

Regularização de vazões no Baixo Jaguaribe – Ceará - Brasil : ensaios metodológicos

Andrea Almeida Cavalcante. Faculdade de Filosofia Dom Aureliano Matos – FAFIDAM/ UECE. andreauece@gmail.com. Djani Augusto Mendes. Faculdade de Filosofia Dom Aureliano Matos – FAFIDAM/ UECE. djaniam@yahoo.com.br. Jáder Onofre de Moraes. Universidade Estadual do Ceará – UECE. jader@uece.br. Lidriana de Sousa Pinheiro. Universidade Estadual do Ceará – UECE. lidriana@uece.br.

ABSTRACT

The control and regularization of channels is actually very common in semi-arid basins in Brazil, given the strong “dam politic” implemented to fight water shortage historically evidenced in those regions. In the state of Ceará, since decade of 1960, innumerable dams have been constructed and, today, better monitored. In the biggest basin in this State (Jaguaribe River Basin), that occupies about 74.000km², today, 62 dams are monitored by COGERH. These dams are distributed along high, medium and lower course of the river, in the form of small, medium and big reservoirs. The presence of a large number of dams is due to water deficit resulting from climactic and geologic conditions of Ceará’s territory. For this reason, control and regularization of the channels, intending to monitor the liquid discharge, are very important to management of water resources. Data of liquid discharge were obtained through current speed measurements, in points distributed along the river’s transversal section, associated with calculation of the wet area (CARVALHO, 1994, 2000; TUCCI, 2000; CAVALCANTE, 2001). With the information about liquid discharge and corresponding water levels, a key curve could be obtained for the monitored section. In addition flow values could be obtained from the simple measurement of water level, with no need of direct measurements. This paper intends to define a model of the key curve to Peixe Gordo’s section at lower Jaguaribe River, in the town of Tabuleiro do Norte, to facilitate the monitoring of the regularization regime in this part of the river. For this achievement, liquid discharge and water levels measurements were directly collected, as well as details of the channel’s hydraulic. To better calibration of the curve, the run-off coefficient and Froud’s number were determined. Among the encountered results, the curve that best suited to this point was an exponential function. However, we point out that the same curve responded well to tests for applications of levels between 0.5 m and 2m, given the lack of measures at high flow rates.

Keywords: Liquid discharge; key curve, low Jaguaribe river

RESUMO

O controle e regularização de canais é um fato bastante comum em bacias semi-áridas, dada a forte política de açudagem implementada para o combate à escassez hídrica historicamente evidenciada nessas regiões. No Ceará, desde a década de 1960, inúmeros açudes têm sido construídos, e mais recentemente, melhor acompanhados. Na maior bacia deste Estado (bacia do rio Jaguaribe) que ocupa cerca de 74.000 km², hoje encontram-se monitorados pela COGERH, cerca de 62 açudes distribuídos entre o alto, médio e baixo curso, na forma de pequenos, médios e grandes reservatórios. A presença desse grande número de açudes deve-se a deficiência na disponibilidade dos recursos hídricos em função das condições climáticas e geológicas do território cearense. Por essa razão o controle e regularização dos canais, a partir de um acompanhamento de vazões, tornam-se imprescindíveis para uma melhor gestão e distribuição destes recursos. A obtenção dos dados de vazão pode ser realizada através de medições de velocidade de corrente em pontos distribuídos ao longo de uma seção transversal associadas ao cálculo de sua área molhada (CARVALHO, 1994, 2000; TUCCI, 2000; CAVALCANTE, 2001). A partir das informações sobre vazões e níveis d’água correspondentes pode-se relacionar tais informações gerando uma curva-chave para a seção monitorada, possibilitando a obtenção de valores de vazão através da simples medição do nível da água, sem que seja necessária a medição direta da vazão. Este trabalho visa definir um modelo de curva-chave da seção Peixe-Gordo no baixo curso do rio Jaguaribe no município de Tabuleiro do Norte, a fim de facilitar o monitoramento do regime de regularização deste rio neste trecho. Para sua realização foram coletados

dados diretos de vazão e níveis medidos, bem como informações hidráulicas do canal. Para melhor calibração desta curva buscou-se a determinação do coeficiente de run off e número de Froud. Entre os resultados encontrados a curva mais adequada para este ponto foi a de função exponencial. Entretanto, ressalta-se que a mesma respondeu bem aos testes para aplicações de níveis entre 0,5m e 2m, haja vista a falta de medidas em altas vazões.

Palavras-Chave: Descargalíquida, curva chave, baixo Jaguaribe.

1. Considerações Iniciais

O Estado do Ceará apresenta uma constituição geológica essencialmente cristalina onde predominam solos rasos, restringindo as possibilidades de acúmulo de águas subterrâneas às pequenas porções de terrenos sedimentares localizadas nas divisas do Estado, no litoral e, em menores proporções, nas aluviões de rios.

Essas condições associadas às características climáticas, onde ocorrem precipitações em um curto período do ano e com um grande intervalo sem ocorrência de tais eventos, conferem às bacias hidrográficas deste Estado um alto índice de escoamento superficial, ocasionando elevadas vazões em períodos chuvosos, ao passo que na ausência de chuvas os leitos dos rios chegam a praticamente secar.

Por essas razões é que neste Estado se observa uma marcante presença de açudes e barragens ao longo de seus rios e riachos que, há várias décadas, vêm sendo construídos com o objetivo de acumular água na época de chuvas para utilizá-la durante as estiagens. Esse manejo é feito, no caso de açudes de grande porte, através do controle das vazões, transformando rios temporários e intermitentes em rios perenizados. Assim, mesmo que em seu nível mínimo, o rio corre durante todo o ano.

A partir de 1960 a bacia do rio Jaguaribe passou a ter seu curso principal regularizado pelos açudes Orós e Banabuiú, além de outros reservatórios de menor porte. Com a implantação do açude Castanhão em 2002 esta rede de drenagem passa a ter maior controle e garantia, representando a mais importante fonte de recursos hídricos superficiais do Estado.

O gerenciamento de tamanha rede de cursos d'água perenizados inclui tanto o controle de enchentes em eventos pluviométricos de maior representatividade, evitando transtornos para as populações ribeirinhas como a inundações de suas plantações, quanto o acesso à água para essas populações ao longo do rio em períodos de seca, além de garantir também um nível mínimo de acesso para as captações de água para as cidades e projetos

irrigados que se utilizam deste manancial. Esse controle é feito, atualmente, pela COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará) a partir das válvulas e comportas dos reservatórios, hora aumentando, hora diminuindo a vazão liberada. Portanto, o acompanhamento das vazões ao longo do rio representa o principal instrumento para a melhor gestão e distribuição desses recursos hídricos.

Este trabalho objetiva contribuir com os estudos sobre o uso e construção de curvas-chave, ou seja, “curvas que correlacionam nível d’água e vazão” (GARCEZ, 1974), tomando como área objeto a seção Peixe Gordo do rio Jaguaribe em Tabuleiro do Norte, a fim de facilitar o monitoramento do regime de regularização deste rio neste trecho. A escolha dessa área se deu devido à sua localização limítrofe entre o médio e o baixo Jaguaribe, e por ser diretamente influenciada pelo regime de operação do Castanhão.

A seção estudada do Rio Jaguaribe está localizada a cerca de 50 metros da ponte do Peixe-Gordo, na localidade homônima, no município de Tabuleiro do Norte, a qual é cortada pela BR-116 conforme Figuras 01 e 02.

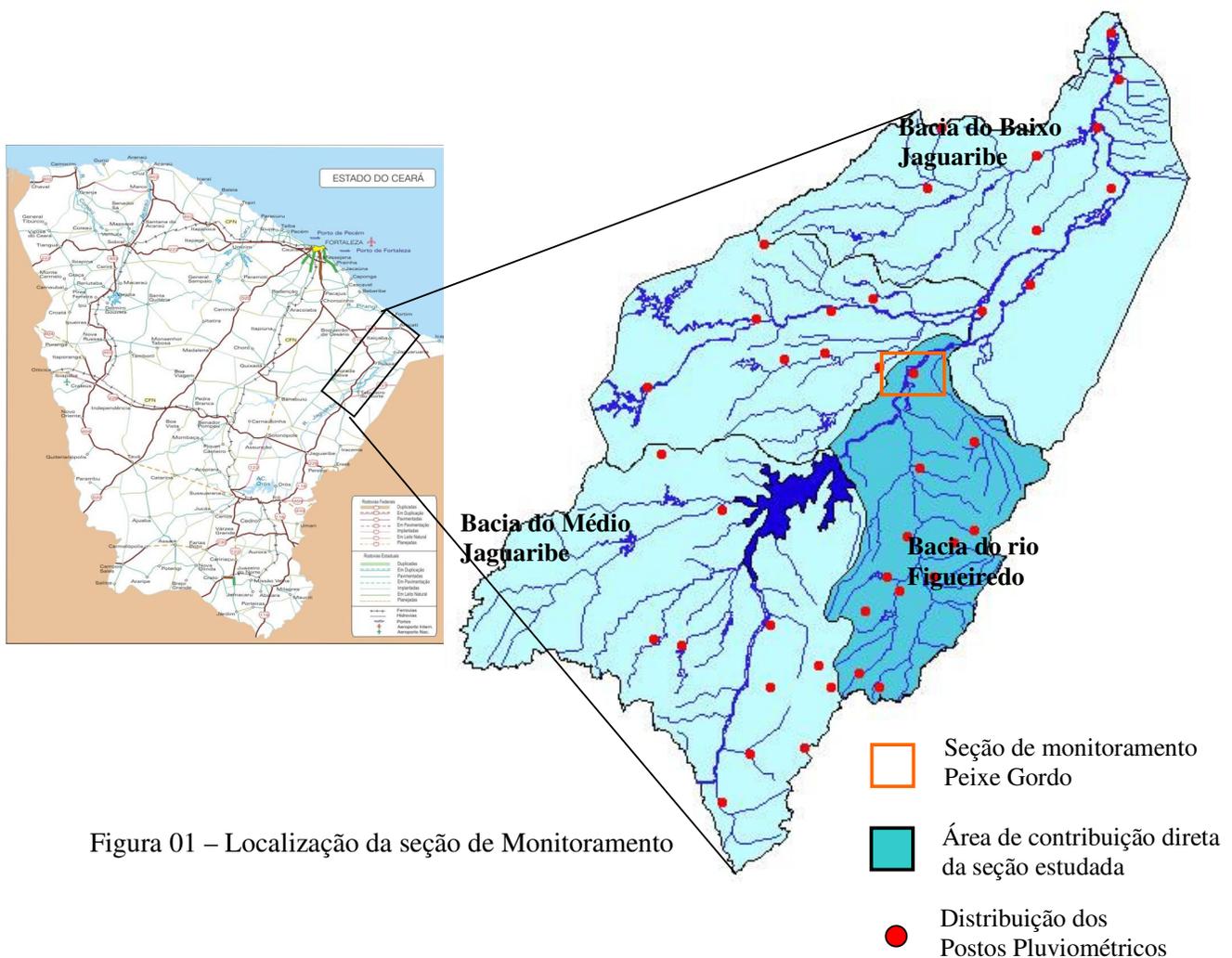


Figura 01 – Localização da seção de Monitoramento



Figura 02 – Seção de Monitoramento. Peixe Gordo, Tabuleiro do Norte-Ce.

2. Considerações Metodológicas

Para esta pesquisa foram levantados dados de níveis e vazões já existentes, de pluviometria, de área de contribuição direta, da morfologia da seção, bem como situação dos reservatórios e usos da área estudada. Para a determinação da curva-chave da seção Peixe Gordo, necessitou-se realizar, em campo, novas coletas de dados de vazão e níveis medidos. Tais coletas foram realizadas entre 2006 e 2007, totalizando nove medições, envolvendo períodos de chuva e estiagem para uma melhor representação dos processos atuantes.

A determinação da vazão foi feita baseada na metodologia utilizada por Carvalho (1994) e Cavalcante (2001), onde $Q_L = V \times A$ (sendo, Q_L vazão líquida; V velocidade de corrente; A área). Na seção transversal do trecho estudado, utilizou-se um molinete do tipo hélice para determinar a velocidade de corrente, e posteriormente a vazão. Tais dados, após serem convertidos em vazão e relacionados ao nível da água definiram uma primeira aproximação da curva-chave desta seção. Os níveis de água observados foram extraídos das régua limnimétricas afixadas pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais).

Os dados selecionados de vazões e níveis d'água medidos foram aplicados ao editor de gráficos EXCEL, criando gráficos de dispersão com linhas de tendências relativas a quatro modelos de curvas, onde procurou-se avaliar os modelos sugeridos pelo programa. Assim, foram geradas curvas do tipo polinomial, logarítmica, potencial e exponencial.

O histórico de vazões e níveis d'água correspondentes da seção estudada e as vazões liberadas pelo açude Castanhão para regularização do rio foram adquiridos junto a COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos), para melhor avaliação dos modelos de curvas gerados. Após a primeira aproximação com os dados reais de vazões e níveis medidos, foi realizada uma simulação em cada uma das curvas encontradas, com dados somente de níveis medidos em outros meses.

Na idéia de procurar correlacionar o coeficiente de escoamento superficial (Run-off) à curva mais adequada, foram relacionados os valores de precipitações ocorridas na área de influência, os valores de vazões medidas em campo e os referentes às vazões de liberação de água do açude Castanhão para regularização do rio, a fim de se determinar seu valor. Nesta avaliação também foi gerado o número de Froud relacionado ao dado medido e de cada simulação, mediante características hidrológicas da seção.

Para a delimitação da área de influência respectiva à seção de monitoramento utilizou-se o Programa *Arc View* e uma imagem georreferenciada de 2002, onde foram traçados os cursos d'água que influenciam diretamente na área da seção estudada. Nesta área de influência foram plotados os postos pluviométricos, através de suas coordenadas, para verificar a influência das precipitações na seção. Após correlação de todos os dados foi indicada a curva-chave de maior aproximação, embora a disponibilidade dos dados para a construção da mesma tenha evidenciado somente baixas e médias vazões.

3. Resultados e Discussões

O uso da curva-chave proporciona maior facilidade no monitoramento e controle de vazões, na medida em que após um histórico de acompanhamento de vazões e níveis medidos pode-se verificar os valores de vazões através da simples observação do nível em que se encontra a água naquela seção do rio. Entretanto, essa relação cota-descarga é variável ao longo do tempo devido principalmente as modificações morfológicas do canal. Segundo Tucci (2000), o leito do rio define as condições de escoamento por meio de sua forma e pela sua rugosidade.

Os modelos principais de elaboração de curva-chave estão, geralmente, associados à representação gráfica, à fórmula matemática e à tabela de calibragem (TUCCI, 2000). Segundo o mesmo autor as duas formas de cálculo mais utilizadas são: exponencial e polinomial.

Na atualidade a forma exponencial tem-se mostrado mais utilizada e pode ser representada pela fórmula: $Q = a(h-h_0)^n$, sendo Q (vazão), h (nível correspondente a vazão num dado momento), h_0 (nível em vazão nula), a e n (constantes para um determinado local).

Collischonn (2005) orienta que “a curva-chave da seção de um rio pode se alterar com o tempo, especialmente em rios de leito arenoso. Modificações artificiais, como aterros e pontes, também podem modificar a curva-chave. Por isto é necessário realizar constantes medições de vazão, mesmo após a definição da curva”. Entretanto, o alto custo e as dificuldades de medições regulares apresentam-se como um fato concreto no Brasil, e principalmente no Nordeste semi-árido, onde o número de estações fluviométricas é reduzido.

Para este trabalho, optou-se por avaliar modelos de curvas-chave gerados pelo editor de gráficos EXCEL, mediante correlação com Run-off e número de Froud. Dos dados selecionados de vazões e níveis d’água medidos foram gerados quatro modelos de curvas: polinomial, logarítmica, potência e exponencial, expostas na Figura 03.

Dentre as curvas elaboradas inicialmente a que se mostrou mais eficiente para representar a curva-chave do sistema de escoamento do trecho do rio em análise, no que diz respeito à relação entre nível d’água e vazão, foi a curva 4, de modelagem exponencial, que apresentou um “R²” equivalente a 0,8463 (O valor de R² ideal é aquele que mais se aproxima de 1).

Vale salientar que devido à ocorrência de chuvas abaixo da média histórica e à não coincidência entre as medições e os dias de eventuais elevações significativas do nível d’água, a curva-chave conta com poucos dados no tocante a variação dos mesmos, ou seja, os dados obtidos se referem a pequenos intervalos de variação, sendo os de vazão entre 7m³/s e 12m³/s, e os níveis variando entre 0,9m e 1,4m aproximadamente.

Após primeira aproximação, as equações geradas para o cálculo de vazões pelos modelos de curvas foram testadas utilizando como parâmetro de análise a determinação do coeficiente de run-off. Para tanto foram levantados os principais postos pluviométricos da área, com as respectivas taxas de chuva para o referido período. Além disso, também foi definida a área de contribuição direta do referido ponto, no caso um total de 3.343,58 km², em que se insere praticamente toda a bacia do rio Figueiredo e o trecho entre o açude Castanhão e a seção (Fig. 01).

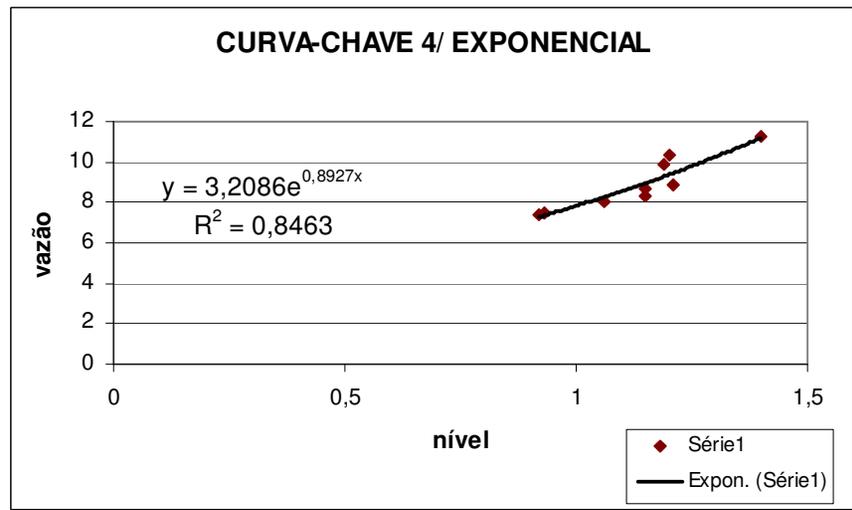
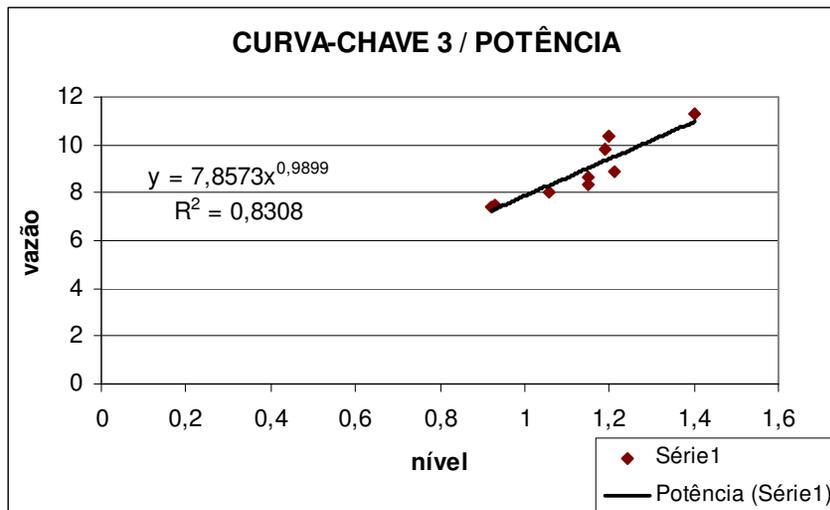
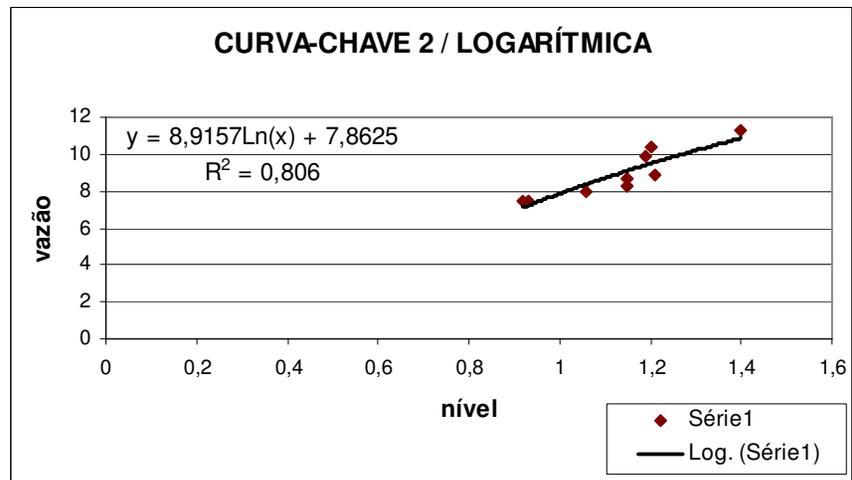
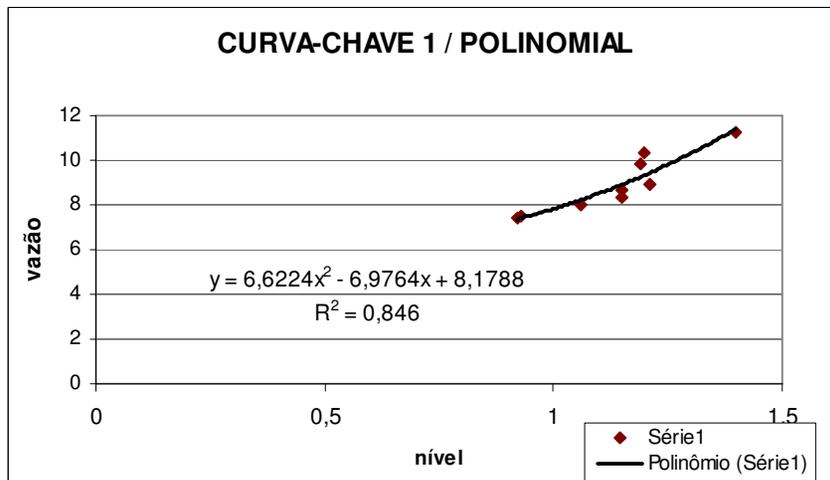


Figura 03 – Curvas-chaves preliminares para a seção Peixe Gordo

Além disso, também foi definida a rugosidade do leito a partir da determinação do número de Froude, onde foram elencados dados de profundidade e largura da seção, área molhada, e velocidade (figura 04). O número de “Froude” estabelece uma relação mais real da vazão líquida por ser avaliado na própria seção. SUGUIO *et al.* (1990), mostra que números de “Froude” a partir de “1” referenciam um fluxo do tipo rápido e encachoeirado.

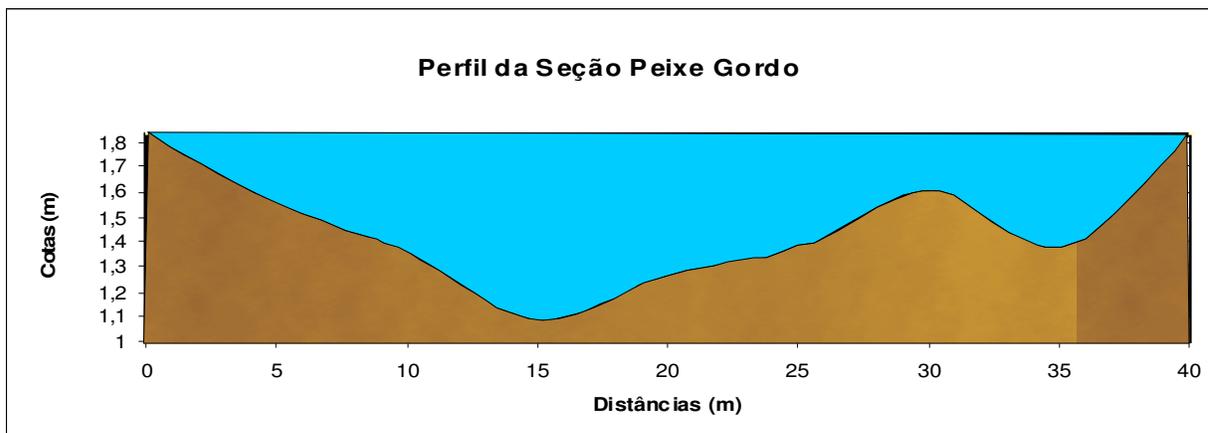


Figura 04 – Características morfológicas da seção molhada (jan/ 2007).

O coeficiente de Run-off e o número de Froude foram definidos para cinco meses de vazões medidas (2007) e cinco meses de vazões simuladas pelas equações (2006) para fins de comparação conforme tabela 01.

Pela tabela 01 é possível observar que em função da ausência de dados de altas vazões, os resultados dos coeficientes de run-off, feitos a partir dos dados simulados nas equações, apresentaram poucas variações, mostrando que os modelos sugeridos podem ser viáveis para este intervalo de medidas, sem garantia de extrapolações.

Do mesmo modo, os resultados observados para o número de Froude também mostraram valores semelhantes para as vazões reais e simuladas, já que o regime de precipitações para os dois períodos também foram semelhantes.

Tabela 01 Coeficiente de Run-off e Número de Froud para os meses de jan a jun/ 2007 (dados medidos); e jan a jun/2006 (dados simulados)

RUN-OFF	2007					2006				
	JAN	FEV	ABR	MAI	JUN	JAN	FEV	MAR	ABR	JUN
Vazões Medidas	1,10%	0,12%	1,67%	4,17%	2,73%					
Equa 1- Polinomial						1,62%	0,03%	0,19%	0,43%	0,44%
Equa 2-Logarítmica						1,51%	0,02%	0,19%	0,53%	0,50%
Equa 3- Potência						1,56%	0,02%	0,19%	0,49%	0,47%
Equa 4-Exponencial						1,70%	0,03%	0,19%	0,40%	0,39%
Nº de FROUD										
Vazões Medidas	0,18	0,17	0,20	0,21	0,21					
Equa 1- Polinomial						0,20	0,18	0,19	0,29	0,20
Equa 2-Logarítmica						0,21	0,18	0,19	0,22	0,18
Equa 3- Potência						0,20	0,18	0,19	0,24	0,19
Equa 4-Exponencial						0,20	0,18	0,19	0,28	0,19

Aplicando-se dados de níveis para vazões conhecidas nas equações geradas pelas curvas, observou-se que os modelos de maior aproximação foram os de função polinomial e exponencial, cujos valores de R2 também foram os mais próximos de 1. Assim, o modelo indicado foi o exponencial, pelo fator R2 de maior consistência (Fig. 05).

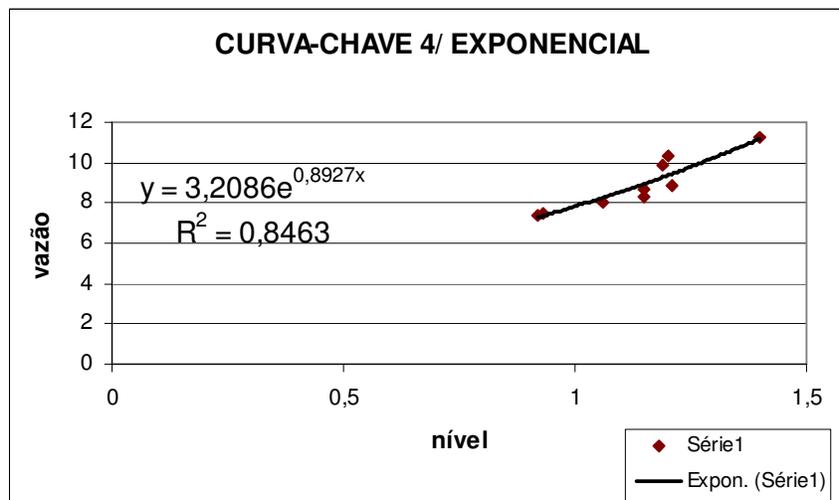


Figura 05 – Curva-Chave escolhida para a seção Peixe Gordo.

4. Conclusões

A avaliação dos modelos de curvas sugeridas a partir da correlação com Run off e número de Froud não trouxeram fortes contribuições neste tipo de análise, em razão da baixa variação entre os dados de vazões simuladas. Porém, os testes realizados para níveis de vazões conhecidas, entre o intervalo de 0,5m e 2m, mostraram boa correlação para as curvas polinomial e exponencial, que também mostraram melhor R2.

Como a seção analisada é frequentemente modificada após cada período de chuva, tanto em função das características pluviométricas associada aos usos marginais na área de contribuição como pela regularização do rio a partir do açude Castanhão, é interessante a coleta constante de novos dados, principalmente quanto ao regime de vazões mais elevadas.

Este ensaio metodológico mostrou que é possível utilizar esta ferramenta do Programa Excel desde que seja possível realizar testes de confiabilidade. Naturalmente, para melhor análise dos resultados faz-se necessária uma coleta de dados mais completa e uma comparação mais refinada com as metodologias tradicionais.

5. Referências Bibliográficas

- CARVALHO, N.O. (1994). Hidrossedimentologia Prática. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais CPRM/ Centrais Elétricas Brasileiras – ELETROBRÁS. Rio de Janeiro.
- CAVALCANTE, A.A.; MORAIS, J. O.; ARAÚJO, J.C. (2001) Compartimentação Geoambiental e Descarga Sólida no Baixo Jaguaribe-Ce. Essentia, Sobral-Ce, v. 3, p.113-128.
- COLLISCHONN, W. (2005). Fundamentos de hidrologia e regimes hidrológicos. In: Fábio Roland; Dionéia César; Marcelo Marinho. (Org.). Lições de Limnologia. São Carlos: Rima.
- FUNCEME. <http://www.funceme.br/>
- GARCEZ, Lucas Nogueira (1974). Hidrologia. São Paulo. Edgard Blücher Ltda.
- PEREIRA, Régis da Silva; SILVA NETO, Adalmiro da; TUCCI, Carlos E. M. (2003) Princípios da Hidrometria. UFRS.
- ROSA, M. F. Gondim, R. S; FIGUERÊDO, M. C. B. (2006) Gestão Ambiental no Baixo Jaguaribe, Ceará. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical.
- SUGUIO, K.; BIGARELLA, J.J. (1990) Ambientes Fluviais. 2ª ed. Florianópolis, Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná.
- TUCCI, C. (2000). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª ed.; 1. reimpr – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS:ABRH.
- VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. (1975) Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-hill do Brasil.