

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CONSTRUÇÃO INTUITIVA DE UM MÉTODO PARA SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTO

Gabriela Lins Veiga¹; Mariana Rodas Ferreira de Almeida²; Christopher Freire Souza³

Resumo – A gestão dos recursos hídricos avançou de tal forma que a contribuição do escoamento de base no fluxo do rio é agora considerada. Assim, este estudo tem por finalidade a construção de um método para separação de escoamento, que objetiva estimar a quantidade presente nos diferentes compartimentos hídricos ao longo do tempo, visando a garantir o atendimento de demandas por água. Em ambiente MATLAB® e utilizando valores de vazões naturais para postos de UHEs em rios brasileiros de diferentes biomas, foram gerados hidrogramas, nos quais foi definido um valor limite para a contribuição subterrânea, foram detectados pontos de início de ascensão e recessão das curvas e, por fim, os pontos foram ligados considerando a magnitude e o comportamento do escoamento basal. Verificou-se o grau de acerto de estimativas do método através de uma comparação entre as parcelas de escoamento de base e os valores do índice Q90/Q50, bem como, por meio de comparação de hidrogramas de base apresentados na literatura. Ressalva-se, ainda, a importância de refinamento do método a fim de obter melhores resultados.

Abstract – Water resources management has advanced so that baseflow contributions in streamflows are now considered. Thus, this study aims at constructing a baseflow separation method, which aims to estimate the amount of water present in different compartments over time. Baseflow hydrographs were generated after setting an upper limit and surface contributions' rise and recession moments. Method's estimates were assessed through a comparison between the portions of base flow and Q90/Q50's index values. Furthermore, was emphasized the importance of refining the method to obtain better results.

Palavras-Chave – Escoamento de base; Escassez de água.

¹ Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Rua Carlos Tenório, n. 100, apt. 401, (82) 96000290, gabrielalinsv@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas. Rua Raphael Perrelli, n. 127, apt. 202, (82) 99126319, marianarodasfa@gmail.com

³ Docente da Universidade Federal de Alagoas. Av. Lourival Melo Mota, s/n, (82) 99192999, cfsouza.ufal@gmail.com

INTRODUÇÃO

A comunidade científica já detectou a necessidade de revisar procedimentos para quantificação de água, no sentido de incluir nas análises as trocas existentes entre os diferentes compartimentos hídricos, *i.e.*, considerar na quantificação de águas nos aquíferos as contribuições de rios e lagos, bem como, nos rios, as contribuições de aquíferos.

A literatura apresenta um conjunto de métodos para quantificar a contribuição de aquíferos no escoamento em rios. No entanto, como forma de ganhar sensibilidade do processo, mostrou-se interessante desenvolver um método a partir do comportamento hidrológico esperado e identificar quanto resulta de aportes superficiais e quanto advêm do subterrâneo.

O objetivo principal do presente trabalho foi desenvolver um método para quantificar a contribuição de aquíferos no escoamento em rios. Era interesse identificar quais aspectos necessitam ser considerados na separação de escoamento. Para isto buscou-se elencar aspectos mínimos de comportamento do aporte basal como a necessidade de definição de um valor máximo para contribuições subterrâneas e de momentos em que as contribuições passam a aumentar ou diminuir com o tempo. A partir daí, a técnica passa por uma análise minuciosa dos artifícios necessários para que a representação do escoamento de base não supere os valores observados de vazões.

A fim de estimar a variação sazonal da contribuição subterrânea a rios característicos de diferentes biomas, foram selecionados os rios: Paraná na UHE Itaipu, São Francisco na UHE Xingó, Tocantins na UHE Lajeado, Parnaíba na UHE Boa Esperança e Antas na UHE Castro Alves.

Por fim, houve o interesse de desenvolver habilidade para o entendimento da formação do escoamento em rios, que foi desenvolvido a partir de comparações de desempenho da técnica para os rios selecionados, por meio da comparação de volumes de escoamento de base em relação ao escoamento do rio e por meio de comparação de hidrogramas de base de diferentes métodos de separação.

REVISÃO

Quando a precipitação atinge o solo gera o escoamento superficial, circulando através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos e, também, gera o escoamento de base, se infiltrando nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas. A água que continua a infiltrar de forma a atingir a zona saturada entra na circulação subterrânea e contribui para a recarga dos aquíferos e, deste modo, o escoamento basal é responsável em sustentar a disponibilidade de água nos rios em períodos de estiagem (Tucci, 2001).

Há um conjunto de métodos para quantificar a contribuição dos compartimentos basal e superficial. O método de separação de escoamento por médias móveis, desenvolvido pelo Instituto de Hidrologia e apresentado por Tucci (2001), define a separação do escoamento de vazões diárias de rios do Reino Unido por meio do uso de médias móveis de cinco dias, onde a curva de separação de escoamento é gerada através da ligação dos pontos de mudança de tendência da curva de médias móveis.

Pode-se, ainda, citar outra forma de estimar a contribuição do escoamento subterrâneo em rios, a qual se baseia em técnicas gráficas. Tucci (2001) descreve três métodos gráficos que são usualmente utilizados para separação dos escoamentos superficial e basal. A Figura 1 apresenta os métodos gráficos.

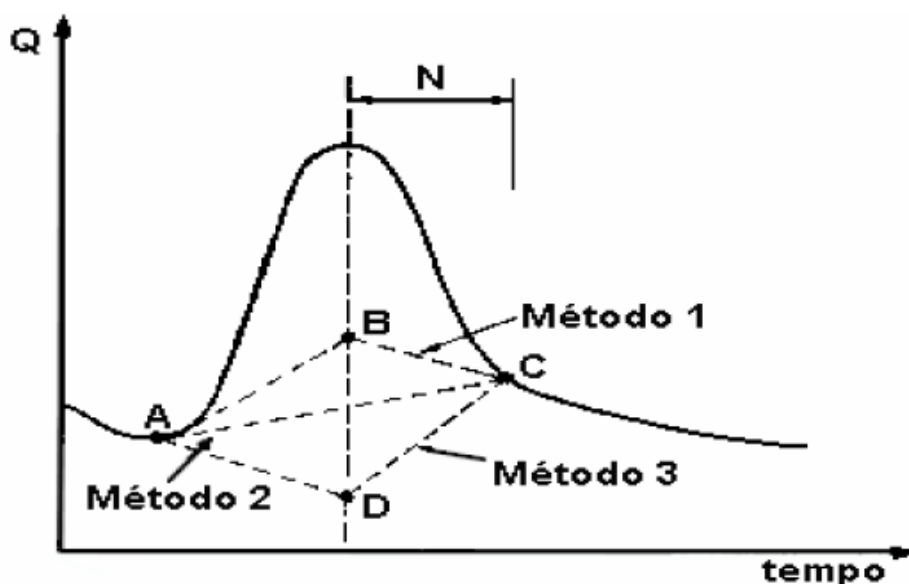


Figura 1 – Métodos de separação gráfica (Fonte: Tucci, 2001).

De forma geral (Chapman, 1999), o escoamento subterrâneo é responsável pela vazão quando não há aporte de escoamento superficial e é nesse momento que a vazão proveniente do escoamento subterrâneo pode ser detectada pelo comportamento quase exponencial, assumindo que o solo tem por finalidade desempenhar um papel de reservatório. A Figura 2 apresenta três métodos diferentes de separação de escoamento.

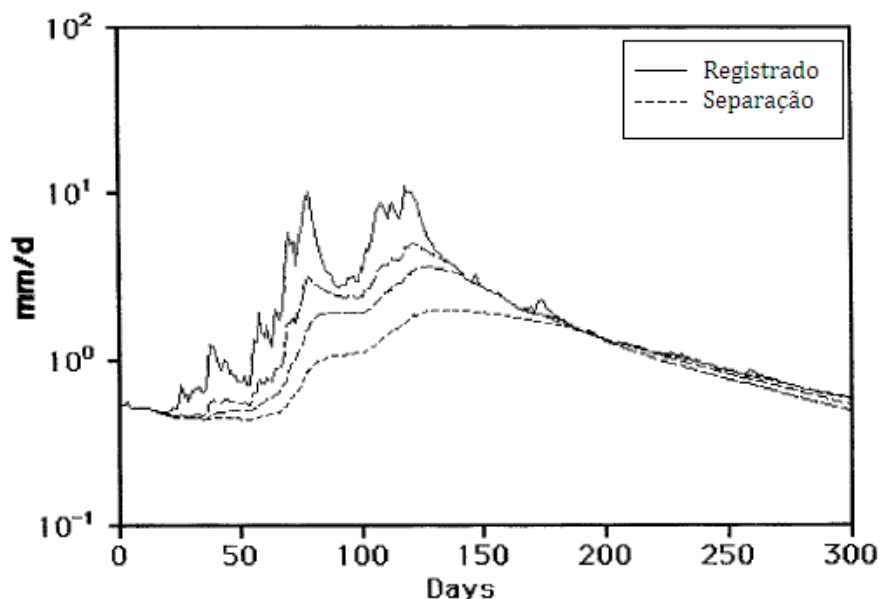


Figura 2: Métodos de separação de escoamento (Fonte: Chapman,1999).

METODOLOGIA

No presente trabalho foi desenvolvido um método de separação dos escoamentos superficial e subterrâneo de rios, que foi implementado por meio de um algoritmo computacional em linguagem MATLAB®. O método foi desenvolvido conforme o fluxograma simplificado mostrado na Figura 3.

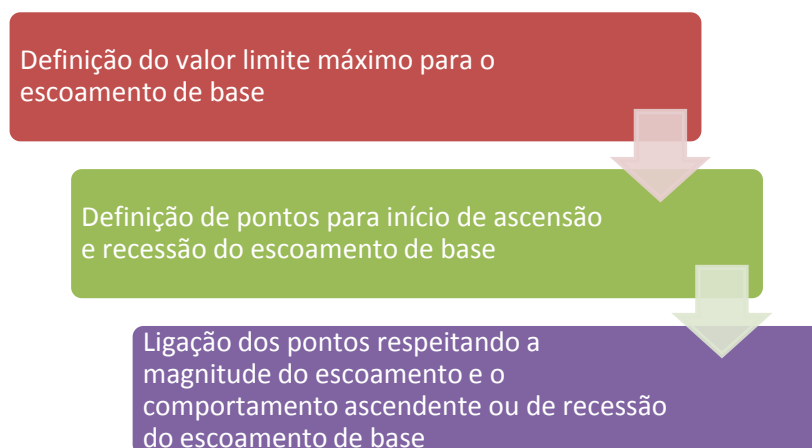


Figura 3: Fluxograma para desenvolvimento do método de separação de escoamento.

As etapas realizadas no decorrer do desenvolvimento e aplicação do método de separação de escoamento são mostradas em seguida.

- Foram selecionados postos de UHEs em rios brasileiros de diferentes biomas para aplicação do método. A Tabela 1 e a Figura 4 apresentam algumas características dos postos selecionados.

Tabela 1 – Postos selecionados para estudo.

Posto	UHE	Rio	Bacia	Bioma ^a	Área (km ²)
1	Castro Alves	Antas	Atlântico Sul	1	7667
2	Boa Esperança	Parnaíba	Atlântico Norte	3	84966
3	Lajeado	Tocantins	Tocantins	2, 4	183718
4	Xingó	São Francisco	São Francisco	1,2,3	610544
5	Itaipu	Paraná	Paraná	1,2	823555

^a Biomas: 1, Mata Atlântica ; 2, Cerrado; 3, Caatinga; 4, Amazônia



Figura 4 – Postos selecionados para estudo.

- Foram gerados os hidrogramas para os postos descritos na Tabela 1 utilizando as séries de vazões naturais diárias disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para o período de 1962 a 2005 (Figura 5).

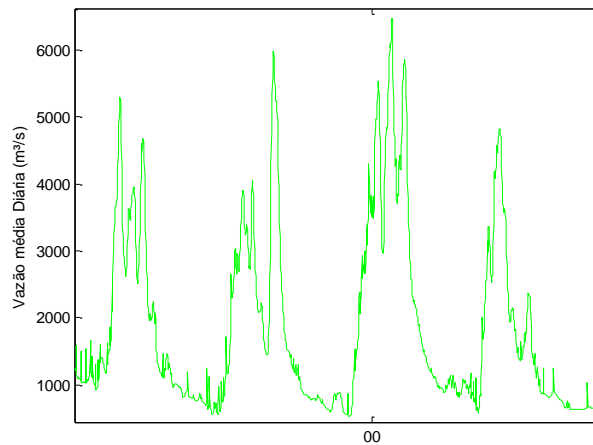


Figura 5 – Curva verde representando o hidrograma das vazões naturais.

- Foram identificadas as máximas vazões anuais (Figura 6).

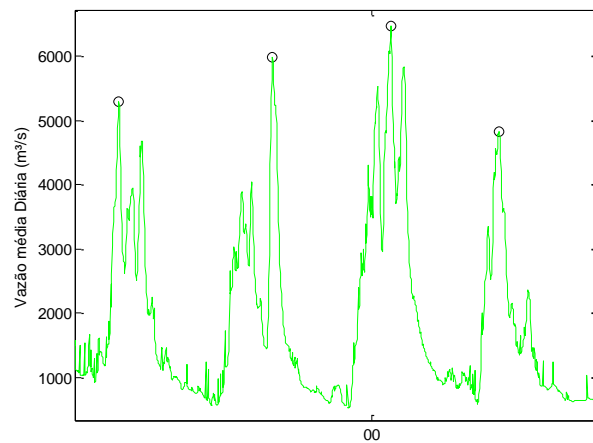


Figura 6 – Círculos pretos representando as máximas vazões anuais da série de vazões naturais.

- Foram traçadas duas retas, a primeira corresponde à máxima vazão mínima anual da série de vazões naturais completa e a segunda à mediana das vazões (Figura 7). Foi definido como evento de máxima aquele no qual sua vazão de maior valor ultrapassa a reta da máxima vazão mínima anual e sua vazão mínima é menor do que a mediana das vazões.

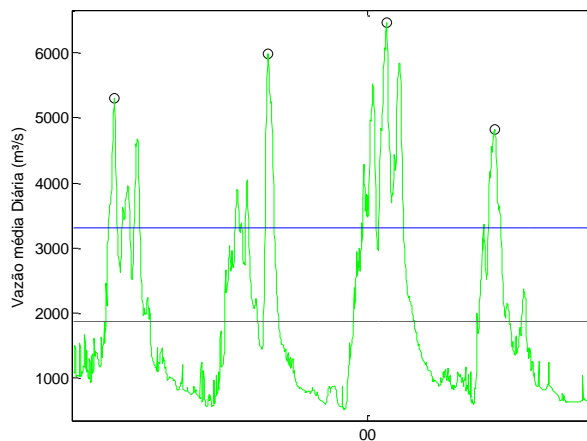


Figura 7 – Reta azul representando a máxima vazão mínima anual e reta preta representando a mediana das vazões.

- Foram determinados os pontos para início de ascensão e de recessão do escoamento de base de cada evento de máxima, onde o início da ascensão foi definido como o de menor vazão do evento na subida do hidrograma e o início da recessão foi estabelecido como o de maior vazão do evento na descida do hidrograma, obedecendo ao limite estabelecido, que é a mediana (Figura 8).

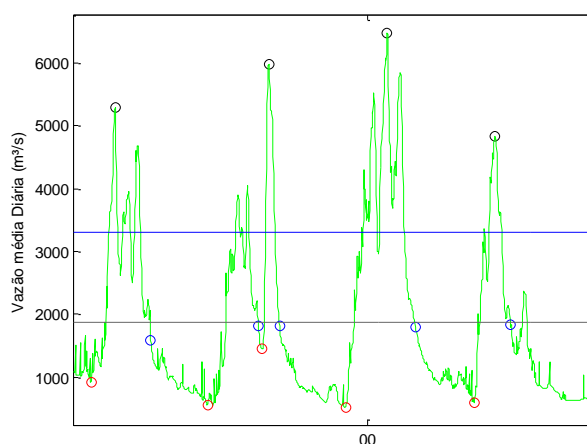


Figura 8 – Círculos vermelhos e círculos azuis representando, respectivamente, os pontos de início da ascensão e início da recessão do escoamento de base.

- Os pontos de início de ascensão e recessão do escoamento subterrâneo foram ligados, respeitando a magnitude das vazões naturais e o comportamento ascendente ou de recessão do escoamento de base (Figura 9). Assim, os valores acima da curva de separação de escoamento representam o fluxo superficial e os valores abaixo representam o escoamento de base.

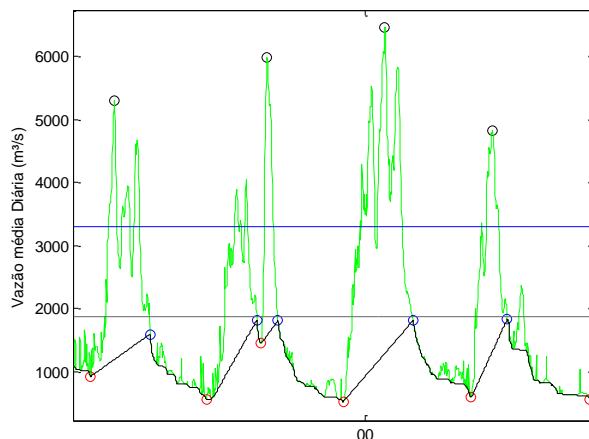


Figura 9 – Curva preta representando a separação entre os escoamentos superficial e subterrâneo.

- Para análise dos resultados:
 - verificou-se os hidrogramas gerados por meio da observação dos gráficos de outros estudos de separação de escoamento;
 - utilizou-se como referência o índice que caracteriza a parcela de vazão de base no escoamento do rio, que pode ser calculado pela divisão entre o percentil 10 e a mediana das vazões, *i.e.*, a divisão da Q90 pela Q50 (SMAKHTIN, 2001).

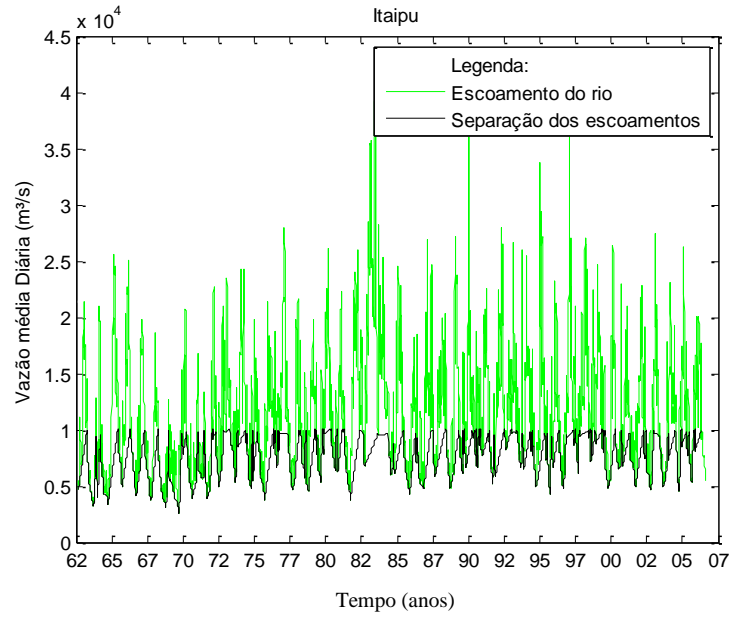
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fim de expor a dimensão da influência da variabilidade de vazões na variação do hidrograma de base, gerou-se hidrogramas dos postos de Itaipu, Castro Alves e Boa Esperança que são indicados na Figura 10 (a, b, c).

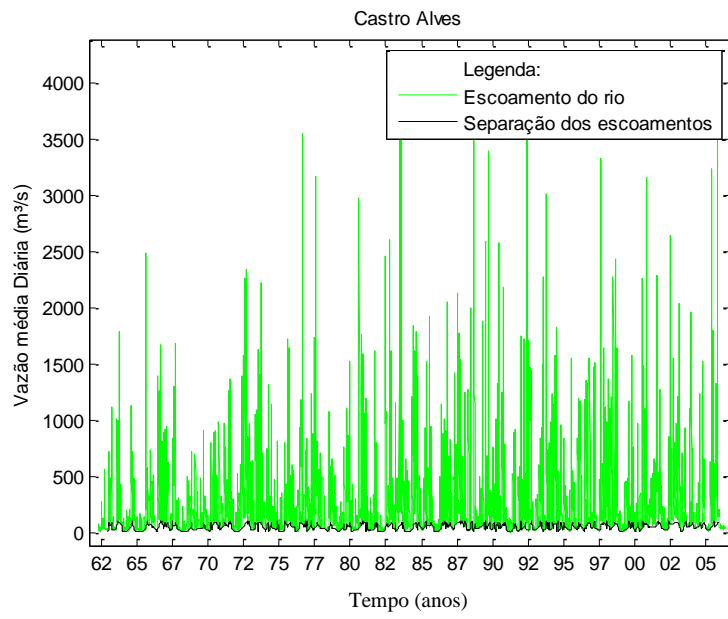
Observa-se, também, de acordo com a Figura 10 (a), que a regularidade de magnitude e periodicidade anual de cheias são resultados da definição de valor alto do limite máximo de contribuições subterrâneas (mediana).

Quando considerado como referência os hidrogramas de separação de escoamento encontrados em outros estudos, como no de Chapman (1999), percebe-se que os hidrogramas gerados abaixo (Figura 10) apresentaram uma parcela admissível de volume de escoamento de base.

a)



b)



c)

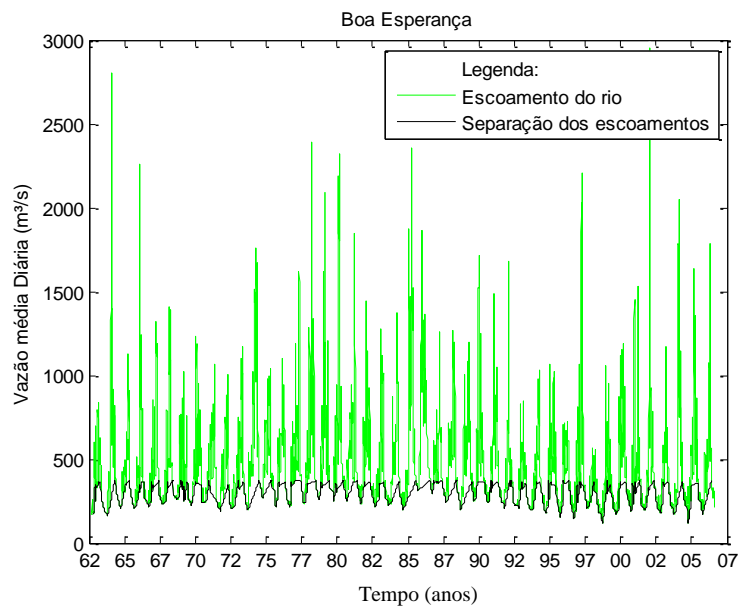


Figura 10 – Hidrogramas gerados para os postos das UHEs Itaipu, Castro Alves e Boa Esperança.

Na figura 11, ressalva-se o efeito na recessão brusca de contribuições subterrâneas, representado nas elipses vermelhas. Observa-se também, o acerto para eventos menores que a mediana considerada, representado na elipse azul.

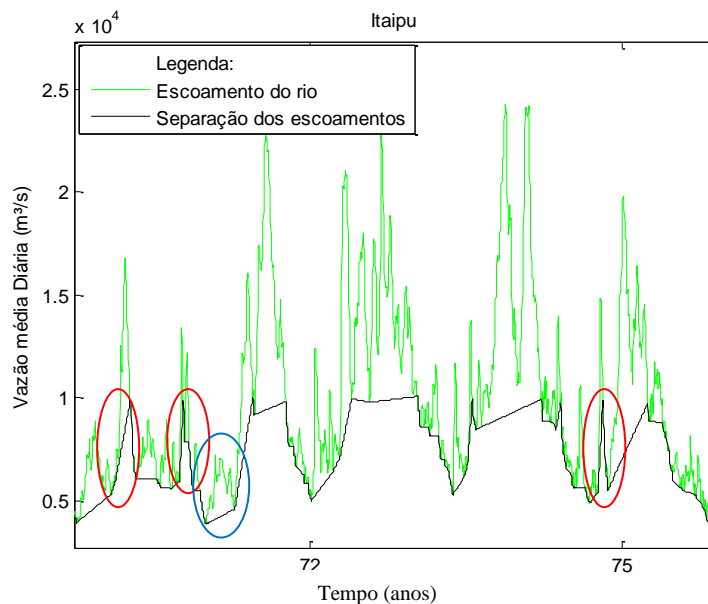


Figura 11 – Hidrograma aproximado da UHE Itaipu.

A alta variabilidade de magnitude de eventos de cheia e efeito da definição de limite máximo (mediana) da contribuição de escoamento de base influencia na detecção de aportes superficiais na formação do escoamento como visto na elipse vermelha na Figura 12.

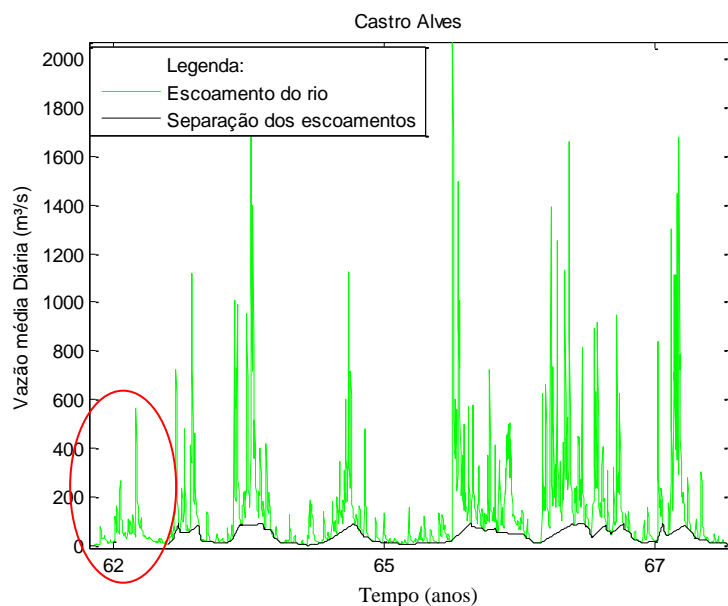


Figura 12 – Hidrograma aproximado da UHE Castro Alves no período de 1962 a 1967.

A variabilidade pode ser ilustrada na Figura 13 pela ascensão do escoamento de base em 14 eventos para três anos em análise.

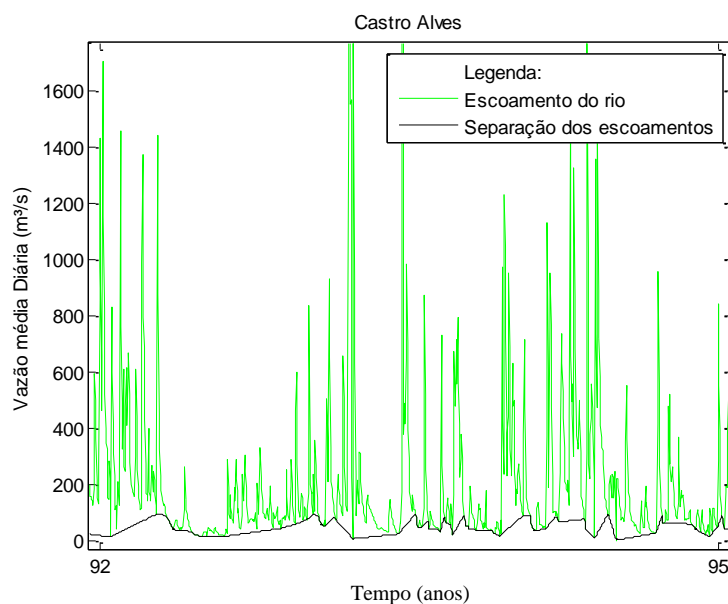


Figura 13 – Hidrograma aproximado da UHE Castro Alves no período de 1992 a 1995.

O hidrograma de base, representado pela elipse azul, da Figura 14 apresenta variação similar ao apresentado em estudos disponíveis na literatura (Chapman, 1999).

Porém, percebe-se que em torno do ano 1981 o valor da vazão do escoamento do rio foi consideravelmente inferior aos demais, e como decorrência deste fato, a recessão da curva separação dos escoamentos foi consideravelmente inferior em comparação com os outros pontos de recessão do escoamento de base, como mostrado na elipse vermelha na Figura 14.

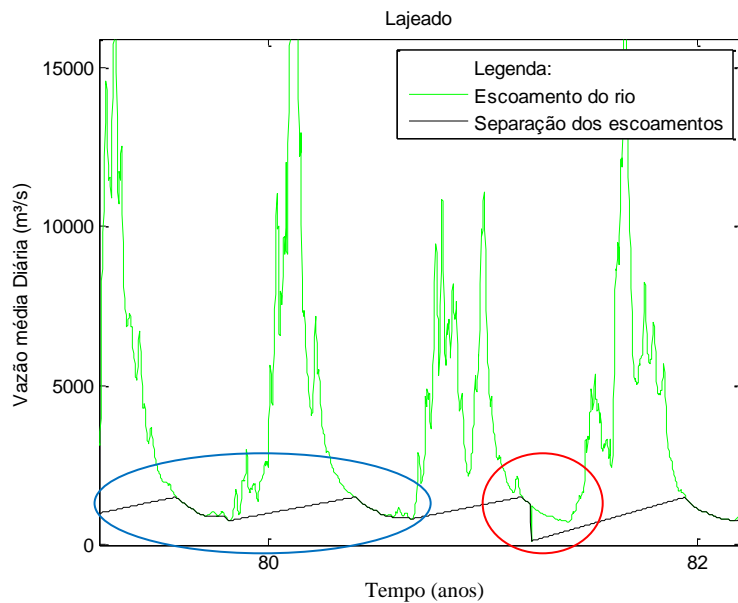


Figura 14 – Hidrograma aproximado da UHE Lajeado no período 1979 a 1982.

A caracterização de eventos é influenciada pela flutuação de vazões, como se observa no rio Tocantins na UHE Lajeado na Figura 15. Tal flutuação possui um comportamento atípico para uma série de vazões naturais, as quais foram reconstituídas para simular o comportamento natural do rio, *i.e.*, sem efeitos de captações ou intervenções nos corpos d'água, como a existência/operação de usinas hidrelétricas. Espera-se esta flutuação para trechos à jusante de usinas hidrelétricas que geram na ponta (usina de ponta).

Pode-se observar também, em período mais recente, comportamento similar no rio São Francisco em Xingó (Figura 16).

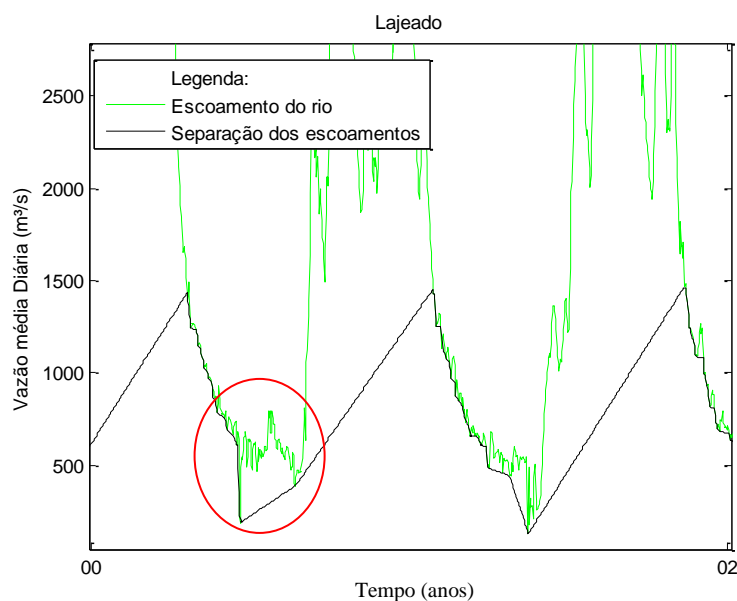


Figura 15 – Hidrograma aproximado da UHE Lajeado no período 2000 a 2002.

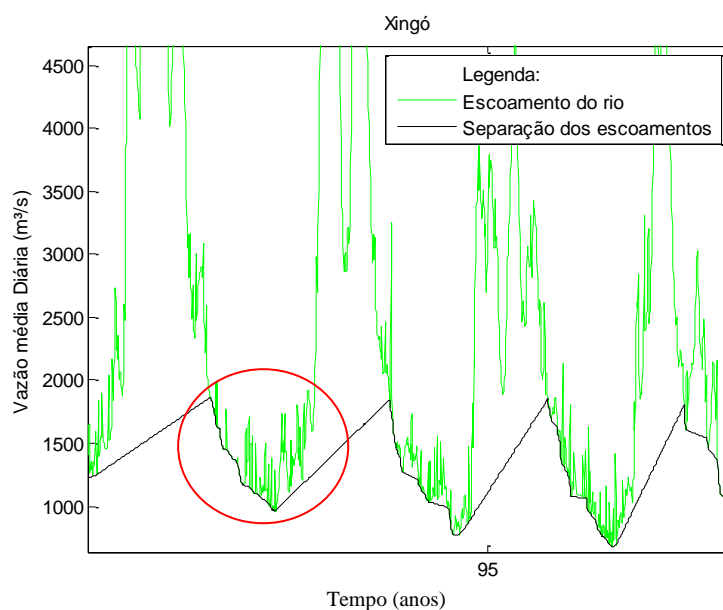


Figura 16 – Hidrograma aproximado da UHE Xingó.

A Tabela 2 apresenta as parcelas de vazão de base em relação à vazão do rio obtidas através do método desenvolvido neste trabalho (Q_{base}/Q_{total}) e os valores de Q_{90}/Q_{50} para cada posto estudado.

Tabela 2: Comparação entre Q_{base}/Q_{total} e Q_{90}/Q_{50} .

UHE	Q_{base}/Q_{total}	Q_{90}/Q_{50}
Castro Alves	0,232	0,242
Boa Esperança	0,637	0,616
Lajeado	0,376	0,384
Xingó	0,474	0,479
Itaipu	0,669	0,570

Constata-se, pela Tabela 2, que os postos das UHEs Xingó, Lajeado e Castro Alves obtiveram os resultados mais próximos do esperado, visto que apresentaram uma diferença entre Q_{base}/Q_{total} e Q_{90}/Q_{50} de, respectivamente, 0,005, 0,008 e 0,010. Boa Esperança apresentou uma diferença razoável, equivalente a 0,021. E, por fim, Itaipu apresentou maior defasagem entre o valor obtido no método e o esperado, com uma diferença de 0,099.

Apesar das discrepâncias entre os valores de Q_{base}/Q_{total} e Q_{90}/Q_{50} , ressalta-se que pela magnitude das diferenças o método mostrou-se interessante para quantificação dos escoamentos superficial e subterrâneo de rios brasileiros. A partir disto, observou-se que a utilização da mediana como valor máximo para a contribuição subterrânea e a determinação dos momentos onde as

contribuições passam a aumentar ou diminuir se mostraram satisfatórias para os propósitos deste trabalho.

Observa-se, também, que a magnitude das áreas referentes a cada posto estudado pode ter relação com a parcela de contribuição do escoamento subterrâneo. Para os rios em estudo, foi possível observar que, no geral, para uma maior área de drenagem o escoamento de base possui maior influência no escoamento do rio. Há de se destacar, todavia, que essa situação é excetuada para o posto da UHE Boa Esperança que, apesar de apresentar segunda menor área de drenagem, possui grande contribuição do escoamento de base.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método de separação de escoamento desenvolvido nesta pesquisa se apresentou interessante para rios nacionais. Ressalta-se a importância de considerar uma definição de valor limite para o escoamento de base, como a mediana das vazões, quando se utiliza como referência a razão Q90/Q50.

A metodologia ainda precisa de refinamento fazendo-se necessário um aprofundamento na análise sobre o efeito da escolha de limite máximo, bem como a aplicação do método elaborado para séries observadas em rios cujas bacias tenham pequena intervenção antrópica e a aplicação para mais rios de diferentes áreas.

Destaca-se para outros estudos a importância da avaliação do tipo de solo e clima da região em que se encontram cada rio trabalhado e um que avalie se a relação entre o crescimento de contribuições de base e área contribuinte é grosso modo direta ou se demais rios quebram este padrão, como o fez o estudo do rio Parnaíba na UHE Boa Esperança.

BIBLIOGRAFIA

- CHAPMAN, T. (1999). “A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation”, in *Hydrological Processes*”, pp. 701-714.
- SMAKHTIN, V. U. (2001). “Low flow hydrology: a review”. *Journal of Hydrology*, 240, pp. 147 – 186.
- TUCCI, C.E.M. (2001). *Hidrologia: ciência e aplicação*. Editora da Universidade – ABRH. Porto Alegre, pp. 392-400.