.2 Curva Chave

A curva chave relaciona a altura da lâmina de água de uma seção transversal de escoamento e a vazão correspondente. Esta relação é usada para transformar a cota de nível do rio em vazão do escoamento fluvial. Ela é necessária visto que a medição de vazão é um processo lento e custoso e a medição da cota de nível pode ser obtida pela leitura de uma régua ou através do uso de sensores de níveis, tais como sensores de pressão ou bóia (PAIVA; PAIVA, 2003). De acordo com Chevalier (2004) são freqüentemente utilizados dois tipos de equações para descrever a curva chave:

a) exponencial:

$$Q = \alpha(h \pm h_0)^\beta \quad (\text{Equação 1})$$

onde  $h$  é o nível da régua correspondente à vazão  $Q$ ,  $h_0$  é o nível da régua para o qual a vazão é nula e  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes representativas da seção fluviométrica de interesse;

b) polinomial:

$$Q = a_0 + a_1h + a_2h^2 + \dots + a_nh^n \quad (\text{Equação 2})$$

onde  $a_i$  são as constantes da função polinomial e  $n$  é o grau do polinômio.

Neste trabalho foram usadas as funções exponencial e polinomial de segundo e terceiro graus. Duas séries de vazões medidas foram utilizadas no ajuste das curvas chaves. A primeira foi realizada pela EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina, dentro do projeto PRAPEM/MICROBACIAS e a segunda, no âmbito do projeto MATASUL.

As cotas de nível são registradas com intervalos de tempo de 10 min, sendo integradas para a determinação dos valores médios horários e diários. O monitoramento foi realizado no período de 15/12/2005 a 06/10/2006. A série de dados foi fornecida pelo CIRAM - Centro Integrado de Informações de Recursos Ambientais da EPAGRI.

## 2.3 Curva de permanência

A permanência de uma vazão representa a probabilidade de excedência dessa vazão no tempo. A curva de permanência é o complemento

da função densidade cumulativa de probabilidade das vazões, para o intervalo de tempo definido (CRUZ; TUCCI, 2008). A definição da curva de permanência é realizada através da atribuição a cada vazão  $Q$  uma probabilidade de excedência associada a  $p$ , expressa por:

$$p = 1 - P(Q \leq q) = 1 - F_Q(q) \quad (\text{Equação 3})$$

onde  $p$  é a freqüência de excedência,  $q$  a vazão,  $P$  a função de probabilidade e  $F_Q(q)$  a função densidade cumulativa de probabilidade das vazões.

A curva de permanência estabelece as vazões percentis, do tipo  $q_{95\%}$ ,  $q_{90\%}$ , que pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis a partir da escolha de uma posição de plotagem. A equação de Weibull é freqüentemente utilizada. Sendo  $i$  o número de ordem do  $i^{\text{ésimo}}$  valor ordenando de vazão  $q(i)$  e  $n$  o número de dados ordenados, tem-se a probabilidade de excedência  $p_i$  de  $q_i$  dada por:

$$p_i = 1 - F_Q(q(i)) \quad (\text{Equação 4})$$

onde a posição de plotagem de Weibull correspondente é expressa por (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$p_i = \frac{i}{n+1} \quad (\text{Equação 5})$$

Neste trabalho foram construídas as curvas de permanência para intervalos de tempo diários e mensais.

## 3 Resultados

Nas figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as curvas chave ajustadas com as funções exponencial, polinômio de segundo e polinômio de terceiro grau. Observa-se que os coeficientes de determinação das funções polinomiais foram mais elevados que a função potencial. O ajuste da função potência resulta em  $R^2$  é igual a 0,6367. As funções polinomiais de segundo e terceiro graus resultaram em ajuste com coeficiente de determinação de 0,8253 e 0,8296, respectivamente. Através destes resultados a escolha seria por uma função polinomial, visto que ela apresenta coeficiente de determinação mais próximo de 1,0. A diferença entre o segundo e terceiro graus é muito pequena, não introduzindo diferenças significativas.

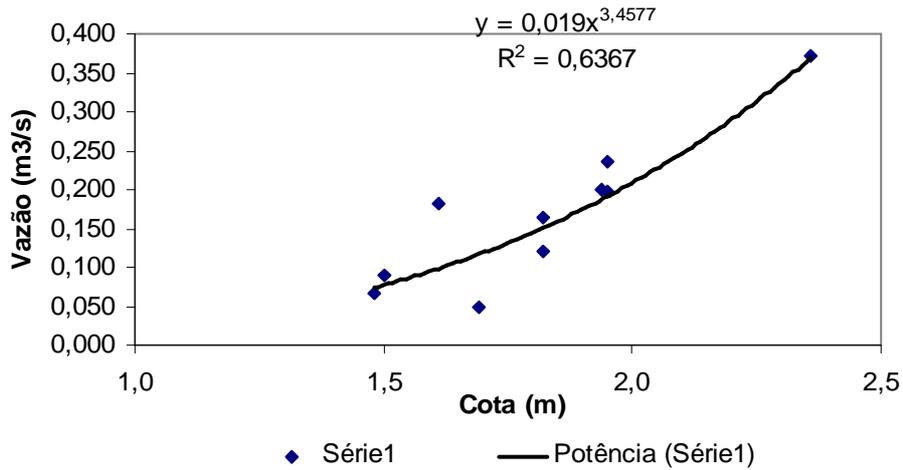


Figura 2 - Curva chave com função potencial.

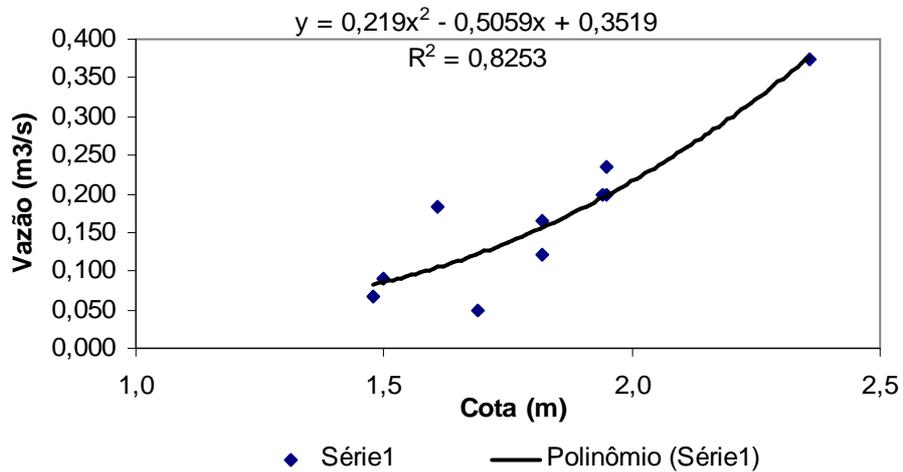


Figura 3 - Curva chave com polinômio de segundo grau.

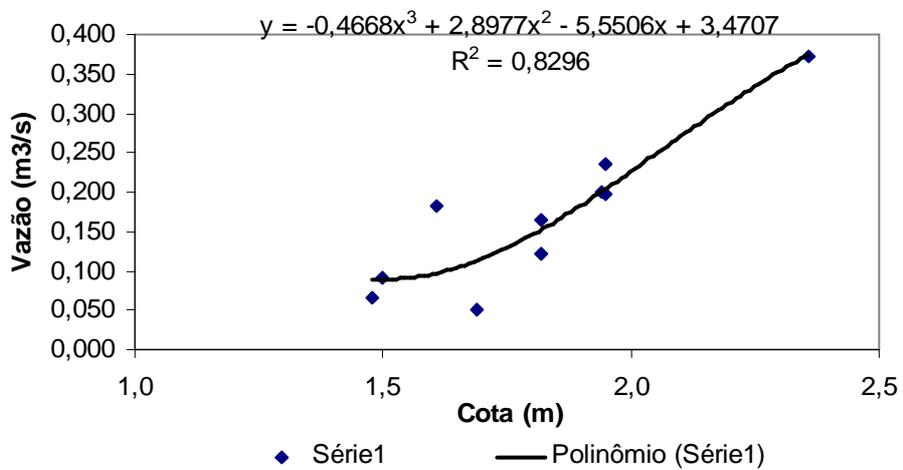


Figura 4 - Curva chave com polinômio de terceiro grau.

Com as equações foram traçados os hidrogramas de vazões médias diárias. A Figura 5 apresenta a evolução temporal das vazões médias diárias determinadas com as três curvas-chave. Observa-se que as vazões mínimas e máximas apresentam valores bastante diferentes para o ajuste com as três funções. O polinômio de terceiro grau amortece as vazões mínimas, reduzindo a ocorrência de pequenos impulsos.

Para vazões máximas, os picos das ondas de cheias têm suas magnitudes reduzidas. O polinômio de segundo grau representa os picos gerados pelos eventos de baixa altura de

precipitação. Os picos de cheias de eventos de elevada altura de precipitação são levemente superiores aos valores determinados pela função potência. Nas vazões mínimas, os valores calculados com a função polinomial de segundo grau são superiores aos obtidos pela função potência e inferiores às calculadas com a função polinomial de terceiro grau.

A função polinomial representa melhor a evolução dos pequenos picos de ondas de cheias, gerados por baixas ou elevadas intensidades de precipitação, adequadamente representados.

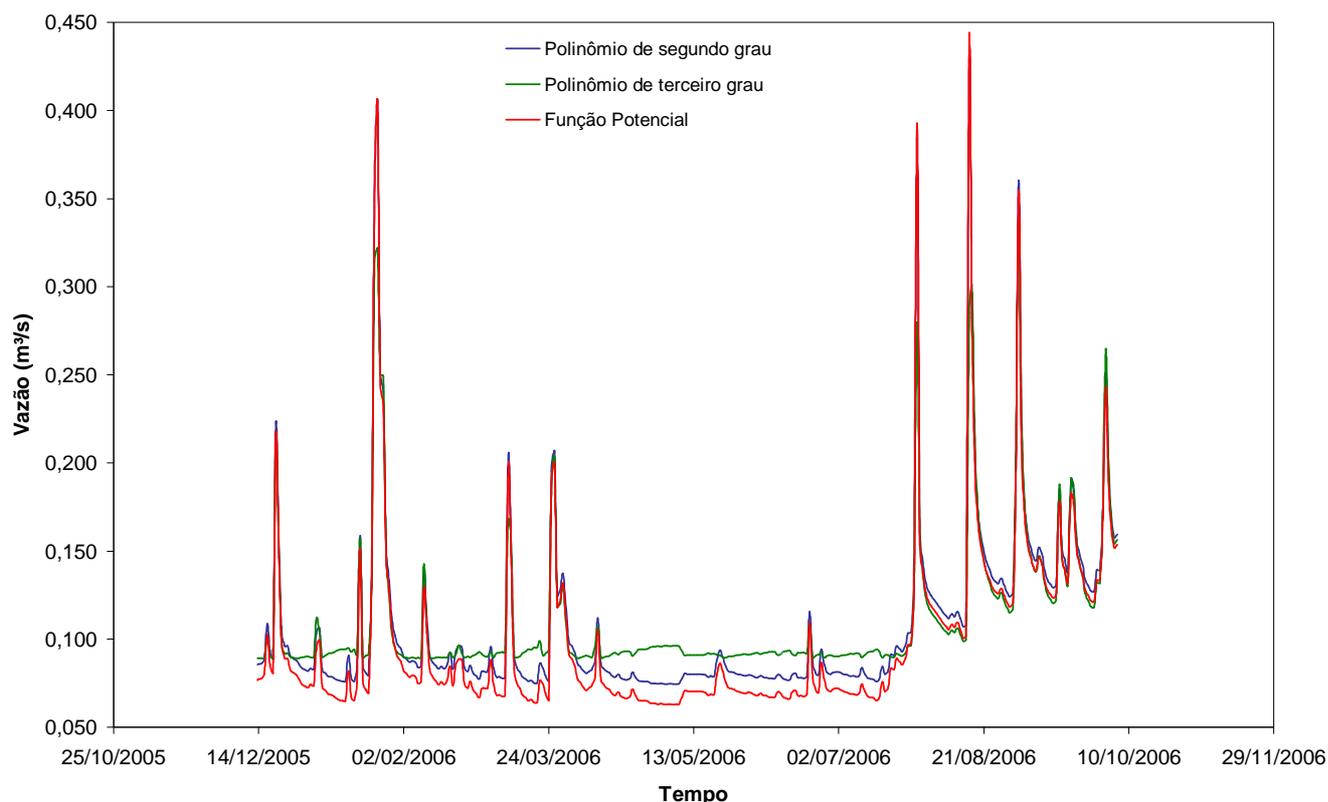


Figura 5 – Hidrogramas das vazões médias diárias

A curva chave determinada com as medições de vazões do projeto MATASUL foi do tipo potência. Ela é apresentada na Figura 6. As vazões medidas foram superiores às fornecidas pela EPAGRI. Observa-se que o coeficiente de determinação é de 0,9952, indicando um bom ajuste dos dados medidos.

O efeito das curvas chaves ajustadas são apresentados na Figura 7. Observa-se que as funções polinomiais geram valores mais elevados para as vazões com altas frequências de

permanência. Isto pode constituir-se em um problema importante na determinação da disponibilidade hídrica de uma bacia, no qual são usadas as vazões com frequência de 90 ou 95% (CRUZ; TUCCI, 2008). Além disto, as vazões com alta frequência são utilizadas em alguns estados para definição das vazões ambientais em bacias hidrográficas. Por outro lado, os picos de vazões, ou seja, vazões com baixa frequência de permanência são amortecidas pela função polinomial de terceiro grau.

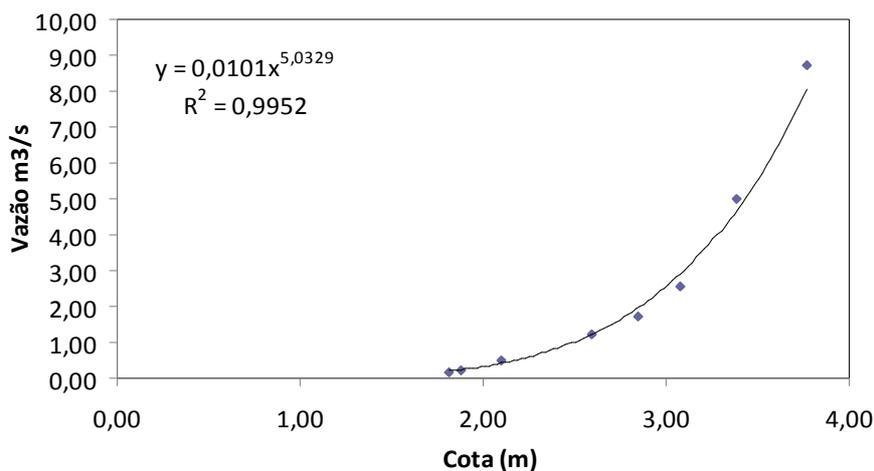


Figura 6 – Curva chave determinada com as medições do projeto MATASUL

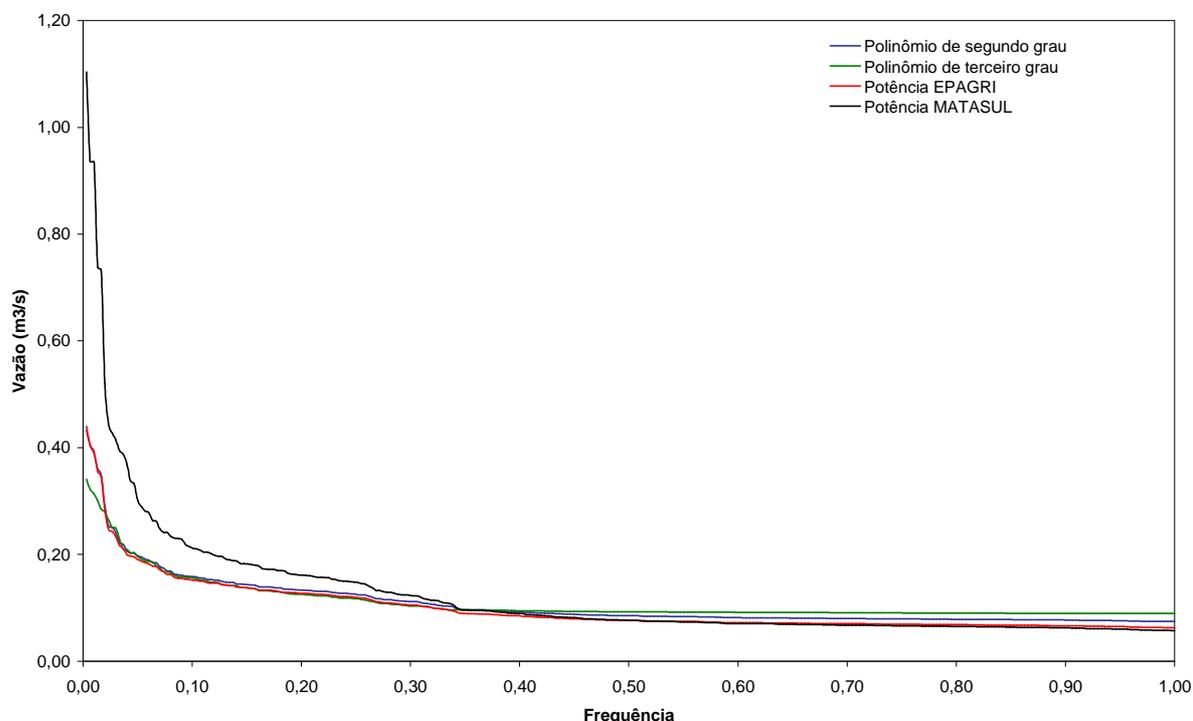


Figura 7 - Curva de permanência na bacia do ribeirão Concórdia.

#### 4 Conclusões

Os resultados deste trabalho permitiram concluir que as funções polinomiais podem gerar bons ajustes, representados pelos coeficientes de determinação, mas podem distorcer a forma do hidrograma e da curva de permanência. Os

valores das vazões com alta frequência de permanência são mais elevados do que os obtidos com a função potência. Por outro lado, os picos de vazões, ou seja, vazões com baixa frequência de permanência são amortecidas pela função polinomial de terceiro grau.

---

#### 5 Effects of key-curve on the curve of permanence of the leakages in an agricultural basin.

**Abstract:** The curve key relates the quota of disposal inland waterway with the flow output. The historical series of flows is used in determining the curve of an abiding fluviometric station. This study aims at evaluating the effects of the functions of the curve adjustment key on the determination of the abiding curve of the representative and experimental

Concordia stream, located in the municipality of Lontras. The methodology includes the adjustment of the key curve through various functions such as, of the type power and polynomial and its effect on the determination of flows and abiding curve. The results show that the polynomial functions present higher determination coefficients. However, a third degree polynomial function dampens the peak flows; they are produced by low or high heights of precipitation. The power function power describes more adequately the drained outflows. On the other hand, measurements of outflows carried through with higher level more they generate a key curve with more consistent outflows.

**Key words:** Key-curve. Abiding curve. Hydrical availability.

---

## 6 Agradecimentos

À MCT/FINEP/CT-HIDRO-CNPq, projeto 3690/05, pelo financiamento e, ao PIPE/FURB-Art. 170, pela bolsa do segundo autor.

## 7 Referências

CHEVALIER, P. Aquisição e processamento de dados, in. TUCCI C.E.M., **Hidrologia ciência e aplicação**, 3<sup>o</sup> ed. Revisada, ABRH-Edusp, Porto Alegre, 2004, p.485-525.

CRUZ, J.C.; TUCCI, C.E.M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **RBRH**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural e Santa Catarina. Microbacia Hidrográfica da Concórdia. Município de Lontras. Estado de Santa Catarina – Brasil: Relatório – Marco Zero da Qualidade da Água para Consumo Humano e da Rede Hídrica, 2005, 76 p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte, CPRM, 2007, 561 p.

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.D. (org). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**, Porto Alegre, ABRH, 2003, 628 p.

PAIVA, E.M.D.; OPPA, L.F.; PAIVA, J.B.D.; MARCON, I.R. Erros na medição da vazão: efeitos na curva chave, in anais XXXI Congresso Interamericano Aids, Santiago, Chile, p. 1-8, 2008.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P.M.; MELLO, C.R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 374-380. 2006.

SILVA, C. L. Análise estatística das características de vazão do córrego Capetinga. *Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 311-317, 2003.