

# RELAÇÕES MATEMÁTICAS ENTRE VAZÕES REGULARIZADAS COM DIFERENTES GARANTIAS

Ticiania M. de Carvalho Studart<sup>1</sup>, José Nilson B. Campos<sup>1</sup>, Dyego Galdino Barcelos<sup>1</sup>, Luiz Sergio V. Nascimento<sup>2</sup>, Marcelo Brauner dos Santos<sup>1</sup> e Ricardo M. de Carvalho<sup>3</sup>

**Resumo** – A vazão regularizada por um reservatório é uma função direta do nível de garantia associado. Assim, muitas vezes se conhece uma vazão regularizada com uma determinada garantia, por exemplo, a de 90%, e quer-se estimá-la com uma outra garantia. O presente artigo apresenta um conjunto de equações relacionando as garantias de 80%, 95% e 98% à garantia de 90%. Os estudos foram desenvolvidos com uma amostra de 32 reservatórios localizados no vale do Jaguaribe, no Estado do Ceará. Foram determinadas equações para o estado de equilíbrio e para as séries históricas. As simulações em Estado de Equilíbrio foram feitas por simulação Monte Carlo utilizando-se séries sintéticas de 5.000 anos, em escala mensal, com o uso do Programa SIMRES. Os resultados mostraram uma excelente correlação entre as vazões regularizadas com diferentes garantias, com coeficientes de determinação ( $r^2$ ) superiores a 0,99.

**Abstract** – The reservoir yield is directly dependant on the reliability level. Most of the times one knows de reservoir yield associated to one reliability level, for instance, 90%, and wants to estimates it with another one. The present paper presents a set of equations relating the reservoir yield estimated with 90% to others estimated with 80%, 95% and 98% reliability level. The study was developed using a sample of 32 reservoirs located in Jaguaribe valley, in Ceará State. The equations were determined to the steady and transient states of the storage process. The simulations on the steady state were made using Monte Carlo Simulation, using 5,000 traces of discharge, in mensal scale, with the software SIMRES. The results showed an excellent correlation among the reservoir yields using distinct reliability level, with coefficient of determination ( $r^2$ ) bigger than 0.99.

**Palavras-Chave** – nível de garantia, vazão regularizada e equações.

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici – Bloco 713 – Fortaleza, Ceará – Brasil – CEP:60.451-970 – Fone (85) 288.9623. Fax (85) 288.9627 – e-mails: [ticiania@ufc.br](mailto:ticiania@ufc.br), [dyegogaldino@hotmail.com](mailto:dyegogaldino@hotmail.com) e [nilson@ufc.br](mailto:nilson@ufc.br).

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos/USP – Av. Trabalhador São-carlense, 400 – Centro – São Carlos, São Paulo – Brasil – CEP: 13.566-590 – Fone (16) 3373.9550 – e-mail: [lsergio@sc.usp.br](mailto:lsergio@sc.usp.br)

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Edificações – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 710, Fortaleza, Ceará, Brasil



## INTRODUÇÃO

A vazão regularizada por um dado reservatório depende do regime hidrológico do rio, da extensão da série histórica dos deflúvios anuais, das características climáticas locais, das características morfológicas do reservatório, das condições iniciais assumidas na simulação e do nível de garantia adotado. Ao se fixar o reservatório e ao se estudar o processo de armazenamento no seu Estado de Equilíbrio, conforme descrito em STUDART e CAMPOS (2001) [1], a vazão regularizada passa a ser função unicamente do nível de garantia, o qual representa a probabilidade do reservatório prover sem restrições, em um ano qualquer, a vazão regularizada  $Q_G$ .

No Ceará, o Decreto Estadual nº 23.067/94 estipula que “o valor máximo outorgável nos rios cearenses deverá ser de 9/10 da vazão regularizável, com 90% de garantia”. Contudo, muitos defendem que determinados usos adotem níveis de garantia diferenciados.

Assim sendo, pretende-se jogar um pouco mais de luz no entendimento dos processos de troca entre o nível de garantia adotado e a vazão regularizada associada. Sabe-se, obviamente, que quanto maior a garantia, menor será a vazão regularizada. Mas, de quanto será esta perda?

O presente artigo estabelece um conjunto equações de transformação da vazão regularizada com garantia de 90% ( $Q_{90}$ ) – a usualmente definida - naquelas com garantias de 80%, 95% e 98%, tentando-se, assim, uma generalização destas relações.

## METODOLOGIA

A amostra selecionada foi composta de 32 reservatórios localizados no estado do Ceará, no Vale do Jaguaribe, com capacidades variando de 6,43 hm<sup>3</sup> a 4.450,00 hm<sup>3</sup> e cujas relações capacidade/deflúvio médio anual ( $f_K$ ), conforme definido em CAMPOS (1996) [2], se situassem entre 0,5 e 5,0 (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características dos 32 reservatórios analisados

Nº	Reservatório	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	Altura Máxima (m)	Deflúvio Médio Anual (hm <sup>3</sup> /ano)
1	Arneiroz	190,00	23,27	100,89
2	Atalho II	108,25	35,00	98,24
3	Aurora	873,00	35,00	243,80
4	Bastiões	136,70	32,00	69,45
5	Boa Viagem	47,00	25,00	28,88

**Tabela 1. (continuação) Características dos 32 reservatórios analisados**

<b>Nº</b>	<b>Reservatório</b>	<b>Capacidade (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Altura Máxima (m)</b>	<b>Deflúvio Médio Anual (hm<sup>3</sup>/ano)</b>
6	Broco	17,60	14,00	4,59
7	Canafístula	13,12	11,00	5,91
8	Canoas	69,25	43,00	19,31
9	Castanhão	4 450,00	45,00	1 463,50
10	Cipoada	17,25	11,00	32,25
11	Ema	10,39	12,50	9,65
12	Farias Brito	197,60	49,60	42,50
13	Favelas	30,00	14,00	32,38
14	Goiatá	51,90	25,00	75,68
15	Ingazeiro	11,32	16,00	11,57
16	Joaquim Távora	23,66	14,00	16,13
17	Lima Campos	64,30	12,30	24,78
18	Munquém	47,64	21,82	54,52
19	Olho D'água	21,00	22,82	5,49
20	Orós	1 956,26	37,50	1 029,05
21	Pedras Brancas	434,05	27,00	158,50
22	Poço da Pedra	50,00	22,00	46,09
23	Pombas	17,58	12,06	10,11
24	Puiu	24,50	13,00	37,41
25	Riacho dos Tanques	12,78	12,00	3,09
26	Rivaldo de Carvalho	6,43	7,56	12,34
27	São José II	29,15	17,00	13,88
28	Tomas Osterne	28,10	25,00	6,34
29	Trapiá II	18,19	24,00	15,03
30	Trici	16,50	16,50	25,74
31	Trussu	263,00	32,00	73,28
32	Várzea do Boi	53,00	13,00	55,34

FONTE: COGERH (1999) [3]

Segundo NASCIMENTO et. al. (2003) [4], alguns dados de cota x volume de reservatórios cearenses encontram-se inconsistentes. Assim sendo, para a amostra utilizada, realizou-se uma correção dos pontos discordantes da curva, conforme sugerido por CAMPOS et. al. (2004) [5].

### Simulação dos Reservatórios

Para a determinação das vazões regularizadas para os diversos níveis de garantia, foi utilizado o software SIMRES ®, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Considerou-se como “séries históricas” de vazão afluente a cada reservatório, as séries de vazões constantes no Plano de Gerenciamento de Águas do Rio Jaguaribe (COGERH, 1999) [3], obtidas pelo modelo chuva x deflúvio MODHAC. Já as séries sintéticas foram obtidas gerando-se 5.000 traços de vazões anuais, seguindo uma distribuição de probabilidade Gama II, com as mesmas características estatísticas da série histórica. As vazões anuais foram desagregadas em mensais pelo Método dos Fragmentos, uma vez que esse método produz bons resultados para rios intermitentes do Semi-Árido Nordeste (ARAÚJO, 1991) [6].

Cada reservatório foi simulado, tanto com sua série histórica como com sua série sintética. Ao simular-se os reservatórios com suas séries históricas, assumiu-se que os mesmos se encontravam inicialmente cheios. A utilização da série sintética visou eliminar o efeito das condições iniciais assumidas na simulação (STUDART, 2000) [7]. Foram adotados quatro níveis de garantia – 90% (previsto na lei cearense), 80%, 95% e 98%.

### RESULTADOS

As vazões regularizadas obtidas para cada reservatório com garantias iguais a 80%, 90%, 95% e 98%, utilizando-se as séries sintéticas e históricas, encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Vazões regularizadas obtidas pela simulação dos reservatórios utilizando as séries sintéticas e históricas.

Reservatório	Vazão regularizada (série sintética)				Vazão regularizada (série histórica)			
	80%	90%	95%	98%	80%	90%	95%	98%
Arneiroz	50,4	35,2	26,7	20	54,0	43,4	37,6	31,3
Atalho II	32,4	22,9	17,6	13,6	39,8	30,4	24,9	15,2
Aurora	220,4	174,1	144,1	117,6	217,0	151,5	117,9	91,5
Bastiões	46,6	34,6	27,7	22,2	42,8	26,4	16,1	11,0
Boa Viagem	17,3	12,5	9,8	7,6	17,2	9,5	3,3	1,8
Broco	1,7	0,9	0,5	0,1	1,7	0,9	0,0	0,0
Canafístula	1,8	0,9	0,5	0,1	2,6	1,5	0,9	0,7

**Tabela 2. (continuação)** Vazões regularizadas obtidas pela simulação dos reservatórios utilizando as séries sintéticas e históricas.

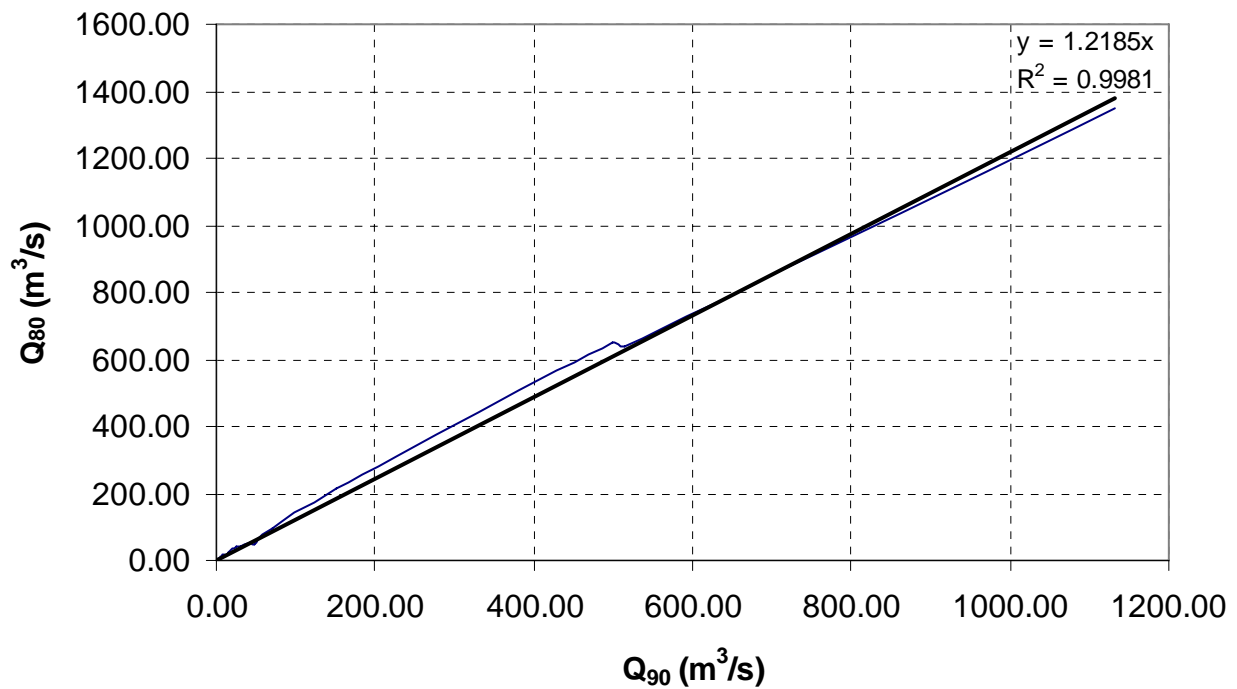
Reservatório	Vazão regularizada (série sintética)				Vazão regularizada (série histórica)			
	80%	90%	95%	98%	80%	90%	95%	98%
Canoas	14,3	10,6	8,4	6,5	13,8	10,2	7,0	5,4
Castanhão	1175,2	897,7	735,7	591,3	1349,3	1132,1	1057,0	992,5
Cipoada	7,8	5,2	3,6	2,5	10,2	7,4	5,0	3,2
Ema	2,6	1,6	1	0,6	3,9	2,5	1,9	1,5
Favelas	8,8	5,3	3,4	2	10,1	7,0	5,2	3,9
Goiata	51,3	45,4	41,1	36,9	50,2	48,4	44,2	43,9
Ingazeiro	6,6	4,9	3,9	3,1	5,7	3,7	2,7	2,0
Joquim Távora	4,8	2,8	1,7	1	7,0	4,5	3,3	2,7
Lima Campos	18,3	13,5	10,7	8,2	19,0	14,5	11,6	9,3
Munquem	25,9	18,7	14,7	11,7	24,5	15,6	9,0	4,9
Olho D'água	4,2	3,2	2,6	2,1	4,7	3,9	3,3	2,9
Orós	597,3	433,7	341,5	267,2	651,6	498,9	428,9	380,8
Pedras Brancas	92,5	64,5	48,6	35,5	92,7	70,9	58,3	48,8
Poço da Pedra	17,8	11,8	8,5	6	20,1	12,2	8,8	6,2
Pombas	4,4	2,9	1,9	1,2	6,1	4,5	3,5	2,6
Puiu	10,3	7,1	5,3	3,9	11,9	8,6	6,8	5,6
Riacho dos Tanques	1,5	0,9	0,6	0,3	1,4	0,9	0,6	0,4
Rivaldo de Carvalho	2,3	1,2	0,6	0,2	2,0	0,8	0,2	0,0
São José II	7,3	5,1	3,8	2,8	7,3	5,7	4,4	3,2
Tomas Osterne	5,2	4	3,2	2,6	5,6	4,7	4,2	3,6
Trapiá II	9,8	7,3	5,7	4,5	9,2	6,5	5,4	4,6
Trici	6	3,7	2,5	1,5	7,0	4,6	3,2	2,6
Trussu	62,5	48,2	39	31,1	62,8	51,8	45,7	40,4
Varzea do Boi	14,9	8,8	5,5	3,0	18,2	12,0	8,9	6,6

Observa-se, na Tabela 2 que, analisando-se apenas as vazões regularizadas utilizando-se as séries sintéticas, por exemplo, as vazões obtidas com garantia de 80% são, em média, 48% superiores àquelas obtidas com garantia de 90%. No que se refere às garantias de 95% e 98%, estas são em média, 27% e 48% inferiores à  $Q_{90}$ , respectivamente. Observou-se, entretanto, uma variabilidade significativa, traduzida pelo desvio padrão, entre os valores individuais encontrados e há que estudar, em estudo posterior, as influências do coeficiente de variação dos deflúvios anuais (CV) e do fator adimensional de capacidade ( $f_K$ ) nestas transformações entre garantias das vazões regularizadas.

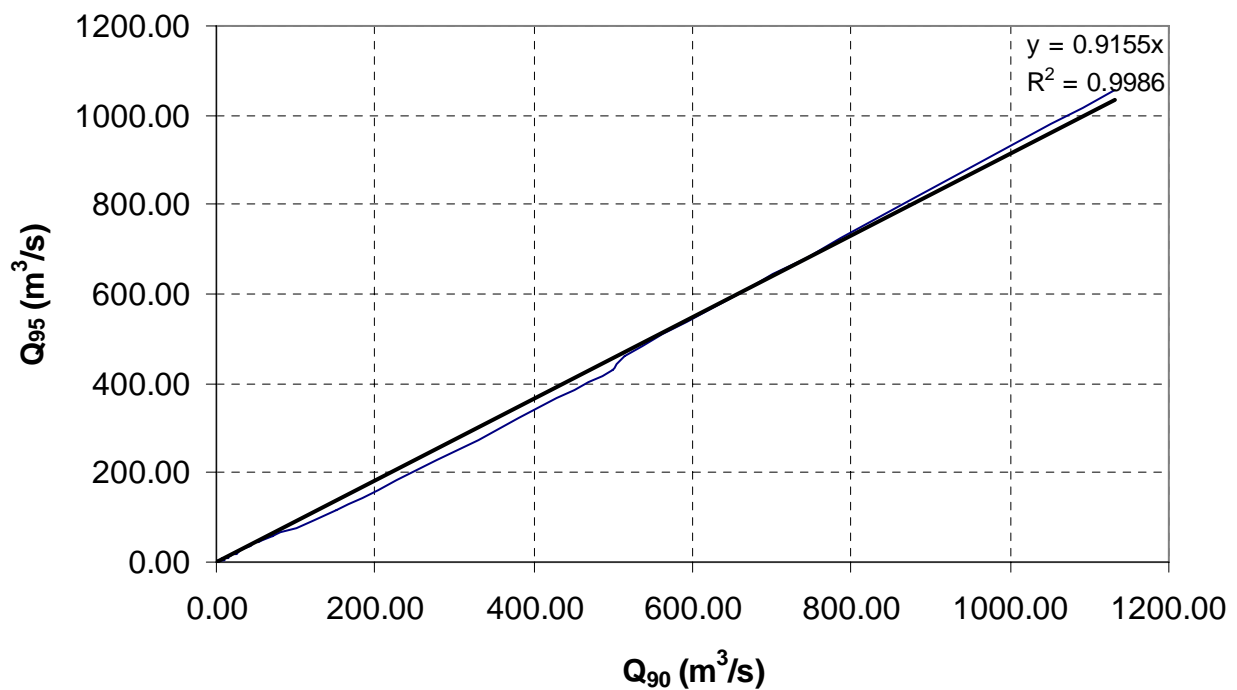
### Obtenção das Equações

Neste primeiro estudo, foram desenvolvidas equações matemáticas relacionando  $Q_{90}$  a  $Q_{80}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$ , tanto para as séries sintéticas como históricas. Para a determinação das equações, plotou-se os valores de  $Q_{90}$  versus as vazões obtidas com as garantias de 80%, 95% e 98%. O excelente

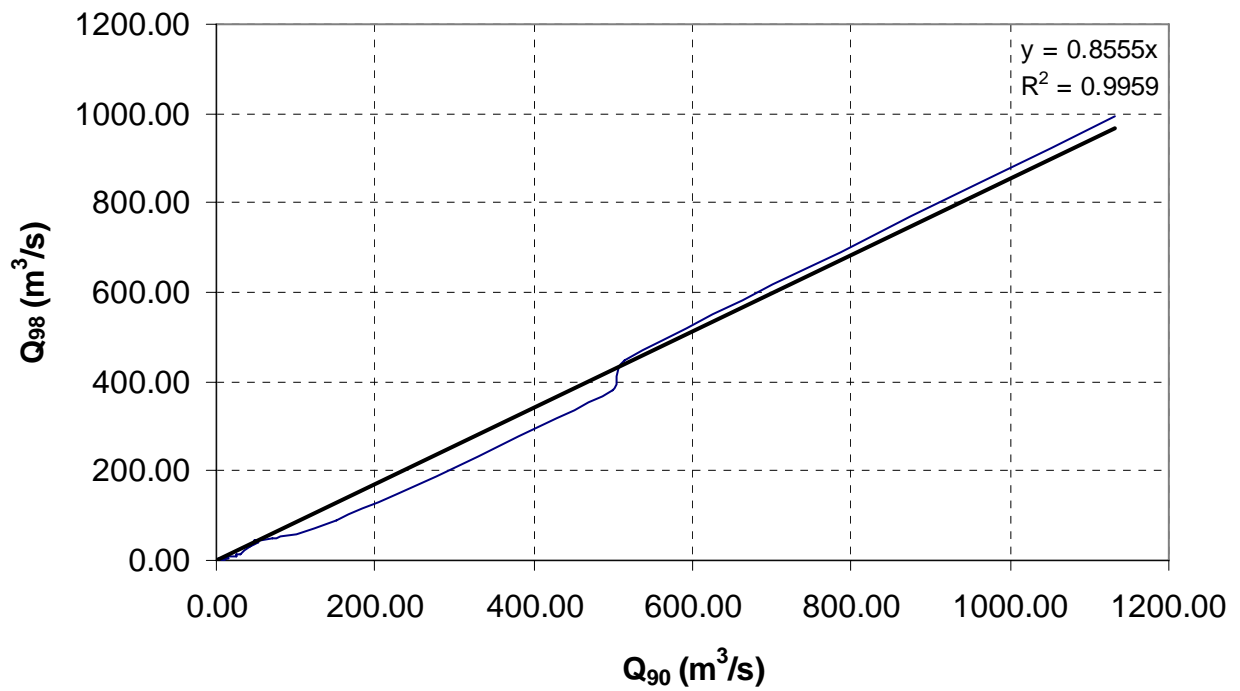
grau de ajustamento entre os valores, tanto visual quanto estatisticamente (através do  $r^2$ ) é mostrado nas figuras 1 a 3 (série histórica) e 4 a 6 (séries sintéticas).



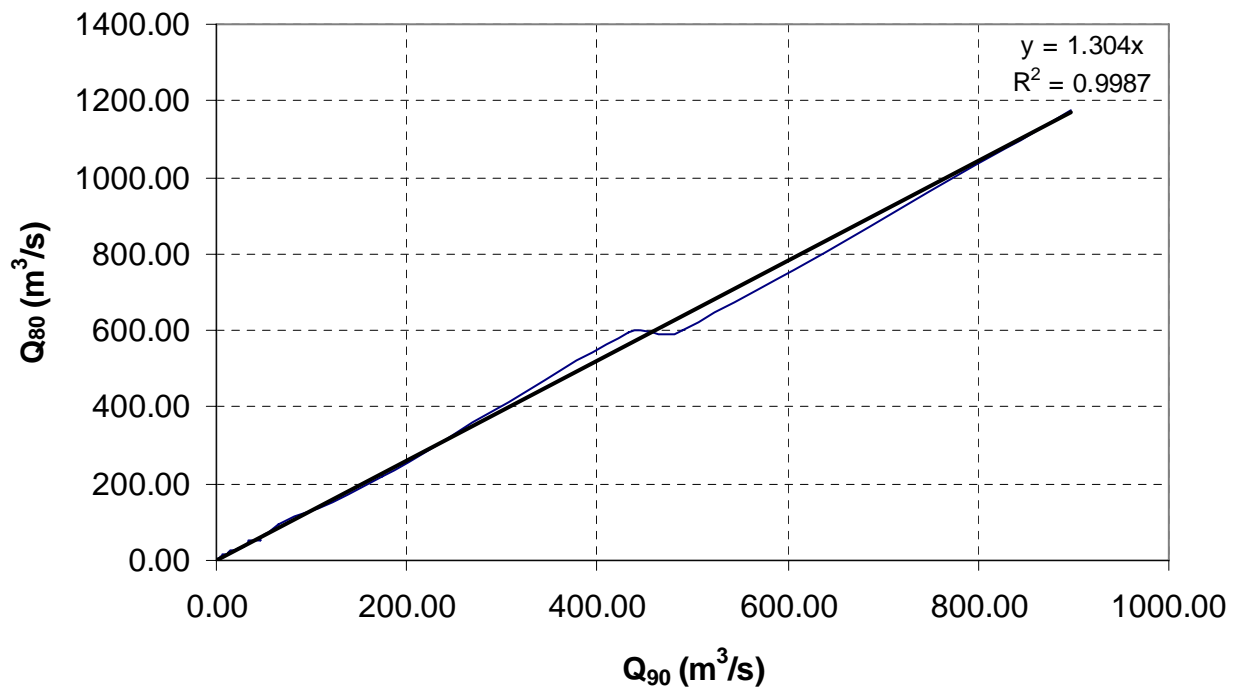
**Figura 1** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se  $G=90\%$  e  $G=80\%$  (série histórica).



**Figura 2** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se  $G=90\%$  e  $G=95\%$  (série histórica).

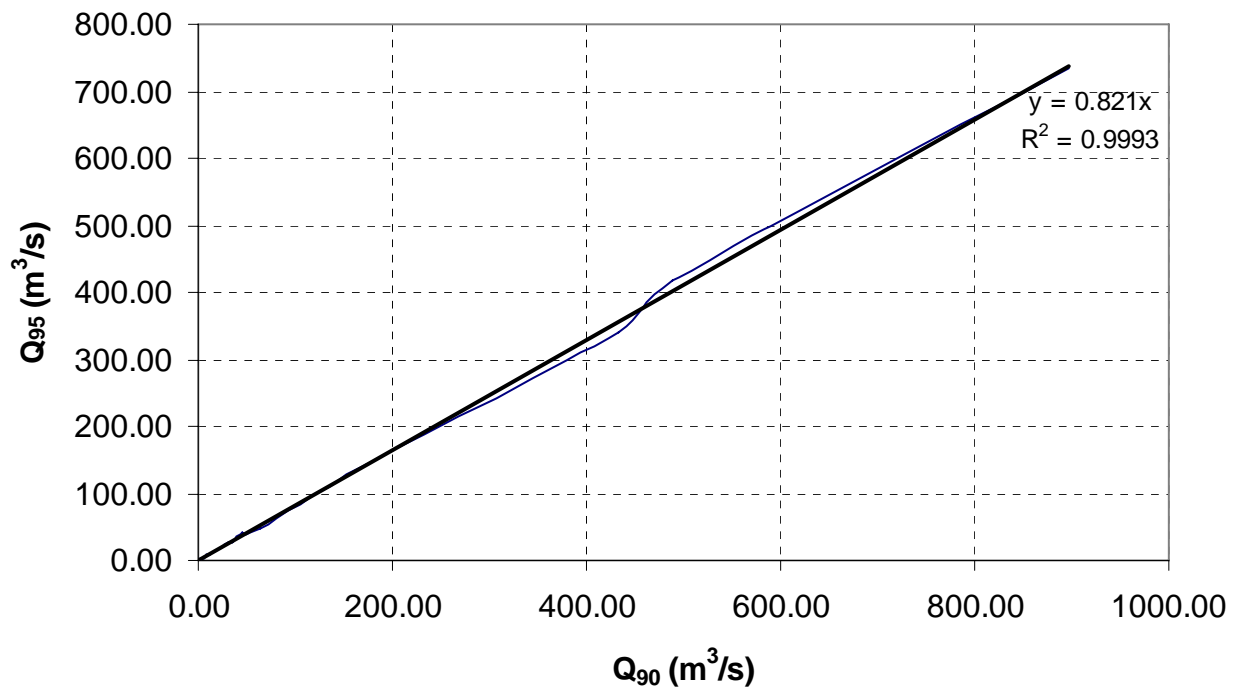


**Figura 3** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se  $G=90\%$  e  $G=98\%$  (série histórica)..

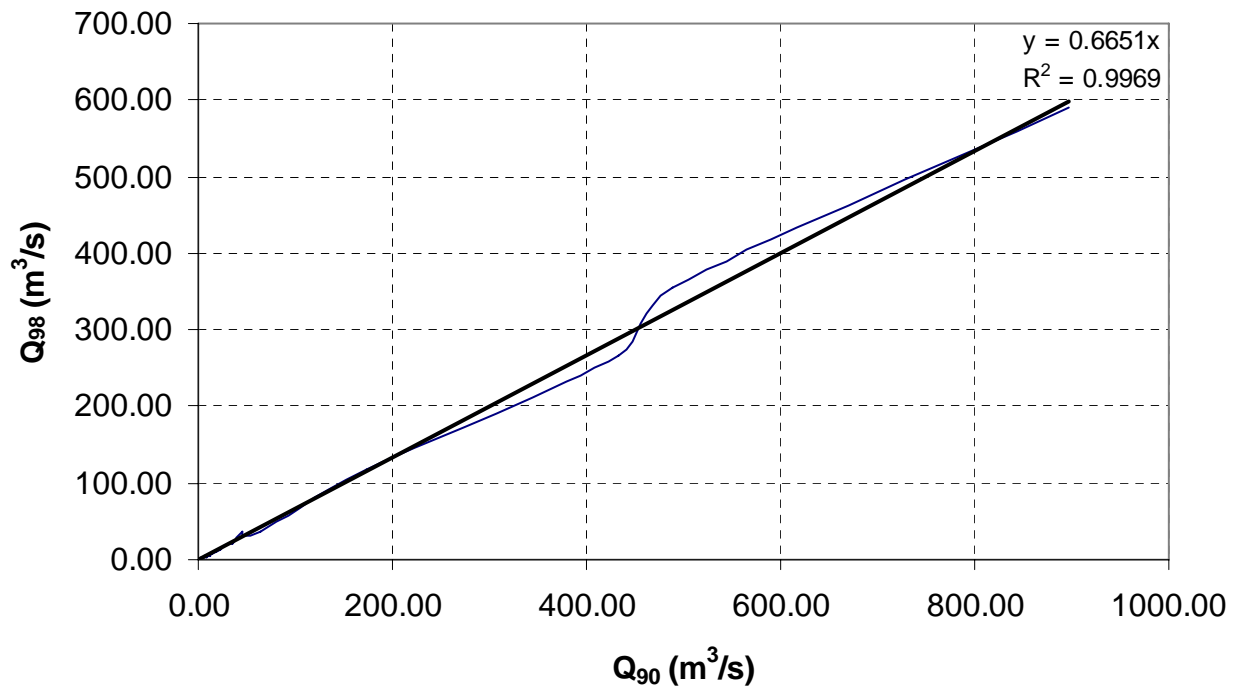


**Figura 4** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se  $G=90\%$  e  $G=80\%$  (série sintética).





**Figura 5** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se G=90% e G=95% (série sintética)



**Figura 6** – Relação entre as vazões regularizadas obtidas através da simulação dos reservatórios utilizando-se G=90% e G=98% (série sintética)

Os dados constantes nas figuras 1 a 6 foram ajustados por regressão linear, forçadas a passar pela origem, em equação do tipo:

$$y = a.x \quad (1)$$

em que:

y = vazão regularizada que se deseja obter –  $Q_{80}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$

a = coeficiente angular da reta

x = vazão regularizada com 90% de garantia –  $Q_{90}$

As equações de transformação da vazão regularizada com 90% de garantia naquelas com garantias de 80%, 95% e 98% são apresentadas na Tabela 3. Embora todas tenham mostrado um excelente grau de ajustamento, recomenda-se não utilizar as equações obtidas com as séries históricas, vez que as mesmas podem conter um viés decorrente do volume inicial adotado.

**Tabela 3.** Equações obtidas para as series históricas e sintéticas.

Série	80%	95%	98%
Histórica	$Q_{80} = 1,2185.Q_{90}$	$Q_{95} = 0,9155.Q_{90}$	$Q_{98} = 0,8555.Q_{90}$
Sintética	$Q_{80} = 1,304.Q_{90}$	$Q_{95} = 0,8210.Q_{90}$	$Q_{98} = 0,6651.Q_{90}$

## CONCLUSÕES

Sabe-se que a vazão regularizada por um reservatório é função direta, entre outros fatores, do nível de garantia associado. Entretanto a relação de troca entre nível de garantia e o valor correspondente da vazão regularizada, em climas semi-áridos, não é suficientemente conhecida. Muitas vezes se conhece uma vazão regularizada com uma determinada garantia – no Ceará é usual a adoção de 90% - e quer-se estimá-la com uma outra garantia. O presente artigo apresenta os resultados preliminares desta busca por um entendimento maior do processo, e apresenta equações matemáticas para a transformação entre vazões regularizadas de diferentes garantias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] STUART, T.M.C; CAMPOS, J.N.B.(2001) *Incertezas nas Estimativas da Vazão Regularizada por um Reservatório*. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n.3, p. 81-94.

- [2] CAMPOS, J.N.B. (1996). **Dimensionamento de Reservatórios: O Método do Diagrama Triangular de Regularização**, Edições UFC.
- [3] COGERH (1999). **Plano de Gerenciamento das águas da Bacia do rio Jaguaribe**. Engesoft Consultoria, Fortaleza, Ceará.
- [4] NASCIMENTO, L.S.V., CAMPOS, J.N.B. e STUDART, T.M.C. (2003). **Morfologia de Reservatórios e o Viés na Estimativa da Vazão Regularizada**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2003.
- [5] CAMPOS, J.N.B., NASCIMENTO, L.S.V., STUDART, T.M.C. e BARCELOS, D.G. (2004). **Desvios nas Estimativas de Vazões Regularizadas resultantes da representação das relações cota x área volume por Equações Matemáticas**. In: XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica, 2004, São Pedro. XXI Congresso Latino Americano de Hidráulica (artigo aceito).
- [6] ARAÚJO, J.K. (1991). **Método dos Fragmentos Aplicado a Rios Intermitentes: Avaliação dos Erros Introduzidos no Cálculo da Disponibilidade de Reservatórios**. Fortaleza, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará (Dissertação de Mestrado).
- [7] STUDART, T.M.C. (2000). **Análises de Incertezas na Determinação de Vazões Regularizadas em Climas Semi-Áridos**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Tese de doutorado.