

LEONARDO BATISTEL


**ESTUDO DO COEFICIENTE DE RECESSÃO EM TRÊS BACIAS
HIDROGRÁFICAS EMBUTIDAS NO MUNICÍPIO DE RIO
NEGRINHO - SC**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como
requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul.

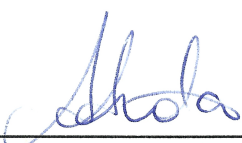
Orientador: Prof^o Dr. Fernando Grison

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e
aprovado pela banca em: 04 / 12 / 2015

BANCA EXAMINADORA



Prof^o Dr. Fernando Grison – UFFS



Prof^a Me. Aline de Almeida Mota – UFFS



Prof^o Dr. Pedro Augusto Pereira Borges - UFFS

ESTUDO DO COEFICIENTE DE RECESSÃO EM TRÊS BACIAS HIDROGRÁFICAS EMBUTIDAS NO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO – SC

Leonardo Batistel¹
Fernando Grison²

Resumo

O trabalho objetivou investigar o comportamento do coeficiente de recessão em três bacias hidrográficas embutidas (RB01, RB10 e RB11) no município de Rio Negrinho – SC. Para cada uma das bacias analisou-se uma série histórica de dados de 4 anos (2011 – 2014). Realizou-se o ajuste exponencial dos segmentos de recessão obtendo-se os coeficientes de recessão, efetivando-se a média de K para cada bacia e ano. Também foi feita a análise da curva de recessão mestre (MRC) obtida através da aplicação do método da tabulação, resultando em coeficientes de recessão das $MRCs$ para cada bacia e ano. Os valores médios de K e das $MRCs$ foram comparados e analisados juntamente com o coeficiente de correlação dos ajustes. Os coeficientes de correlação apresentaram valores superiores a 0,9 expressando boa significância das análises. Os valores característicos de K obtidos se mostraram superiores a 0,9, implicando em baixa taxa de decaimento da recessão, ou seja, as bacias apresentam potencialidade de armazenamento de água. Investigou-se uma relação entre os valores de K e as condições de umidade das bacias, traduzidas pelo índice de precipitação antecedente (API). Calculou-se o API para os intervalos de 3, 7, 14, 21 e 30 dias e realizou-se análises estatísticas de regressão simples e multivariada. Os resultados obtidos demonstraram inexistência de relação entre os valores de API e K , sugerindo que o comportamento da recessão não é influenciado pelas condições de umidade das bacias.

Palavras-chave: Coeficiente de recessão. Curva de recessão mestre. API .

INTRODUÇÃO

As hidrociências tem por finalidade analisar as águas da Terra, sua distribuição e circulação, as suas propriedades físicas e químicas, e sua interação com o ambiente. Dessa forma, a hidrologia pode ser definida como o englobamento de todas as hidrociências, ou de forma mais rigorosa, definida como estudo do ciclo hidrológico, isto é, a circulação infinita de água entre a terra e a sua atmosfera. (CHOW, MAIDMENT, MAYS, 1988). Segundo UNESCO (1964), a hidrologia é definida como sendo a ciência que aborda as águas da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e suas interações com o ambiente físico e biológico, incluindo as suas respostas à atividade humana.

A importância dos estudos hidrológicos para a sociedade é indiscutível. Segundo Hornberger, Raffensperger e Wiberg (1998), no século XX observou-se um grande aumento da utilização da água, bem como o aumento no risco de sua contaminação. Tal aumento da utilização da água implica na necessidade de realização de estudos em hidrologia aplicada, em busca de conhecimentos científicos para propor orientações para o planejamento e gestão adequados dos recursos hídricos (CHOW, MAIDMENT, MAYS, 1988).

O desenvolvimento da hidrologia só é possível a partir do entendimento dos processos hidrológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica, a área de captação natural da água da chuva. Com base nesse entendimento, se pode analisar riscos ambientais, instalar

¹Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Chapecó, leonardo.batistel@outlook.com.br.

² Professor do curso de Engenharia Ambiental, Doutor em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Chapecó, fernando.grison@uffs.edu.br.

empreendimentos, estações de captação e tratamento de água e promover o uso adequado dos recursos disponíveis da bacia. Entre os processos hidrológicos existem aqueles relacionados aos escoamentos de água na rede de drenagem da bacia hidrográfica. Um dos grandes desafios da hidrologia é compreender as partes que compõem a água em um rio, ou canal natural. Ou seja, separar os escoamentos superficiais, subsuperficiais e de base, ou subterrâneos. Tallaksen (1995), em seu trabalho de revisão de métodos de análise de escoamento de base, verificou a existência de dificuldades em distinguir as diferentes origens de um fluxo.

Nos estudos sobre os escoamentos de água na bacia hidrográfica o hidrograma se mostra como um recurso essencial neste processo. O hidrograma é a representação do fluxo de água em função do tempo. O mesmo constitui uma das principais ferramentas para efetivação de estudos hidrológicos, apresentando informações essenciais para análise do comportamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

Produzido pela drenagem do aquífero subterrâneo, o escoamento de base é muito importante do ponto de vista ambiental, pois é responsável na produção de água na bacia hidrográfica durante as estações secas (TUCCI, 2009), proporcionando a existência de fluxo de água nos rios para a manutenção da fauna aquática. O escoamento de base representa a porção do fluxo proveniente da água subterrânea (HALL, 1968), podendo ser examinado a partir da análise de curvas de recessão de hidrogramas.

A curva de recessão profere, de modo geral, sobre os estoques naturais de água que alimentam o fluxo. Assim, ela contém muitas informações fundamentais sobre propriedades de armazenamento e as características de um aquífero (TALLAKSEN, 1995).

Pode-se ainda observar a curva de depleção normal, ou curva de recessão mestre do escoamento de base, a qual é expressa por um gráfico característico de fluxos de recessão compilados pela sobreposição de diversas das curvas de recessão (HORTON, 1933). Como a curva mestre é ajustada a partir da análise de uma gama de curvas individuais de recessão, ela pode ser adotada como uma curva base para análise do comportamento da recessão na bacia hidrográfica.

A efetivação do ajuste das curvas de recessão propicia o cálculo do parâmetro de recessão, ou coeficiente de recessão. Este parâmetro representa a condutividade hidráulica e a porosidade do solo da bacia de drenagem (SUJONO, SHIKASHO, HIRAMATSU, 2004).

Portanto, a curva de recessão é obtida a partir do hidrograma, que segundo Chow (1959), é uma expressão integral das características fisiográficas e climáticas que regem as relações entre precipitação e os tipos de escoamento de uma bacia hidrográfica.

A análise de hidrogramas e o ajuste de curvas de recessão para estimativa do coeficiente de recessão se mostram como importantes ferramentas para a compreensão do comportamento da água na bacia hidrográfica. As possíveis relações existentes entre o coeficiente de recessão e as características e condições da bacia hidrográfica podem fornecer conhecimentos que auxiliem no adequado planejamento e gestão de recursos hídricos.

Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo investigar a relação entre o comportamento do escoamento de base e as condições de armazenamento de água da bacia hidrográfica do rio dos Bugres por meio da análise de coeficientes de recessão e analisar a influência do clima e das condições de umidade antecedente da bacia no coeficiente de recessão.

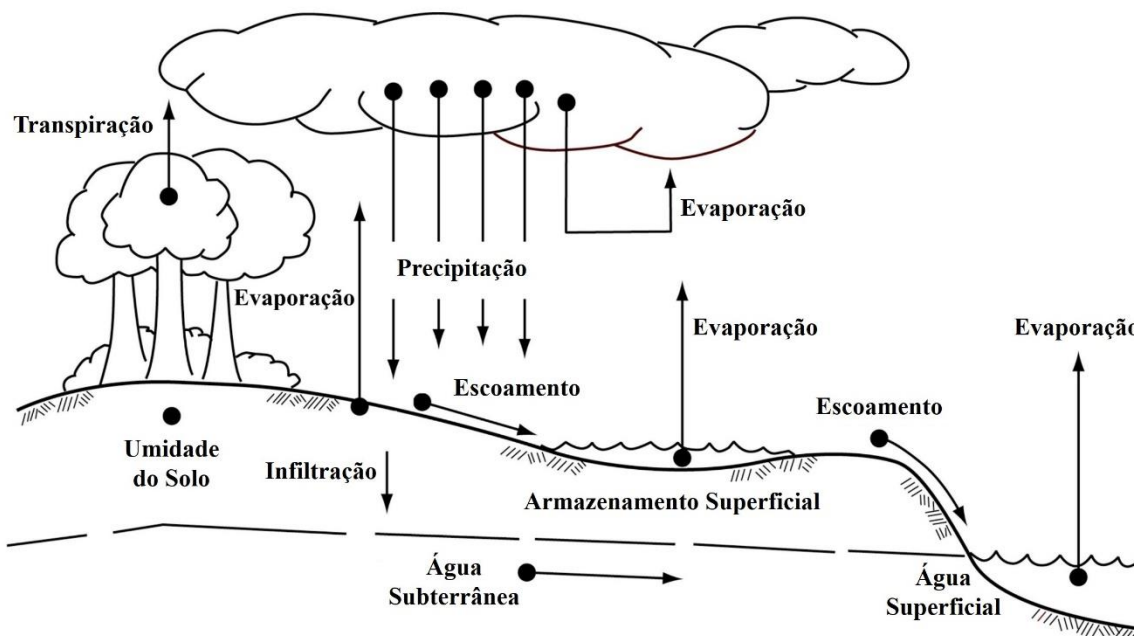
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ciclo hidrológico

Segundo Tundisi (2003), a água é o “componente fundamental de dinâmica da natureza, impulsiona todos em ciclos, sustenta a vida e é o solvente universal”. Responsável pela dinamização de todos os ciclos ecológicos, a água se estabelece como o recurso natural mais importante existente.

O ciclo hidrológico (Figura 1) representa o movimento da água no planeta Terra e, pode ser dado em diferentes escalas. Em escala global, pode-se dizer que o ciclo hidrológico é definido pelo processo de recirculação interminável de água, atrelando a água existente na atmosfera, nos continentes e nos oceanos (HORNBERGER, RAFFENSPERGER, WIBERG, 1998).

Figura 1 – Representação do ciclo hidrológico.



Fonte: Adaptado de TOWNSHIP of West Windsor, 2011.

Tundisi (2003) afirma que a instabilidade e mobilidade da água são as características fundamentais de qualquer volume de água superficial encontrada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas, já que fazem parte do ciclo hidrológico, independentemente de sua escala. Segundo Tucci (2004), vários fenômenos fazem parte do ciclo hidrológico. Grande parte dos fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera, a qual consiste na camada da atmosfera entre 8 e 16 km de altitude. Em outra condição, a estratosfera, a qual consiste na camada de 40 a 70 km de altitude, possui a importância da retenção da camada de ozônio, responsável por regular a temperatura do planeta, principal fonte de energia do ciclo hidrológico.

Pode-se dizer que a energia solar é a principal impulsionadora do ciclo hidrológico. Os processos dinâmicos de formação e o transporte de vapor e líquido em atmosfera de vapor de água são, em grande parte, impulsionados pela energia solar. A precipitação e o fluxo de água sobre a superfície e abaixo da superfície da terra são fundamentalmente influenciados pela gravidade (HORNBERGER, RAFFENSPERGER, WIBERG, 1998).

A hidrologia de uma região é determinada principalmente pelos seus padrões climáticos e por fatores físicos, tais como topografia, geologia e vegetação. Além disso, com o progresso

da civilização, as atividades humanas invadiram gradualmente o ambiente natural da água, alterando o equilíbrio dinâmico do ciclo hidrológico e, assim iniciando novos processos e eventos (CHOW, MAIDMENT, MAYS, 1988).

O ciclo hidrológico é constituído pela evaporação de água no estado líquido em vapor de água que é movido em torno da atmosfera. Posteriormente, o vapor de água se condensa em líquido/sólido e cai para a superfície em forma de precipitação. Os oceanos evaporam mais água do que recebem como precipitação, enquanto o oposto é verdadeiro sobre os continentes (DAVIE, 2008). Dessa forma, a evaporação e a precipitação podem ser considerados os principais processos hidrológicos responsáveis pela movimentação da água na Terra.

Outros processos hidrológicos, tais como a transpiração das plantas, a percolação e a infiltração de água no solo assim como a drenagem são componentes do ciclo hidrológico (TUNDISI, 2003).

A precipitação é a principal responsável pela geração de vazões em uma bacia hidrográfica e, conforme Davie (2008), pode ser definida como a liberação de água a partir da atmosfera para a superfície terrestre, abrangendo todas as formas de estados de água lançados pela atmosfera, tais como neve, granizo e chuva.

Parte do volume de água precipitado sobre o solo é infiltrado, até que esse fique saturado, pois o solo é um meio poroso. Parte da infiltração é absorvida por raízes de vegetais que a devolvem parcialmente em forma de vapor dando origem à transpiração, como (SILVEIRA, 2004).

A partir da infiltração da água através da zona não-saturada, ela poderá atingir o lençol freático e tornar-se água subterrânea. Esta água move-se lentamente e não está disponível para evaporação, conseqüentemente, tem um longo tempo de residência (DAVIE, 2008).

A outra parte da precipitação que não é absorvida pela interceptação e pela infiltração é escoada superficialmente, ou seja, é transportada para jusante de acordo com a topografia do terreno da bacia hidrográfica. A aceleração da gravidade é o principal fenômeno que impulsiona o escoamento superficial da água (SILVEIRA, 2004).

Bacia hidrográfica

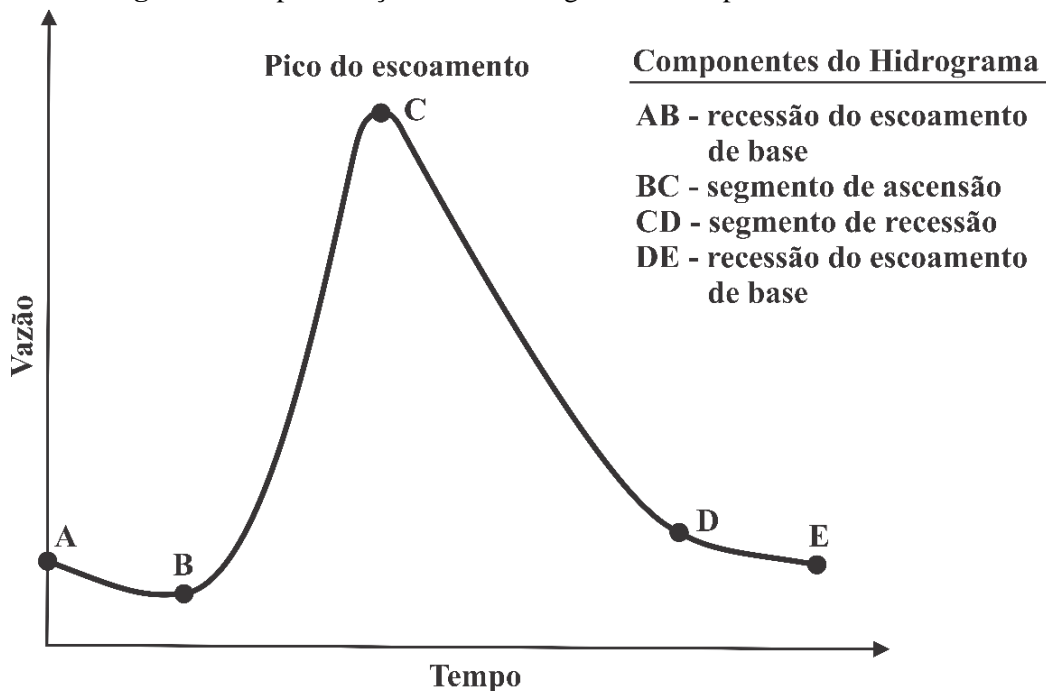
Nos estudos hidrológicos, a unidade espacial mais comum a ser considerada é a bacia hidrográfica, a qual consiste de uma área ou superfície de terra onde ocorre a incidência de água e, esta mesma água flui para um determinado ponto em comum através dos diversos fluxos criados (DAVIE, 2008).

A área de uma bacia hidrográfica se estende até seu divisor, o qual consiste em uma linha rígida imaginária que contorna a bacia. Essa linha separa as precipitações que caem em bacias hidrográficas vizinhas, e que escoam para cada um dos sistemas fluviais adjacentes (VILLELA, MATTOS, 1975).

Hidrograma e escoamento superficial

A viabilidade temporal da vazão no rio e a altura de água no mesmo são informações fundamentais para análises hidrológicas de águas superficiais. Um gráfico da descarga em função do tempo em um ponto é chamado de hidrograma (HORNBERGER, RAFFENSPERGER, WIBERG, 1998), conforme pode-se observar na Figura 2.

Figura 2 – Representação de um hidrograma e suas partes características.



Fonte: Adaptado de CHOW, MAIDMENT, MAYS, 1988.

Tucci (2004) caracteriza o hidrograma em três partes principais: ascensão, a qual está relacionada com a intensidade da precipitação e possui elevado gradiente; região de pico, refere-se à região próxima ao valor máximo do hidrograma, onde começa a ocorrer a mudança de inflexão resultante da redução da alimentação de chuvas; recessão, onde apenas o escoamento subterrâneo contribui para a vazão do rio. A recessão de um hidrograma é dada após o pico do fluxo e é caracterizada por um longo e lento decréscimo na vazão até o momento em que o escoamento de base é atingido novamente (DAVIE, 2008).

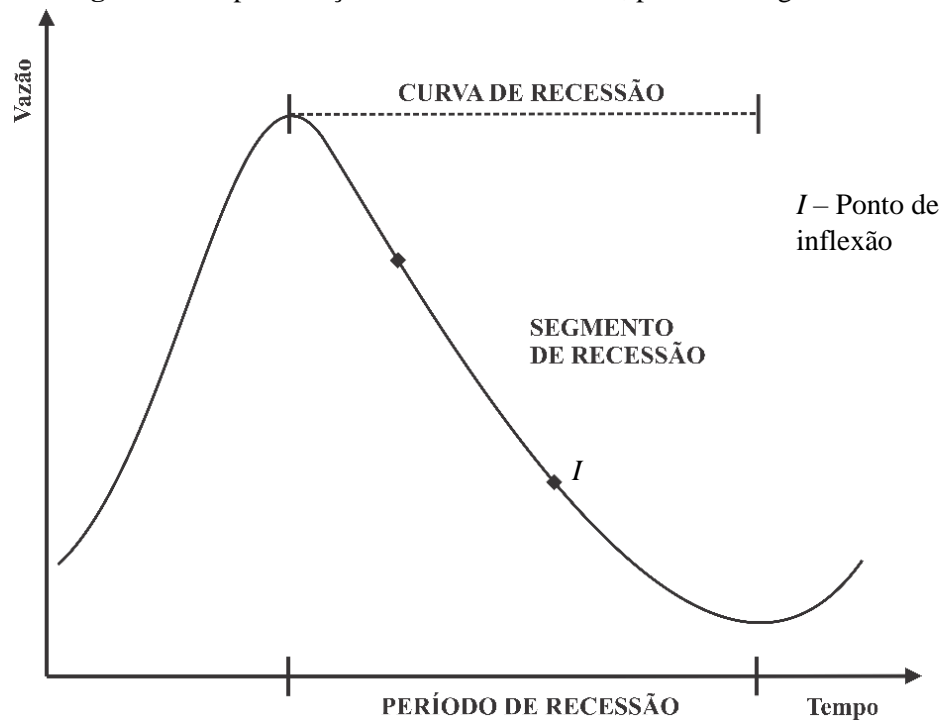
A separação de um hidrograma em escoamento de base e escoamento superficial é uma tarefa comum, embora não seja fácil (DAVIE, 2008). No processo de separação de um hidrograma busca-se distinguir a parcela da vazão de um rio gerada pelo escoamento de base e a parcela desta vazão gerada pelo escoamento superficial provocado por um evento hidrológico.

Curva de recessão

Para verificar as influências dos escoamentos sobre a vazão, deve-se realizar uma análise da curva de recessão do hidrograma gerado pelo evento hidrológico. A curva de recessão do hidrograma expressa a vazão em função do tempo, durante um período sem ocorrência de precipitações significativas, em que o rio é alimentado unicamente pelo aquífero subterrâneo (BARBOSA, FILL, 2001).

A curva de recessão de um hidrograma representa a diminuição da descarga do armazenamento na ausência de reabastecimento (Figura 3). Todas as recessões representam retiradas do armazenamento. A forma de cada retirada, depende não só da natureza e da extensão do reservatório de armazenagem, mas também da natureza e extensão dos canais através dos quais o fluxo é encaminhado (TOEBES, STRANG, 1964).

Figura 3 – Representação da curva de recessão, período e segmento.



Fonte: Adaptado de TALLAKSEN, 1995.

A análise de curvas de recessão é um método frequentemente utilizado na prática hidrológica, pois fornece uma ampla gama de resultados interpretações (GREGOR, MALÍK, 2012a). Sua análise fornece informações sobre as características de retenção da bacia e de armazenagem subterrânea (WITTENBERG, 1964).

Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004) compararam uma série de técnicas para realizar a análise da recessão de hidrogramas e também apresentaram o desempenho de cada uma das técnicas aplicadas. Para estimar o parâmetro de recessão, Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004) aplicaram técnicas em curvas de recessão individuais e em uma série de curvas de recessão ajustadas e compararam os resultados obtidos em cada uma das técnicas aplicadas.

Ainda pode-se observar a curva de depleção normal, ou curva de recessão mestre do escoamento de base, a qual é expressa por um gráfico característico de fluxos de recessão compilados pela sobreposição de diversas das curvas de recessão (HORTON, 1933). Dessa forma, a curva mestre pode ser adotada como a curva base do comportamento da recessão de hidrogramas da bacia hidrográfica analisada, uma vez que compreende diversas curvas de recessão provenientes de uma gama de eventos hidrológicos.

A partir do ajuste das curvas de recessão de hidrogramas, pode-se estimar o valor do coeficiente de recessão K . Segundo Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004), este coeficiente de recessão K representa os parâmetros de condutividade hidráulica e porosidade do solo da bacia hidrográfica em questão.

Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004) ressaltam que um problema importante na determinação do K para uma determinada bacia hidrográfica, utilizando um único segmento de curva de recessão, é a elevada variabilidade encontrada no comportamento destes segmentos individuais.

Para superar o problema, Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004) propõem a efetivação do ajuste da curva de recessão mestre, que normalmente é definida pela compilação de várias curvas individuais. Sujono, Shikasho e Hiramatsu (2004) ainda ressaltam a existência de diversos métodos que podem ser aplicados para construir a curva mestre.

Índice de Precipitação Antecedente

O Índice de Precipitação Antecedente (*API*) é um índice que representa a umidade armazenada dentro de uma bacia de drenagem antes de um evento de precipitação. Pode ser definido como uma soma ponderada dos valores diários de precipitação e é utilizado como um índice de umidade do solo (LINSLEY & KOHLER, 1951). O índice de precipitação antecedente também pode ser utilizado na estimativa dos rendimentos de escoamento de chuvas (ALI, GHOSH, SINGH, 2010).

Segundo Linsley & Kohler (1951) índice de precipitação antecedente é geralmente definido por uma equação do tipo:

$$API = \sum_{i=1}^n b_i \cdot P_i \quad (1)$$

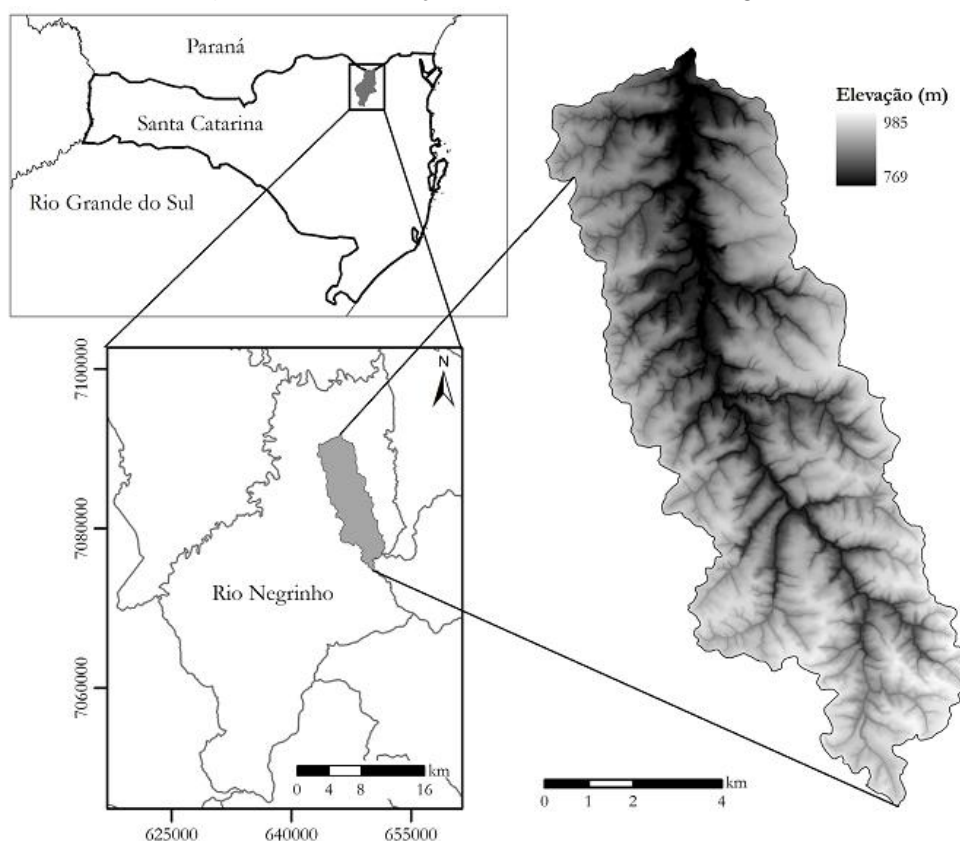
onde *API* é o Índice de Precipitação Antecedente, P_i é a precipitação acumulada em *i* dias anteriormente ao evento considerado e b_i é uma constante dada em função do tempo expressa por $b_i = 1/i$ e *n* é o número de termos arbitrariamente selecionados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A área em estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres (BHRB), localizada no norte do estado de Santa Catarina e inserida em sua totalidade no município de Rio Negrinho - SC (Figura 4), a qual possui uma área de 66,41 km² (GRISON, 2013).

Figura 4 – Localização da bacia do Rio dos Bugres.



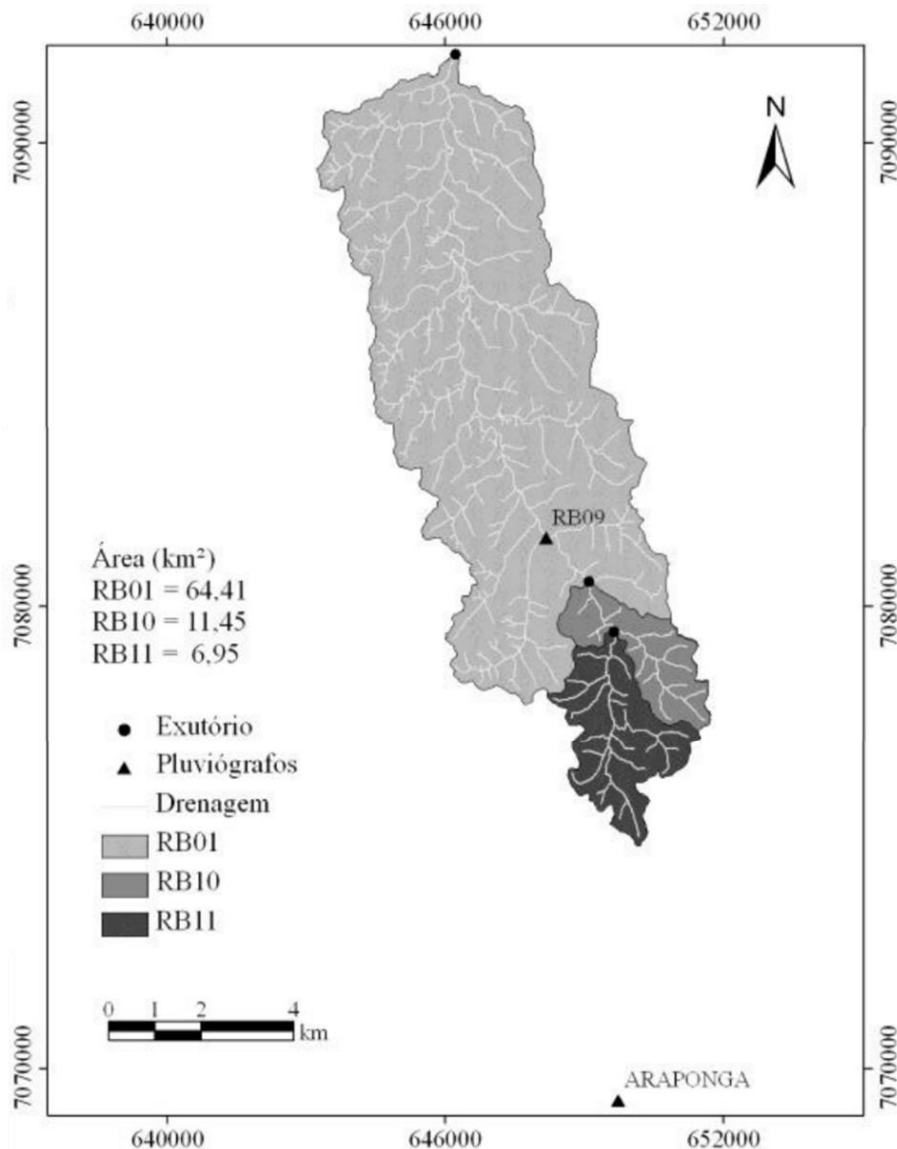
Fonte: GRISON, MOTA, KOBIYAMA, 2014.

Para realização desse trabalho foram estudadas, além da bacia principal, duas bacias hidrográficas embutidas à BHRB. Na Figura 5 é possível observar os três pontos de exutório das bacias de estudo, representados por RB01, RB10 e RB11.

Segundo Grison (2013), a geologia da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bugres tem características bastante variadas, porém existe a predominância do arenito e do folheto, os quais são resultantes da deposição de extensas e espessas sequências de sedimentos predominantemente finos.

Os solos predominantes da BHRB são Cambissolos. Os Cambissolos compreendem solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente bastante heterogêneo, tanto no que se refere à cor, espessura e textura, quanto no que diz respeito à atividade química da fração argila e saturação por bases (GRISON 2013).

Figura 5 – Localização dos pontos de exutório das bacias de estudo.



Fonte: CARDOSO, 2013.

Conforme Cardoso (2013) a área de estudo era caracterizada por Floresta Ombrófila Mista Montana, porém parte desta vegetação foi retirada e o solo recebeu novos usos. O uso do solo na BHRB pode ser observado através da Figura 6, constando suas percentagens de usos na Tabela 1.

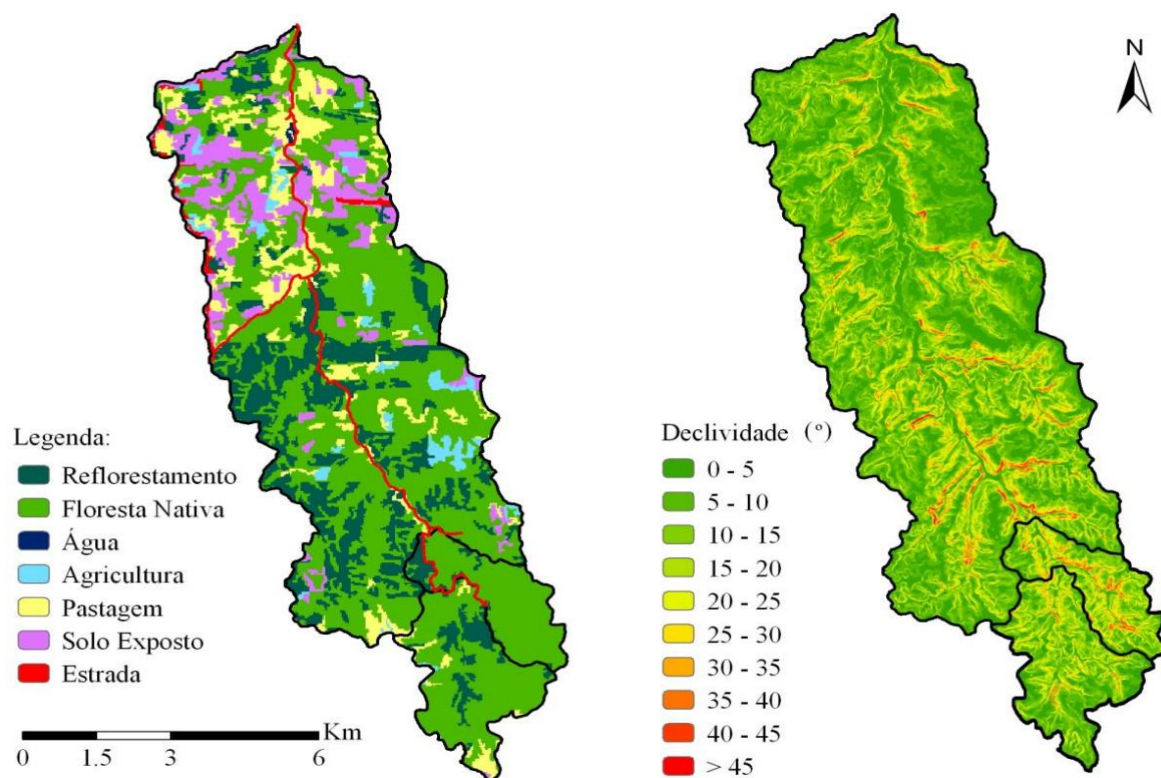
Tabela 1 – Percentagens de usos do solo nas bacias hidrográficas.

Bacias	Usos do solo (%)						
	Reflorestamento	Floresta Nativa	Água	Agricultura	Pastagem	Solo Exposto	Estrada
RB01	19,5	56,3	0,1	2,7	10,7	8,9	1,8
RB10	14,8	79,4	0,0	0,5	4,1	0,1	1,1
RB11	16,1	75,5	0,0	0,8	6,8	0,2	0,6

Fonte: CARDOSO, 2013.

Cardoso (2013) também realizou estudos de declividade, constatando que a distribuição das declividades é semelhante para todas as bacias, apresentando valores médios de 11° a 12°, mínimas de 0° para todas as bacias e as declividades máximas expressaram valores entre 49° e 55°.

Figura 6 – Mapa de usos do solo e cobertura vegetal e de declividade das bacias RB01, RB10 e RB11.



Fonte: CARDOSO, 2013.

Dados de vazões

Os dados hidrológicos foram obtidos do monitoramento das estações fluviométricas automáticas instaladas nos pontos RB01, RB10 e RB11 da BHRB. Os dados dessas estações foram monitorados entre os anos de 2011 a 2014, com intervalo de 10 minutos.

Para as estimativas de vazões (Q) foram utilizadas as curvas-chave dessas estações construídas por Grison (2013), conforme as Equações 2 a 9 e seus respectivos limites de aplicabilidade, a seguir:

- i. **RB01:**
- | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-----|
| $Cota \leq 1,16 \text{ m}$ | $Q = 3,27.Cota^{2,60}$ | (2) |
| $1,16 < Cota \leq 2,21 \text{ m}$ | $Q = 3,11.Cota^{2,93}$ | (3) |
| $2,21 < Cota \leq 2,25 \text{ m}$ | $Q = 1,34.Cota^{3,98}$ | (4) |
- ii. **RB10:**
- | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-----|
| $Cota \leq 0,98 \text{ m}$ | $Q = 2,51.Cota^{2,04}$ | (5) |
| $0,98 < Cota \leq 1,22 \text{ m}$ | $Q = 3,94.Cota^{-1,43}$ | (6) |
| $1,22 < Cota \leq 1,35 \text{ m}$ | $Q = 2,03.Cota^{2,59}$ | (7) |
- iii. **RB11:**
- | | | |
|-----------------------------------|------------------------|-----|
| $Cota \leq 0,76 \text{ m}$ | $Q = 1,61.Cota^{1,84}$ | (8) |
| $0,76 < Cota \leq 1,22 \text{ m}$ | $Q = 1,79.Cota^{2,00}$ | (9) |

Dados de vazão para cotas maiores que os intervalos apresentados não foram considerados devido ao aumento da incerteza nas estimativas. Entretanto, isso não acarretou em prejuízos nas análises para o presente trabalho, pois na análise de recessão não se utilizam os dados de pico do hidrograma.

O desenvolvimento das atividades do trabalho com os dados das estações da BHRB foi realizado em diversas etapas, descritas resumidamente no fluxograma do Apêndice 1.

Separação de eventos

Os dados de vazão foram plotados em gráficos expressando o fluxo de água em função do tempo, estabelecendo-se assim os hidrogramas. A partir dos hidrogramas, foi possível identificar os picos do fluxo e assim separar os segmentos do fluxo que correspondem à recessão do hidrograma.

Para facilitar a separação das recessões, utilizou-se o software HydroOffice, que possibilita a análise dos dados hidrológicos e exportação dos dados separados para outros softwares de análise. Seguiu-se as recomendações expressas por Gregor e Malík (2012b), no manual de utilização do software.

Análise da recessão de hidrogramas

Para uma melhor compreensão dos processos que influenciam no escoamento de base os segmentos das curvas de recessão foram analisados individualmente e coletivamente.

Análise individual

Para análise individual das curvas de recessão primeiramente foi identificado o ponto de inflexão (*I*) do hidrograma (Figura 3), ponto que separa o escoamento superficial do de base. Para isso, foi utilizado método do cruzamento de retas (KOBAYAMA et al., 2006). A partir do segmento de recessão do hidrograma em escala logarítmica foram desenhadas duas retas descontínuas observando a tendência da curva, conforme observa-se nas Figuras 7, 8 e 9. O ponto de interseção delas determina o fim do escoamento superficial. A partir do ponto de inflexão os dados de vazão ajustados utilizando as Equações 10 e 11 abaixo:

$$Q = Q_0.e^{-f_c.t} \quad (10)$$

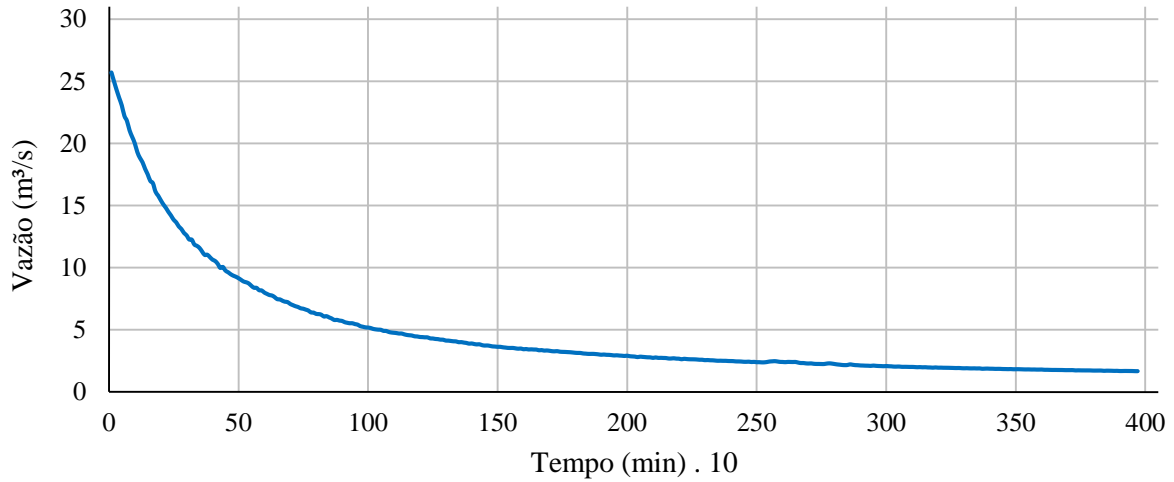
$$Q = Q_0.K^t \quad (11)$$

onde Q é a vazão no tempo, Q_0 é a vazão no início da recessão, f_c é a constante de decaimento da vazão, K é o coeficiente de recessão e t é o tempo.

O coeficiente de recessão K também pode ser expresso pela Equação 12:

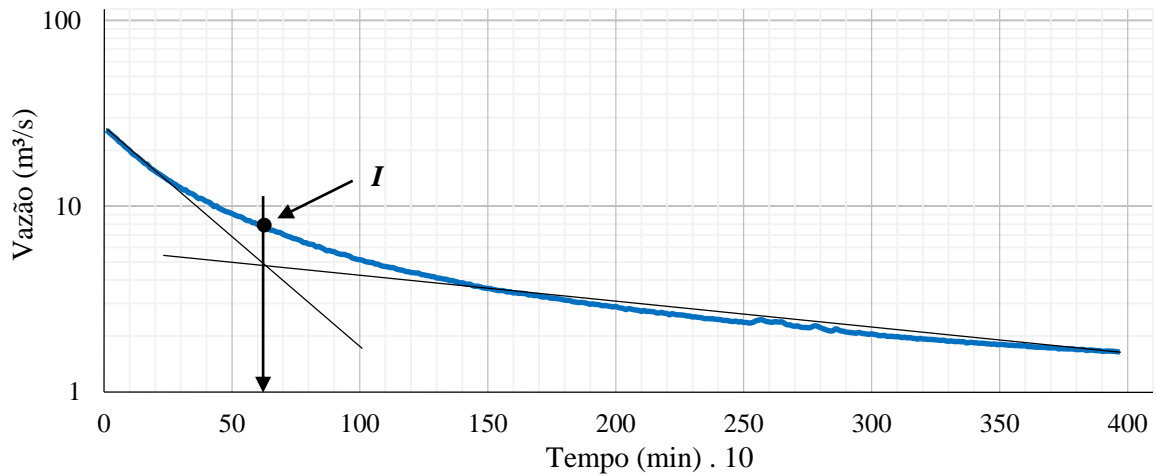
$$K = e^{-f_c} \quad (12)$$

Figura 7 – Curva de recessão individual.



Fonte: Elaborada pelo autor.

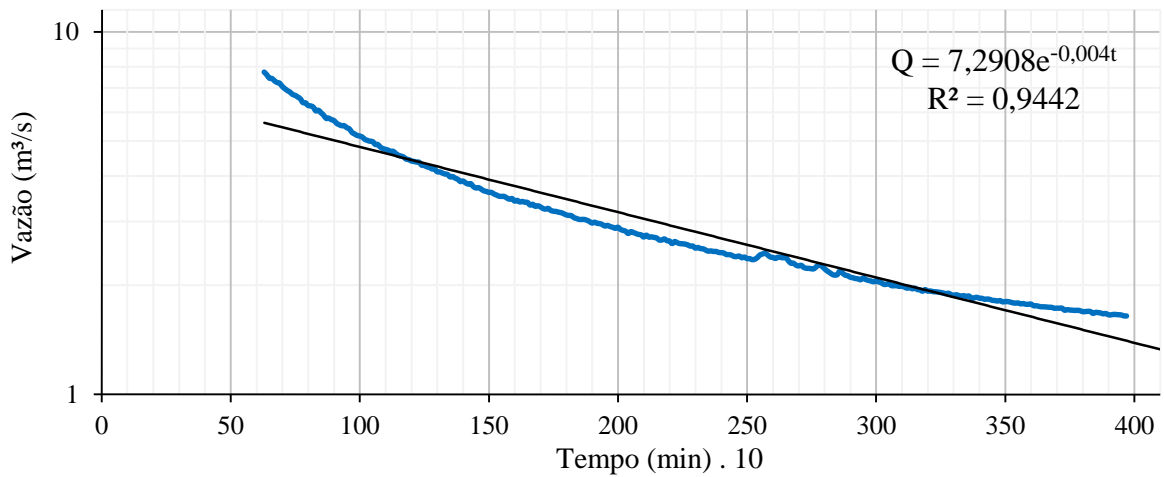
Figura 8 – Definição do ponto de inflexão (*I*) na curva de recessão.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir do ponto de inflexão, os dados são plotados em escala semilogarítmica e ajustados exponencialmente (Figura 9) conforme a Equação 10.

Figura 9 – Segmento de recessão ajustado exponencialmente.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para verificar a confiabilidade do intervalo de dados ajustados no processo de obtenção do coeficiente de recessão K , realizou-se variações do número de dados compreendidos no ajuste, de forma a averiguar possíveis mudanças nos valores dos parâmetros obtidos. Constatou-se que pequenas variações no intervalo de dados não influenciam nos parâmetros obtidos no ajuste, ou seja, pequenos deslocamentos na definição do ponto de inflexão e o fim do segmento de recessão não interferem nos valores do ajuste.

Nessa etapa foram separados e analisados vários eventos de vazão em cada uma das bacias de estudo. Para a estação hidrológica da bacia RB01 foram utilizados 135 eventos, na RB10 foram utilizados 97 eventos e na RB11 foram utilizados 84 eventos.

A fim de verificar a sazonalidade dos coeficientes de recessão os eventos foram separados por estação do ano e calculados coeficiente médios para cada estação. A análise dos coeficientes de recessão para as diferentes estações do ano proporciona a verificação da influência de determinadas variações climáticas características de cada uma das estações sobre os valores de coeficientes de recessão.

Análise coletiva

A análise coletiva das curvas de recessão consiste em unir vários segmentos de recessão do hidrograma de forma a construir uma única curva. Essa curva é conhecida como curva de recessão mestre (*MRC*).

Segundo Hall (1968), três métodos bastante arbitrários são comumente utilizados para analisar o hidrograma e estimar a curva de recessão mestre, sendo o *Matching Strip Method*, o Método da Correlação e o Método da Tabulação.

Para a construção da curva de recessão mestre utilizou-se o método da tabulação. Neste método, o valor inicial da recessão é escolhido a partir de todos os valores iniciais dos segmentos de recessão. O valor inicial mais elevado do segmento de recessão torna-se o valor de partida da curva de recessão mestre. Os outros segmentos são então combinados por sua vez, com a curva de recessão mestre. O valor final da curva é igual à média dos valores dos segmentos (TOEBES, STRANG, 1964).

A Figura 10 exemplifica a construção da *MRC* através do método da tabulação.

Figura 10 – Construção da *MRC* pelo método da tabulação.

Curvas								MRC
28,114	28,114	28,114						28,114
28,114	27,727	27,727						27,856
28,114	27,727	27,727						27,856
28,114	26,964	27,344	27,344	27,344				27,422
27,727	26,964	26,964	27,344	26,964	26,964			27,155
27,727	26,964	26,588	26,964	26,588	26,588	26,588		26,858
27,344	26,588	26,215	26,588	26,588	26,588	25,846		26,537
26,964	25,846	25,846	26,964	26,964	26,215	25,118	25,480	26,175
26,964	25,846	26,215	26,215	26,215	25,846	24,758	25,480	... 25,943
26,588	25,846	25,846	26,215	26,215	25,846	24,051	24,758	25,671
26,588	25,480	25,480	25,846	26,215	25,118	23,702	24,758	25,398
26,215	25,118	25,118	25,846	25,480	25,118	23,014	24,403	25,039
25,846	24,758	24,758	25,846	25,480	24,758	22,339	24,051	24,730
26,215	24,758	24,403	25,480	25,480	24,758	22,339	23,702	24,642
25,846	24,403	24,403	25,480	25,480	24,403	21,352	23,702	24,384
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em seguida, a curva de recessão mestre é representada num gráfico como uma única análise de recessão. O coeficiente de recessão K é determinado da mesma forma que na análise individual da curva de recessão.

Nesse trabalho foram construídas várias $MRCs$, uma curva a cada ano de dados, conforme a quantidade dos dados obtidos nas estações RB01, RB10 e RB11. Após a obtenção do coeficiente K das MRC , efetivou-se a comparação dos valores encontrados e uma análise sobre a confiabilidade e adequação dos métodos aplicados.

Índice de Precipitação Antecedente (API)

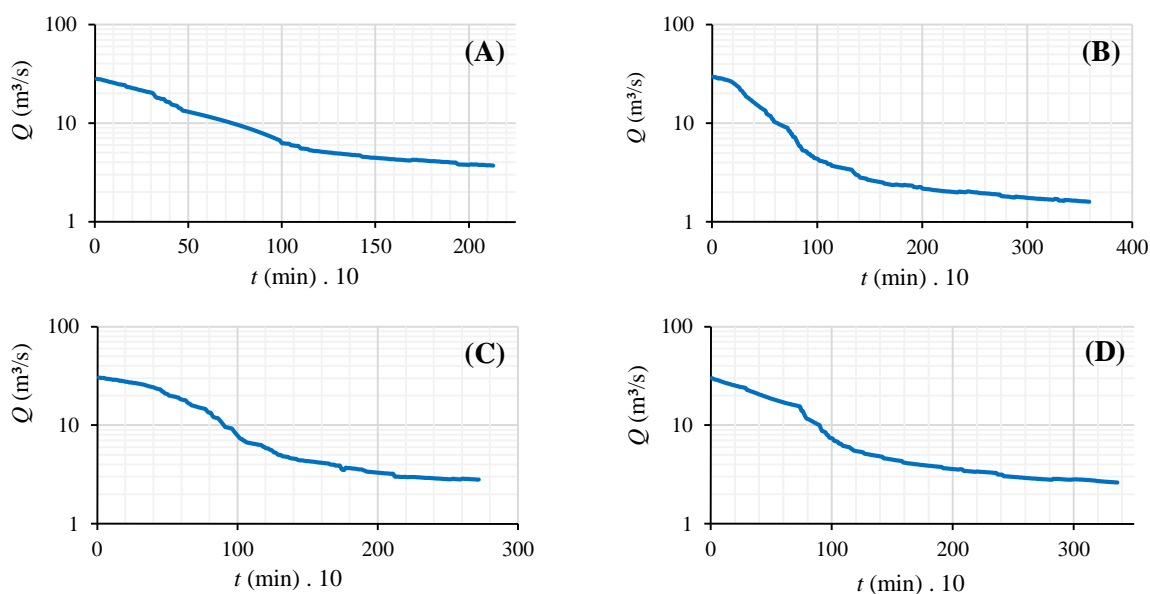
Buscando-se estabelecer uma possível relação de influência das condições de umidade da bacia hidrográfica sobre o comportamento da recessão do fluxo de água, ou seja, sobre o valor do coeficiente de recessão K , valores de API foram estimados para os intervalos de 3, 7, 14, 21 e 30 dias. Para isso, foram utilizados todos os dados de chuva medidos na estação pluviométrica localizada junto ao exutório da RB01 entre os anos de 2011 a 2014.

Realizou-se análises estatísticas de regressão linear simples utilizando o API como a variável independente ($K=f(API)$) e também análises de regressão linear multivariada, utilizando API e Q_0 como variáveis independentes ($K=f(API, Q_0)$) para todos os intervalos de $APIs$ obtidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

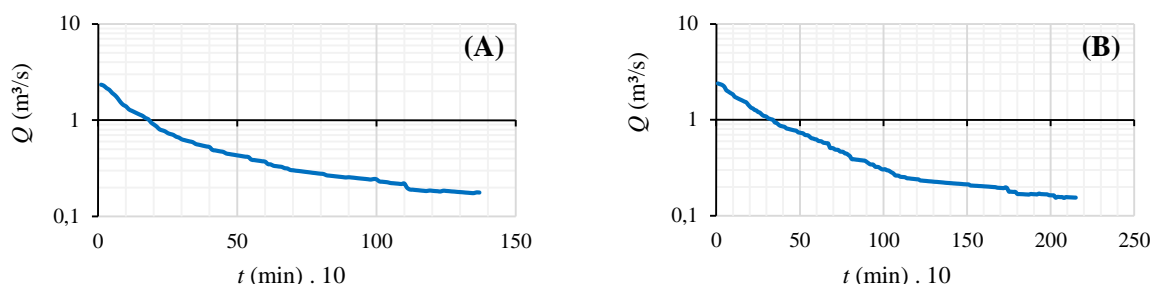
As figuras abaixo apresentam as curvas de recessão mestre ($MRCs$) obtidas através da aplicação do método da tabulação. Para a bacia RB01 obteve-se $MRCs$ (Figura 11) para todos os anos contidos na série de dados considerada (2011 – 2014). Por falhas nas séries de dados hidrológicos das bacias RB10 e RB11, construiu-se $MRCs$ apenas para os anos de 2012 e 2013 para estas bacias (Figuras 12 e 13).

Figura 11 – Curvas de recessão mestres da bacia RB01. (A): 2011; (B): 2012; (C): 2013 e (D): 2014.



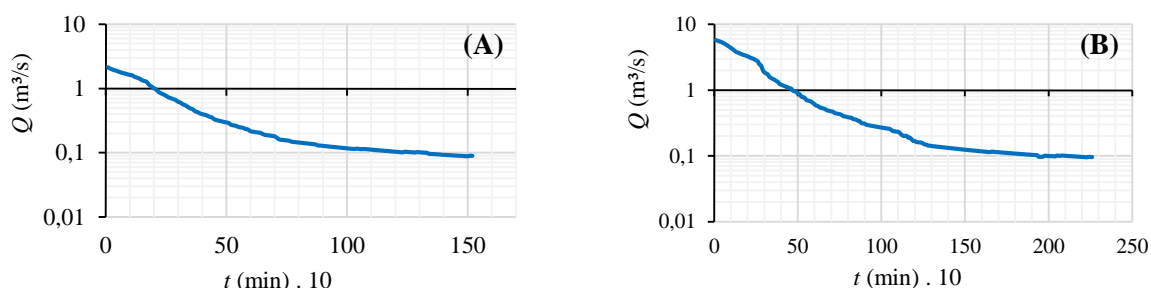
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Curvas de recessão mestres da bacia RB10. (A): 2012; (B): 2013



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 13 – Curvas de recessão mestres da bacia RB11. (A): 2012; (B): 2013.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para cada uma das *MRCs* realizou-se o ajuste para obtenção dos coeficientes de recessão (K_{MRC}).

Pode-se observar que as *MRCs* obtidas para cada uma das bacias apresentaram comportamento de decaimento semelhantes entre si, sugerindo que o coeficiente de recessão apresente valores semelhantes a partir das análises das *MRCs*.

Os valores de coeficientes de recessão obtidos das análises individuais das curvas de recessão podem ser observados nos Apêndices 2, 3 e 4.

Na Tabela 2 estão expressos os valores médios anuais dos coeficientes de recessão (\bar{K}) das análises individuais, o coeficiente de recessão da *MRC* (K_{MRC}), juntamente com seus respectivos coeficientes de correlação, médio anual (\bar{R}^2) e da *MRC* (R^2_{MRC}) para cada uma das bacias hidrográficas de estudo.

Tabela 2 – Coeficientes de recessão médios e das *MRCs*.

ANO	RB01				RB10				RB11			
	\bar{K}	\bar{R}^2	K_{MRC}	R^2_{MRC}	\bar{K}	\bar{R}^2	K_{MRC}	R^2_{MRC}	\bar{K}	\bar{R}^2	K_{MRC}	R^2_{MRC}
2011	0,998	0,93	0,997	0,97	0,991	0,98	-	-	0,994	0,98	-	-
2012	0,998	0,92	0,998	0,93	0,993	0,97	0,989	0,97	0,992	0,95	0,991	0,91
2013	0,998	0,95	0,996	0,94	0,996	0,94	0,994	0,93	0,993	0,94	0,995	0,90
2014	0,998	0,95	0,997	0,94	0,995	0,97	-	-	0,988	0,98	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que os valores obtidos para os coeficientes de recessão médios anuais se apresentam bastante similares em relação aos obtidos na *MRC*. Também pode-se ressaltar os valores apresentados dos coeficientes de correlação, os quais se mostraram, em sua maioria, com valores superiores que 0,9, indicando que as curvas de recessão se ajustam bem ao modelo exponencial.

Os valores de coeficientes de recessão apresentados se mostraram próximos a 1,0, indicando potencialidade de retenção de água na bacia hidrográfica, uma vez que aplicados na

Equação 11 tem-se uma aproximação relevante entre os valores de Q_0 e de Q em função do tempo.

Valores de K próximos a 1,0 implicam em baixas taxas de decrescimento de fluxo, ou seja, as contribuições do fluxo de base sofrem poucas alterações ao longo do tempo, tendendo a manter-se constantes. Dessa forma, pode-se afirmar que a reta de ajuste do escoamento de base tende a horizontalidade.

A Tabela 3 apresenta os coeficientes de recessão médios conforme as estações do ano.

Tabela 3 – Coeficientes de recessão médios conforme estações do ano.

BACIA	ESTAÇÕES DO ANO							
	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	\bar{K}	\bar{R}^2	\bar{K}	\bar{R}^2	\bar{K}	\bar{R}^2	\bar{K}	\bar{R}^2
RB01	0,998	0,95	0,998	0,93	0,998	0,95	0,998	0,93
RB10	0,995	0,97	0,991	0,97	0,995	0,96	0,995	0,94
RB11	0,992	0,97	0,993	0,95	0,994	0,95	0,993	0,93

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode-se observar que não houve variação significativa nos valores médios de K para cada estação do ano, indicando que as mudanças climáticas existentes nas diferentes estações do ano possuem pouca ou nenhuma influência sobre o comportamento do fluxo de base das bacias consideradas. Os coeficientes de correlação médios para cada uma das estações do ano apresentaram valores significativos, expressando a confiabilidade das análises.

A variação pouco significativa dos valores de K em relação às estações do ano indica que o comportamento da recessão do fluxo tende a se manter semelhante em diferentes épocas, ocasionando uma tendência de manutenção do fluxo mesmo em períodos de condições climáticas críticas.

A investigação do API para cada uma das bacias foi realizada para os intervalos de 3, 7, 14, 21 e 30 dias. Os resultados podem ser observados nos Apêndices 5, 6 e 7. Ressalta-se que por falta de dados ou mesmo falhas na série de dados, alguns valores de API não foram calculados, conforme está demonstrado nos apêndices. Para as análises de correlação, desconsiderou-se os eventos correspondentes às falhas.

A Tabela 4 apresenta os coeficientes de correlação obtidos para as regressões simples (utilizando o API como a variável independente, $K=f(API)$) e multivariada (utilizando API e Q_0 como variáveis independentes, $K=f(API, Q_0)$).

Tabela 4 – Resultados das análises de regressão simples e multivariada.

API (dias)	R^2 – Regressão Simples			R^2 – Regressão Multivariada		
	RB01	RB10	RB11	RB01	RB10	RB11
3	0,001522	0,003706	0,028234	0,078773	0,025085	0,030295
7	0,000933	0,009107	0,051154	0,087970	0,038971	0,051458
14	0,000073	0,023753	0,067628	0,100385	0,063053	0,067801
21	0,000001	0,029649	0,081770	0,070254	0,072313	0,081822
30	0,000008	0,029221	0,080673	0,068013	0,077034	0,080729

Fonte: Elaborada pelo autor.

As regressões apresentaram valores de coeficientes de correlação (R^2) abaixo de 0,1 em todas as análises efetuadas, tanto nas análises de regressão linear simples quanto nas de regressão linear multivariada, implicando assim que não existe relação significativa entre os valores de API sobre os valores de K bem como entre os valores de API e Q_0 sobre K .

Sagara (2001) correlacionou o coeficiente de recessão com o índice de precipitação antecedente obtendo resultados bastante satisfatórios, os quais apresentaram coeficientes de

correlação elevados, mostrando assim a existência de uma relação entre as condições de umidade da bacia hidrográfica, expressa pelo *API*, e o comportamento da recessão do fluxo dos eventos hidrológicos.

Pode-se atribuir tal diferenciação nos resultados de correlação obtidos com os de Sagara (2001) às características morfométricas e morfológicas da bacia hidrográfica, as quais se distinguem.

Pode-se ainda ressaltar o intervalo de amostragem dos dados de vazão considerados nos estudos, onde Sagara (2001) trabalhou com dados de vazões diários e neste estudo, utilizou-se de dados de vazões com intervalos de 10 (dez) minutos, representando o comportamento do fluxo de forma mais consistente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O entendimento dos processos hidrológicos dentro de uma bacia hidrográfica é fundamental para compreender o comportamento da dinâmica da água e assim promover ações de gestão e planejamento dos recursos hídricos. O conhecimento do coeficiente de recessão *K* se mostra como uma importante ferramenta neste processo, já que o mesmo expressa características relacionadas aos estoques naturais de água que alimentam o fluxo dentro de uma bacia hidrográfica.

Os resultados obtidos em relação ao coeficiente de recessão foram satisfatórios, apresentando significativo coeficiente de correlação. Os valores característicos dos coeficientes de recessão expressam potencial de armazenamento de água da bacia hidrográfica, promovendo sua capacidade de ser uma bacia alternativa de captação de água para abastecimento público e outras atividades passíveis de outorga.

A construção da curva de recessão mestre através do método da tabulação se mostrou adequada, uma vez que as curvas de recessão mestres apresentaram coeficientes de recessão semelhantes aos valores médios obtidos pelas análises das curvas de recessão individuais.

A inexistência de uma relação entre *API* e o coeficiente de recessão *K* sugere que o comportamento do fluxo de base não é determinado pelas condições de umidade da bacia hidrográfica, demonstrando assim que a vazão depende de outros fatores além da precipitação. Novas investigações conexas ao comportamento do coeficiente de recessão se mostram necessárias, buscando estabelecer relações do comportamento do fluxo de base na bacia hidrográfica.

Deve-se salientar que a investigação de outros parâmetros morfométricos e morfológicos da bacia hidrográfica buscando-se estabelecer relações expressivas com o coeficiente de recessão é de suma importância, pois proporciona uma melhor compreensão do comportamento dos processos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

- ALI, S.; GHOSH, N.C.; SINGH, R. Rainfall–runoff simulation using a normalized antecedente precipitation index. **Hydrological Sciences Journal**, v. 55, n. 2, p. 266-274, 2010.
- BAKO, M. D.; HUNT, D. N. Derivation of baseflow recession constant using computer and numerical analysis. **Hydrological Sciences Journal**, 1988, v. 33, n. 4, p. 357-367.
- BARBOSA, Ana M.; FILL, Heinz D. Modelo de Previsão de Vazão Baseado no Hidrograma Unitário. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n.4, p. 165-174, out./dez. 2001.
- CARDOSO, A. T. **ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO EM TRÊS BACIAS EMBUTIDAS NO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO - SC**. 101 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- CHOW, V. T. **Open channel hydraulics**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1959. 680p.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. McGraw-Hill: New York, 1988, 572 p.
- DAVIE, Tim. **Fundamentals of Hydrology**. 2. ed. New York: **Taylor & Francis Group**, 2008.
- GREGOR, Miloš.; MALÍK, Peter. Construction of master recession curve using genetic algorithms. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 60, n. 1, p. 3-15, 2012a.
- GREGOR, Miloš.; MALÍK, Peter. RC 4.0. User's Manual. **Software for Water Science**, 2012b, 36 p. Disponível em: <<http://hydrooffice.org/>>. Acesso em: 21 de julho de 2015.
- GRISON, F. **ESTUDO DA GEOMETRIA HIDRÁULICA DO RIO DOS BUGRES, NO MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO – SC**. 236 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- GRISON, F.; MOTA, A. A.; KOBİYAMA, M. Geometria hidráulica de seções transversais do rio dos Bugres. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.4, p. 205-213, Out/Dez 2014.
- HALL, F. R. Base-flow recessions – A review. **Water Resources Research**, v. 4, n. 5, p. 973-983, 1968.
- HORNBERGER, G. M.; RAFFENSPERGER, J.P.; WIBERG, P.L.; ESHLEMAN, K. L. Elements of Physical Hydrology. In: **Groundwater Hydrology**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, Estados Unidos, 1998, 302 p.
- HORTON, R. E. The role of infiltration in the hydrologic cycle. **Trans. Am. Geophys. Union**, v.14, p. 446-460, 1933.
- KOBİYAMA, M.; GRISON, F.; LINO, J.F.; SILVA, R.V. Estimativa Morfométrica e Hidrológica do Tempo de Concentração na Bacia do Campus da UFSC, Florianópolis - SC. In:

I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste (1: 2006: Curitiba), Curitiba: UFPR, anais, 11p.

LINSLEY, R. K. & KOHLER, M. A. **Predicting the runoff from storm rainfall**. U.S. Weather Bureau, Research Paper 34, 10 p., 1951.

SAGARA, Fabio T. **ESTUDO HIDROLÓGICO DE UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA EXPERIMENTAL NO MUNICÍPIO DE GENERAL CARNEIRO-PR, ATRAVÉS DE MONITORAMENTO E MODELAGEM**. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Agronomia, Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná., Curitiba, 2001.

SILVEIRA, André L.L., Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Segunda Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2009.

SUJONO, J.; SHIKASHO, S.; HIRAMATSU, K. A comparison of techniques for hydrograph recession analysis. **Hydrological Process**, v. 18, p. 403-413, 2004.

TALLAKSEN, L. M. A review of baseflow recession analysis. **Journal of Hydrology**, n. 165, p. 349-370, 1995.

TOEBES, C.; STRANG, D.D. On recession curves, 1 – Recession equations. **Journal of Hydrology**, New Zeland, v. 3, n. 2, p. 2- 15, 1964.

TOWNSHIP of West Windsor. **Little Bear Brook Watershed Study**. 2011. Disponível em: <http://www.westwindsornj.org/little_bear_brook_watershed_study.html>. Acesso em 12 de maio de 2015.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Segunda Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2009.

TUNDISI, José G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, out./dez. 2003.

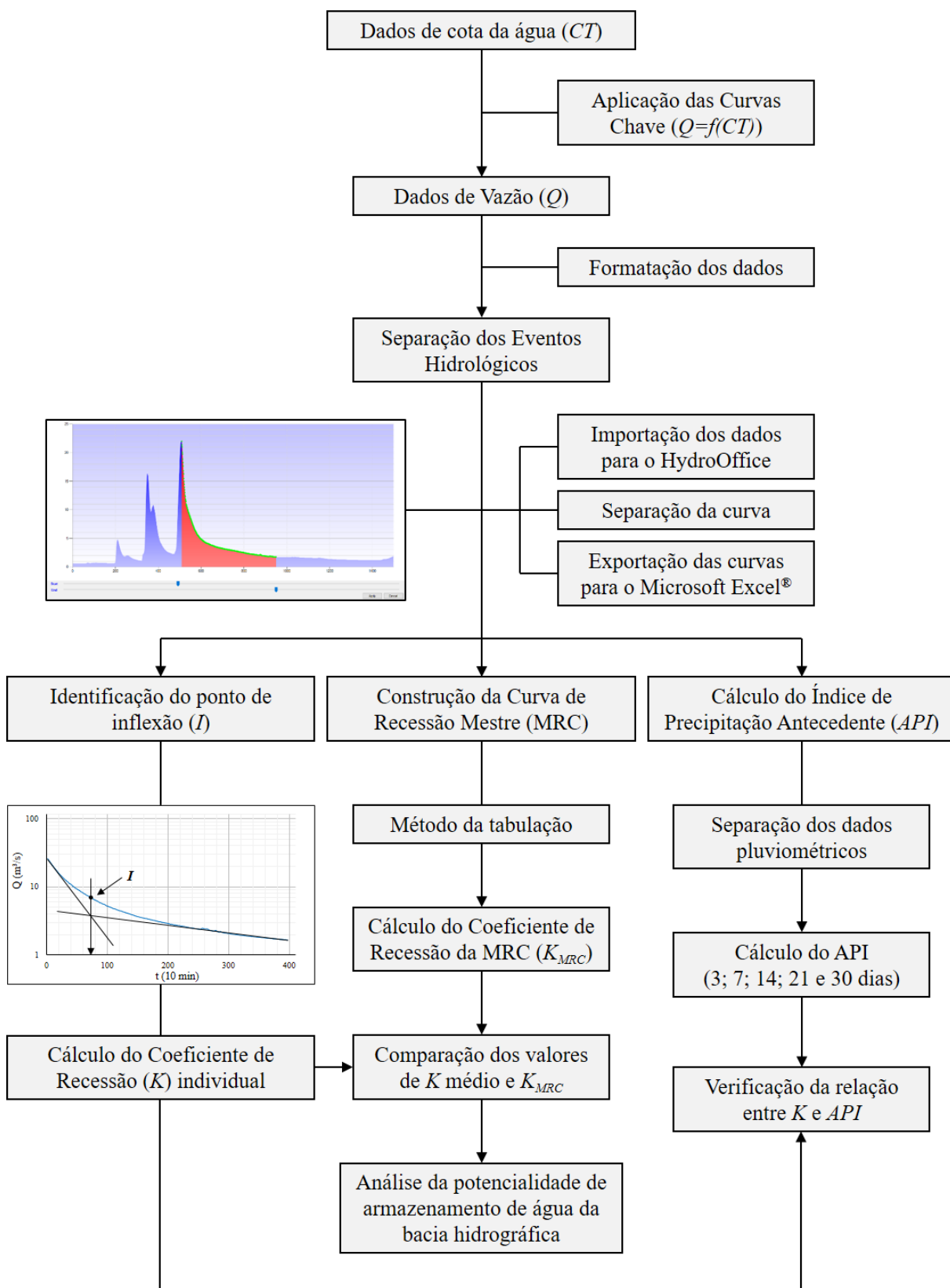
UNESCO. **Notes on the UNESCO programme of scientific hydrology**. Paris, 1964.

VILLELA, S.M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill, 1975. 245p.

WITTENBERG, H. Nonlinear analysis of flow recession curves. **FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data**, IAHS, n. 221, p. 61-67, 1994.

APÊNDICES

Apêndice I – Fluxograma de atividades.



Apêndice 2 – Coeficientes de recessão da bacia RB01.

EVENTO	Q₀	f_c	K
1	3,25	0,002	0,998
2	2,36	0,002	0,998
3	2,94	0,003	0,997
4	2,56	0,003	0,997
5	2,28	0,001	0,999
6	18,56	0,005	0,995
7	5,05	0,001	0,999
8	2,21	0,001	0,999
9	1,55	0,001	0,999
10	1,20	0,001	0,999
11	1,02	0,002	0,998
12	0,86	0,0008	0,999
13	1,20	0,006	0,994
14	1,66	0,004	0,996
15	6,86	0,002	0,998
16	1,89	0,002	0,998
17	7,17	0,002	0,998
18	6,12	0,004	0,996
19	11,88	0,003	0,997
20	14,47	0,002	0,998
21	6,41	0,002	0,998
22	10,20	0,002	0,998
23	10,00	0,002	0,998
24	2,41	0,002	0,998
25	1,77	0,002	0,998
26	3,53	0,003	0,997
27	9,24	0,002	0,998
28	2,35	0,002	0,998
29	3,36	0,001	0,999
30	2,42	0,001	0,999
31	1,44	0,002	0,998
32	2,78	0,006	0,994
33	7,17	0,003	0,997

34	1,83	0,002	0,998
35	0,34	0,003	0,997
36	5,31	0,003	0,997
37	2,07	0,001	0,999
38	5,31	0,002	0,998
39	0,98	0,0008	0,999
40	0,81	0,0007	0,999
41	0,83	0,001	0,999
42	1,02	0,003	0,997
43	0,90	0,001	0,999
44	0,42	0,0007	0,999
45	0,38	0,0008	0,999
46	0,33	0,001	0,999
47	4,92	0,007	0,993
48	6,37	0,004	0,996
49	5,54	0,003	0,997
50	8,89	0,003	0,997
51	4,87	0,002	0,998
52	2,24	0,003	0,997
53	12,87	0,002	0,998
54	0,81	0,001	0,999
55	0,76	0,0008	0,999
56	0,68	0,001	0,999
57	0,89	0,001	0,999
58	0,70	0,001	0,999
59	0,72	0,001	0,999
60	0,75	0,002	0,998
61	1,85	0,003	0,997
62	3,63	0,002	0,998
63	1,41	0,002	0,998
64	2,03	0,002	0,998
65	1,18	0,002	0,998
66	1,37	0,002	0,998
67	1,19	0,001	0,999
68	1,66	0,005	0,995
69	1,56	0,006	0,994
70	5,44	0,002	0,998

71	1,97	0,001	0,999
72	1,65	0,001	0,999
73	1,05	0,001	0,999
74	0,85	0,0008	0,999
75	0,84	0,003	0,997
76	1,05	0,003	0,997
77	0,94	0,002	0,998
78	1,57	0,002	0,998
79	1,33	0,001	0,999
80	1,22	0,0009	0,999
81	1,12	0,001	0,999
82	0,92	0,0008	0,999
83	1,26	0,002	0,998
84	2,04	0,001	0,999
85	1,54	0,0008	0,999
86	2,51	0,002	0,998
87	3,04	0,001	0,999
88	1,75	0,002	0,998
89	0,78	0,0009	0,999
90	7,45	0,002	0,998
91	3,47	0,005	0,995
92	14,28	0,002	0,998
93	7,67	0,001	0,999
94	3,36	0,005	0,995
95	9,18	0,002	0,998
96	5,26	0,002	0,998
97	4,57	0,002	0,998
98	7,09	0,002	0,998
99	7,01	0,003	0,997
100	10,33	0,002	0,998
101	5,19	0,003	0,997
102	8,24	0,001	0,999
103	2,51	0,001	0,999
104	4,19	0,002	0,998
105	5,64	0,001	0,999
106	1,39	0,0007	0,999
107	1,38	0,001	0,999

108	1,41	0,0008	0,999
109	1,71	0,001	0,999
110	1,42	0,001	0,999
111	1,44	0,001	0,999
112	1,61	0,001	0,999
113	1,81	0,001	0,999
114	1,37	0,002	0,998
115	2,57	0,001	0,999
116	3,29	0,002	0,998
117	3,59	0,001	0,999
118	2,51	0,0009	0,999
119	1,27	0,002	0,998
120	1,23	0,003	0,997
121	3,19	0,002	0,998
122	1,98	0,001	0,999
123	1,94	0,002	0,998
124	2,85	0,002	0,998
125	1,78	0,001	0,999
126	3,28	0,002	0,998
127	7,02	0,005	0,995
128	12,81	0,003	0,997
129	10,55	0,002	0,998
130	3,37	0,002	0,998
131	3,22	0,002	0,998
132	3,23	0,001	0,999
133	4,15	0,003	0,997
134	7,38	0,002	0,998
135	3,51	0,001	0,999

**Apêndice 3 – Coeficientes de recessão da
bacia RB10.**

EVENTO	Q₀	f_c	K
1	0,054	0,016	0,984
2	0,152	0,014	0,986
3	0,126	0,004	0,996
4	0,072	0,003	0,997
5	0,187	0,006	0,994
6	0,126	0,01	0,990
7	0,088	0,004	0,996
8	0,142	0,007	0,993
9	0,298	0,003	0,997
10	0,571	0,009	0,991
11	0,489	0,007	0,993
12	1,109	0,005	0,995
13	0,302	0,003	0,997
14	0,566	0,016	0,984
15	0,703	0,011	0,989
16	0,468	0,004	0,996
17	1,629	0,007	0,993
18	0,984	0,007	0,993
19	0,608	0,002	0,998
20	0,223	0,002	0,998
21	0,405	0,003	0,997
22	1,633	0,007	0,993
23	0,867	0,008	0,992
24	0,016	0,006	0,994
25	0,018	0,005	0,995
26	0,022	0,009	0,991
27	0,057	0,019	0,981
28	0,014	0,005	0,995
29	0,036	0,012	0,988
30	0,188	0,009	0,991
31	0,569	0,005	0,995
32	0,119	0,008	0,992
33	0,044	0,007	0,993
34	0,041	0,004	0,996
35	0,071	0,006	0,994
36	0,064	0,005	0,995
37	0,345	0,003	0,997
38	0,132	0,008	0,992
39	0,021	0,008	0,992
40	0,129	0,015	0,985
41	0,125	0,008	0,992
42	0,127	0,009	0,991
43	0,475	0,009	0,991
44	0,847	0,009	0,991
45	1,089	0,005	0,995
46	0,174	0,002	0,998
47	0,095	0,003	0,997
48	0,097	0,001	0,999
49	0,053	0,003	0,997
50	0,031	0,002	0,998
51	0,073	0,009	0,991
52	0,121	0,008	0,992
53	0,064	0,005	0,995
54	0,073	0,003	0,997

55	0,089	0,007	0,993
56	0,076	0,004	0,996
57	0,057	0,003	0,997
58	0,042	0,002	0,998
59	0,052	0,002	0,998
60	0,051	0,004	0,996
61	0,057	0,003	0,997
62	0,064	0,003	0,997
63	0,087	0,003	0,997
64	0,119	0,003	0,997
65	0,158	0,003	0,997
66	0,194	0,008	0,992
67	0,215	0,014	0,986
68	1,876	0,008	0,992
69	0,978	0,005	0,995
70	0,913	0,002	0,998
71	0,475	0,001	0,999
72	0,513	0,001	0,999
73	0,286	0,01	0,990
74	1,259	0,006	0,994
75	0,934	0,004	0,996
76	1,234	0,003	0,997
77	0,419	0,004	0,996
78	0,303	0,003	0,997
79	0,815	0,003	0,997
80	0,246	0,002	0,998
81	0,797	0,015	0,985
82	1,321	0,011	0,989
83	1,721	0,005	0,995
84	0,356	0,003	0,997
85	0,539	0,002	0,998
86	0,179	0,002	0,998
87	0,325	0,002	0,998
88	0,356	0,002	0,998
89	0,115	0,002	0,998
90	0,131	0,001	0,999
91	0,138	0,002	0,998
92	0,119	0,001	0,999
93	0,124	0,001	0,999
94	0,105	0,001	0,999
95	0,094	0,004	0,996
96	0,224	0,009	0,991
97	0,161	0,002	0,998

**Apêndice 4 – Coeficientes de recessão da
bacia RB11.**

EVENTO	Q₀	f_c	K
1	0,037	0,011	0,989
2	0,043	0,004	0,996
3	0,022	0,003	0,997
4	0,096	0,009	0,991
5	0,068	0,014	0,986
6	0,085	0,009	0,991
7	0,149	0,003	0,997
8	0,109	0,006	0,994
9	0,166	0,007	0,993
10	0,333	0,004	0,996
11	0,023	0,004	0,996
12	0,246	0,017	0,983
13	0,238	0,01	0,990
14	0,018	0,002	0,998
15	0,014	0,002	0,998
16	0,204	0,005	0,995
17	0,875	0,006	0,994
18	0,315	0,003	0,997
19	0,247	0,003	0,997
20	0,091	0,002	0,998
21	0,016	0,004	0,996
22	0,213	0,005	0,995
23	0,037	0,004	0,996
24	0,891	0,007	0,993
25	0,401	0,009	0,991
26	0,005	0,004	0,996
27	0,008	0,008	0,992
28	0,031	0,026	0,974
29	0,006	0,014	0,986
30	0,008	0,01	0,990
31	0,115	0,016	0,984
32	0,307	0,006	0,994
33	0,035	0,003	0,997
34	0,012	0,004	0,996
35	0,028	0,01	0,990
36	0,021	0,006	0,994
37	0,155	0,003	0,997
38	0,052	0,012	0,988
39	0,062	0,018	0,982
40	0,067	0,012	0,988
41	0,046	0,016	0,984
42	0,225	0,009	0,991
43	0,398	0,009	0,991
44	0,522	0,005	0,995
45	0,063	0,002	0,998
46	0,011	0,015	0,985
47	0,009	0,011	0,989
48	0,006	0,005	0,995
49	0,007	0,003	0,997
50	0,006	0,005	0,995
51	0,018	0,01	0,990
52	0,022	0,006	0,994
53	0,033	0,005	0,995
54	0,038	0,01	0,990

55	0,018	0,011	0,989
56	0,046	0,02	0,980
57	0,289	0,004	0,996
58	1,302	0,006	0,994
59	0,377	0,003	0,997
60	0,121	0,002	0,998
61	0,046	0,017	0,983
62	0,587	0,005	0,995
63	0,547	0,003	0,997
64	0,103	0,005	0,995
65	0,069	0,005	0,995
66	0,207	0,002	0,998
67	0,309	0,017	0,983
68	0,155	0,007	0,993
69	1,266	0,005	0,995
70	0,13	0,005	0,995
71	0,226	0,003	0,997
72	0,034	0,005	0,995
73	0,116	0,003	0,997
74	0,115	0,003	0,997
75	0,013	0,004	0,996
76	0,017	0,003	0,997
77	0,031	0,003	0,997
78	0,022	0,006	0,994
79	0,018	0,004	0,996
80	0,02	0,003	0,997
81	0,013	0,002	0,998
82	0,014	0,014	0,986
83	0,058	0,016	0,984
84	0,043	0,006	0,994

Apêndice 5 – APIs da bacia RB01.

EVENTO	API (dias)				
	30	21	14	7	3
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	10,21
3	-	-	-	2,29	0,84
4	-	-	-	5,15	4,82
5	-	-	-	22,53	22,20
6	-	-	17,66	16,81	10,30
7	-	-	25,09	23,88	17,53
8	-	-	8,06	0,65	0,00
9	-	6,75	2,47	1,08	0,32
10	6,24	3,10	2,13	1,72	0,00
11	3,29	2,51	1,72	0,55	0,36
12	1,98	1,12	0,54	0,52	0,40
13	1,82	0,88	0,86	0,83	0,72
14	6,15	6,12	4,07	3,73	2,00
15	48,31	46,83	46,65	43,48	38,40
16	9,52	8,00	0,34	0,32	0,00
17	14,63	12,77	6,93	6,69	1,07
18	11,42	7,12	7,00	0,00	0,00
19	37,53	37,44	33,66	33,05	9,00
20	51,47	50,33	48,15	34,59	34,59
21	22,33	20,82	13,50	8,14	8,11
22	52,32	46,37	44,95	42,59	34,24
23	33,99	32,11	30,15	25,93	0,00
24	14,80	12,26	3,85	3,74	2,43
25	8,06	2,45	2,39	0,20	0,00
26	39,51	39,47	38,17	35,89	35,89
27	42,29	41,36	41,29	40,02	33,45
28	11,79	11,01	8,31	0,05	0,00
29	13,01	12,37	5,00	4,20	1,19
30	35,20	34,50	32,97	32,97	30,34
31	16,43	15,49	14,67	10,80	8,98
32	12,84	11,15	9,88	9,84	5,47
33	7,84	6,99	5,92	0,68	0,68

34	20,72	19,73	17,44	7,82	7,22
35	11,39	8,78	5,32	1,57	0,24
36	9,50	7,14	5,03	3,96	2,52
37	19,86	16,04	15,16	14,50	3,34
38	24,48	23,88	23,30	16,60	11,52
39	12,85	9,99	7,44	7,36	4,71
40	19,79	17,56	16,96	15,16	12,58
41	11,21	10,60	9,54	6,66	6,66
42	21,32	20,46	19,52	18,13	15,64
43	12,87	12,07	11,21	9,96	5,99
44	4,71	4,45	3,86	3,22	3,17
45	7,70	7,18	7,03	5,93	4,96
46	3,34	3,16	2,52	1,35	0,84
47	13,72	13,49	12,76	12,03	10,78
48	45,79	45,33	44,83	44,30	42,19
49	47,20	41,59	41,54	40,51	40,35
50	13,82	13,39	13,19	8,01	5,65
51	21,18	21,05	19,51	12,96	7,35
52	21,94	21,94	21,94	20,19	1,51
53	28,44	28,44	28,44	28,44	18,42
54	0,72	0,72	0,70	0,55	0,24
55	3,92	3,92	3,77	3,53	3,53
56	2,32	2,22	2,08	0,92	0,80
57	29,74	29,65	29,53	28,49	28,30
58	7,25	7,08	6,38	6,22	0,00
59	4,44	4,35	3,76	0,85	0,72
60	7,96	7,56	6,26	5,30	5,27
61	3,43	2,98	2,96	0,95	0,95
62	21,98	21,58	20,26	20,04	7,35
63	13,23	12,89	11,81	6,01	0,16
64	9,12	9,06	4,64	3,10	2,03
65	4,06	3,39	1,37	1,25	0,08
66	6,82	5,42	5,36	0,32	0,08
67	18,47	17,17	16,86	13,48	13,28
68	12,32	10,45	10,38	6,76	4,99
69	23,66	21,94	19,58	17,68	14,83
70	51,22	49,38	48,61	44,96	21,95

71	28,64	27,84	25,11	9,18	6,03
72	25,48	24,75	22,41	7,70	6,56
73	11,51	8,03	3,05	0,79	0,16
74	10,55	4,44	2,54	1,46	1,07
75	20,32	20,19	19,85	19,76	15,28
76	21,34	20,95	20,88	18,38	13,31
77	14,15	13,87	13,85	9,35	2,95
78	32,83	32,79	31,52	26,53	23,71
79	24,75	24,71	22,21	18,60	8,08
80	41,71	40,73	38,26	31,60	24,99
81	13,67	11,17	7,41	1,33	0,72
82	20,11	17,95	13,51	11,12	6,87
83	18,40	15,20	11,88	9,61	3,47
84	28,06	24,79	23,32	18,47	12,58
85	17,74	14,03	12,81	7,50	3,32
86	11,90	10,22	7,47	3,06	0,00
87	7,30	5,07	3,21	0,84	0,84
88	2,12	1,57	1,57	1,51	1,51
89	12,95	12,92	12,92	10,52	10,52
90	9,52	8,57	6,79	6,33	0,80
91	10,34	8,82	5,48	5,39	4,95
92	29,91	27,57	27,51	19,30	2,62
93	45,74	43,70	42,85	31,45	25,03
94	8,72	1,87	0,31	0,24	0,24
95	40,03	37,70	37,65	37,65	16,38
96	12,00	11,98	2,88	2,53	2,53
97	10,63	4,37	4,21	0,39	0,24
98	4,41	4,15	2,81	0,12	0,12
99	3,81	2,64	0,52	0,48	0,48
100	53,14	51,34	51,34	43,35	24,93
101	21,50	21,47	17,02	2,11	1,16
102	31,00	31,00	27,03	14,28	13,54
103	7,60	4,66	2,09	2,07	0,00
104	11,11	10,32	8,72	7,59	7,35
105	15,16	13,05	13,04	12,05	8,37
106	7,20	5,36	4,21	3,32	0,48

Continua

Continuação

107	14,53	12,82	12,21	10,77	9,72
108	9,37	8,13	7,30	6,38	3,07
109	5,57	5,13	4,23	2,53	0,60
110	8,32	7,39	6,83	4,81	0,32
111	5,79	5,10	4,48	3,06	0,00
112	10,50	9,88	8,62	5,77	5,73
113	16,54	15,66	14,07	8,24	6,84
114	31,25	29,12	27,76	27,21	24,46
115	51,77	49,68	48,60	47,99	40,08
116	23,01	21,81	21,49	17,18	5,10
117	36,05	35,80	34,90	27,35	22,52
118	22,99	22,77	20,02	12,91	3,62
119	6,63	3,54	0,93	0,91	0,87
120	4,16	2,12	2,11	1,83	0,00
121	31,57	31,43	31,26	30,43	29,61
122	22,82	22,80	22,13	21,58	9,83
123	10,17	10,06	9,57	3,03	0,08
124	18,60	18,13	17,79	11,83	11,26
125	16,03	15,59	12,87	10,44	5,87
126	9,49	8,98	5,32	2,75	0,12
127	16,02	13,46	11,82	10,56	2,84
128	59,29	56,76	54,88	48,43	47,15
129	46,37	44,92	41,66	32,88	19,37
130	18,19	15,89	10,69	1,43	1,43
131	15,76	11,60	5,67	2,25	0,64
132	19,48	14,84	10,86	8,14	6,23
133	6,93	3,10	2,58	1,95	0,32
134	21,11	17,85	17,00	15,70	15,66
135	12,13	11,78	10,73	5,91	0,00

Apêndice 6 – APIs da bacia RB10.

EVENTO	API (dias)				
	30	21	14	7	3
1	22,70	21,31	20,07	20,03	15,90
2	9,06	7,86	7,83	3,90	0,00
3	7,84	6,99	5,92	0,68	0,68
4	44,90	44,10	42,72	39,09	38,84
5	21,51	20,45	17,91	11,43	5,17
6	12,24	9,51	9,43	2,40	0,00
7	11,64	9,02	5,58	2,38	0,36
8	9,08	7,42	1,77	0,12	0,00
9	9,50	7,14	5,03	3,96	2,52
10	15,81	12,05	11,82	5,74	0,00
11	25,77	22,00	21,96	15,68	11,71
12	28,40	26,35	26,31	20,57	16,72
13	24,48	23,88	23,30	16,60	11,52
14	13,72	13,49	12,76	12,03	10,78
15	45,79	45,33	44,83	44,30	42,19
16	7,32	1,45	1,39	0,30	0,20
17	13,82	13,39	13,19	8,01	5,65
18	22,47	22,00	18,78	17,81	0,24
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	8,80
23	-	-	-	28,44	18,42
24	-	-	0,70	0,55	0,24
25	-	-	3,77	3,53	3,53
26	-	5,05	4,92	3,95	3,68
27	7,25	7,08	6,38	6,22	0,00
28	4,44	4,35	3,76	0,85	0,72
29	3,64	2,90	1,58	0,51	0,48
30	3,43	2,98	2,96	0,95	0,95
31	21,98	21,58	20,26	20,04	7,35
32	13,23	12,89	11,81	6,01	0,16
33	13,10	12,16	12,12	4,68	1,86

34	11,84	10,93	9,68	4,11	1,66
35	12,06	11,80	6,81	5,32	4,77
36	27,27	27,17	22,79	21,27	20,20
37	32,85	31,49	28,45	26,96	25,72
38	4,06	3,39	1,37	1,25	0,08
39	18,47	17,17	16,86	13,48	13,28
40	12,32	10,45	10,38	6,76	4,99
41	33,96	32,17	29,73	28,18	26,37
42	23,66	21,94	19,58	17,68	14,83
43	31,32	28,42	27,51	22,08	20,92
44	35,95	34,33	33,44	28,02	27,32
45	72,83	71,00	70,11	65,36	65,04
46	51,22	49,38	48,61	44,96	21,95
47	28,64	27,84	25,11	9,18	6,03
48	25,48	24,75	22,41	7,70	6,56
49	10,55	4,44	2,54	1,46	1,07
50	20,63	19,64	19,37	18,98	18,95
51	13,59	13,27	12,92	12,83	7,25
52	21,72	21,59	21,19	21,17	16,71
53	17,59	17,36	17,08	17,00	13,28
54	19,37	18,99	18,93	16,44	11,46
55	17,48	17,20	17,14	14,25	9,29
56	13,56	13,37	11,95	7,72	4,71
57	32,83	32,79	31,52	26,53	23,71
58	24,75	24,71	22,21	18,60	8,08
59	26,04	25,05	23,02	20,05	7,37
60	13,67	11,17	7,41	1,33	0,72
61	18,40	15,20	11,88	9,61	3,47
62	19,83	17,13	14,65	10,95	7,24
63	21,17	17,72	16,22	12,97	4,84
64	17,74	14,03	12,81	7,50	3,32
65	11,90	10,22	7,47	3,06	0,00
66	7,30	5,07	3,21	0,84	0,84
67	2,12	1,57	1,57	1,51	1,51
68	30,92	29,41	26,30	26,19	22,37
69	43,90	40,13	40,12	38,23	24,02
70	59,16	55,46	55,46	53,49	30,65

71	29,91	27,57	27,51	19,30	2,62
72	41,63	39,52	39,45	25,48	18,69
73	8,72	1,87	0,31	0,24	0,24
74	21,53	15,59	14,76	14,70	14,70
75	68,74	63,76	63,32	63,26	63,26
76	67,43	63,49	63,48	63,42	60,63
77	12,00	11,98	2,88	2,53	2,53
78	25,03	18,83	18,68	14,83	14,71
79	4,41	4,15	2,81	0,12	0,12
80	11,23	10,04	8,34	8,32	0,00
81	3,81	2,64	0,52	0,48	0,48
82	47,56	45,37	44,92	44,92	30,16
83	98,94	96,88	96,46	96,46	84,46
84	21,50	21,47	17,02	2,11	1,16
85	31,00	31,00	27,03	14,28	13,54
86	7,60	4,66	2,09	2,07	0,00
87	11,11	10,32	8,72	7,59	7,35
88	15,16	13,05	13,04	12,05	8,37
89	5,19	3,44	2,79	1,26	0,00
90	8,97	8,14	7,58	5,64	5,43
91	9,39	8,47	7,84	5,82	2,14
92	5,79	5,10	4,48	3,06	0,00
93	10,50	9,88	8,62	5,77	5,73
94	15,39	15,03	13,90	12,42	3,31
95	8,87	6,81	5,29	4,70	2,74
96	18,75	16,73	15,54	15,11	12,61
97	42,84	40,19	40,11	38,79	31,95

Apêndice 7 – APIs da bacia RB11.

EVENTO	API (dias)				
	30	21	14	7	3
1	7,84	6,99	5,92	0,68	0,68
2	33,62	32,81	31,28	27,06	26,82
3	44,90	44,10	42,72	39,09	38,84
4	21,51	20,45	17,91	11,43	5,17
5	12,24	9,51	9,43	2,40	0,00
6	9,14	7,52	2,17	0,60	0,48
7	9,50	7,14	5,03	3,96	2,52
8	15,81	12,05	11,82	5,74	0,00
9	24,14	22,04	22,00	15,83	11,86
10	28,40	26,35	26,31	20,57	16,72
11	10,54	7,62	5,09	4,99	2,31
12	13,72	13,49	12,76	12,03	10,78
13	45,79	45,33	44,83	44,30	42,19
14	53,66	52,97	52,39	51,68	21,82
15	23,83	23,28	22,86	7,49	0,24
16	7,32	1,45	1,39	0,30	0,20
17	13,82	13,39	13,19	8,01	5,65
18	22,88	22,42	19,19	18,22	0,95
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	0,24
24	-	-	-	-	8,80
25	-	-	-	28,48	18,57
26	-	-	2,36	2,21	1,90
27	-	10,54	10,40	10,11	10,11
28	7,25	7,08	6,38	6,22	0,00
29	4,44	4,35	3,76	0,85	0,72
30	7,96	7,56	6,26	5,30	5,27
31	32,74	32,28	32,26	30,29	30,29
32	19,43	19,00	17,70	17,38	17,29
33	13,23	12,89	11,81	6,01	0,16

34	13,10	12,16	12,12	4,68	1,86
35	8,88	8,10	3,81	1,18	0,48
36	9,12	9,06	4,64	3,10	2,03
37	32,40	31,43	27,97	26,48	25,24
38	4,06	3,39	1,37	1,25	0,08
39	12,32	10,45	10,38	6,76	4,99
40	33,96	32,17	29,73	28,18	26,37
41	12,96	11,59	9,13	6,90	0,08
42	11,71	8,82	7,86	3,36	0,96
43	35,95	34,33	33,44	28,02	27,32
44	41,04	39,40	38,34	33,17	32,52
45	51,22	49,38	48,61	44,96	21,95
46	25,48	24,75	22,41	7,70	6,56
47	29,06	28,00	26,05	12,12	11,60
48	16,39	14,41	5,59	2,36	0,12
49	13,56	13,37	11,95	7,72	4,71
50	13,67	11,17	7,41	1,33	0,72
51	28,06	24,79	23,32	18,47	12,58
52	17,74	14,03	12,81	7,50	3,32
53	11,90	10,22	7,47	3,06	0,00
54	7,30	5,07	3,21	0,84	0,84
55	2,12	1,57	1,57	1,51	1,51
56	4,81	3,63	3,62	0,97	0,08
57	9,52	8,57	6,79	6,33	0,80
58	30,92	29,41	26,30	26,19	22,37
59	59,16	55,46	55,46	53,49	30,65
60	41,63	39,52	39,45	25,48	18,69
61	8,72	1,87	0,31	0,24	0,24
62	68,74	63,76	63,32	63,26	63,26
63	65,06	61,12	61,09	61,04	60,98
64	12,00	11,98	2,88	2,53	2,53
65	10,63	4,37	4,21	0,39	0,24
66	23,51	23,24	21,91	19,33	19,33
67	3,81	2,64	0,52	0,48	0,48
68	55,57	53,10	52,46	52,46	52,46
69	71,48	69,38	68,96	68,96	56,81
70	21,50	21,47	17,02	2,11	1,16

71	23,24	23,24	19,05	5,59	4,77
72	7,60	4,66	2,09	2,07	0,00
73	11,11	10,32	8,72	7,59	7,35
74	15,16	13,05	13,04	12,05	8,37
75	5,19	3,44	2,79	1,26	0,00
76	8,97	8,14	7,58	5,64	5,43
77	5,57	5,13	4,23	2,53	0,60
78	9,39	8,47	7,84	5,82	2,14
79	5,79	5,10	4,48	3,06	0,00
80	10,50	9,88	8,62	5,77	5,73
81	16,54	15,66	14,07	8,24	6,84
82	8,87	6,81	5,29	4,70	2,74
83	18,75	16,73	15,54	15,11	12,61
84	53,76	51,49	50,63	49,25	42,22

