

INFLUÊNCIA DO REGIME SAZONAL DE VAZÕES NAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DE RESERVATÓRIOS

José Nilson B. Campos¹ ; Luiz Sérgio Vasconcelos do Nascimento² ; Dyego Galdino Barcelos³
e Ticiano Marinho de Carvalho Studart¹

Resumo – O presente trabalho pretende analisar o comportamento da vazão regularizada por um reservatório, em diferentes cenários de distribuição de vazões mensais, aqui denominada de *padrão sazonal*. Para analisar tal influência, selecionou-se um rio intermitente – rio Caxitoré – localizado no Estado do Ceará, o qual apresenta um regime típico dos rios do Semi-Árido Brasileiro. Suas vazões anuais foram desagregadas pelo padrão sazonal do próprio rio e pelos oito padrões selecionados. Os resultados preliminares indicam que o padrão sazonal das vazões desempenha um papel importante nas estimativas da vazão regularizada.

Abstract – This paper intends to analyze the behavior of the reservoir yield for different scenarios of mean discharges, nominated here as *seasonal pattern*. In order to analyze this influence, it was selected a intermittent river - Caxitoré River - in Ceará, which presents a typical hydrological regimen of Brazilian Semi-arid Region river. Its annual discharges were disaggregated by Caxitoré River's mean monthly discharges pattern and by eight different seasonal patterns. The preliminary results show seasonal pattern play a important role on reservoir yield estimates.

Palavras Chave – Método dos Fragmentos; desagregação de vazões; vazão regularizada.

¹ Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60.451-970, Fone: (85) 288.9623, Fax: (85) 288.9627 e-mails: ticiano@ufc.br e nilson@ufc.br

² Engenheiro Civil e ex Bolsista de Iniciação Científica - CNPq - Universidade Federal do Ceará. E-mail: luiz_sergio@bol.com.br

³ Aluno do Curso de Engenharia Civil e Bolsista de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq - Universidade Federal do Ceará. E-mail: dyegogaldino@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Simulação é o processo de reprodução do mundo real baseado em certas suposições e em modelos concebidos da realidade. Ela pode ser efetuada teórica ou experimentalmente; na prática, a simulação teórica é usualmente feita numericamente, com o auxílio de computadores, e através de repetidas simulações, a performance do sistema, sob diferentes cenários, pode ser avaliada.

A simulação estocástica do sistema oferece meios para a geração de inúmeras seqüências independentes do fenômeno. Cada sorteio gera uma nova série, diferente da histórica, mas com as mesmas propriedades estatísticas e igualmente provável.

Ao se trabalhar a nível mensal, há que se desagregar as vazões anuais em mensais. É de uso freqüente a metodologia proposta por SVARNIDZE (1980) - o Método dos Fragmentos - o qual produz vazões mensais por desagregação de vazões anuais pré-geradas por um modelo apropriado, no caso em questão, uma distribuição Gamma II. Este método produz bons resultados para os rios intermitentes do Semi-Árido Nordeste (ARAÚJO,1991).

O uso dessa técnica supõe a existência de uma série histórica de vazões mensais - porém de curta duração - e visa aumentar as informações fluviométricas do posto, de forma a dar subsídios ao êxito em projetos e operação de sistemas de recursos hídricos. Para cada mês e para cada ano da série histórica é determinado um fragmento dado por:

$$f_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{\sum_{j=1}^{12} Q_{i,j}} \quad (1)$$

onde: $Q_{i,j}$ é a vazão no mês j do ano i .

De posse dos fragmentos calculados, as vazões da série anual são ordenadas de forma crescente e são gerados tantos intervalos de classe quanto o número de anos da série histórica. Como cada mês tem o seu fragmento e, durante o ano existem doze fragmentos, cada intervalo de classe contempla doze fragmentos.

Na obtenção da série sintética de vazões mensais (com um determinado número de anos) associa-se cada valor anual de vazão da série previamente gerada ao intervalo de classe correspondente, sendo desagregado pelo respectivo fragmento. Dessa forma, as vazões mensais sintéticas são estimadas por meio da seguinte expressão:

$$Q_{i,j} = f_j^k Q_i^k \quad (2)$$

onde:

$Q_{i,j}$ é a vazão mensal sintética para o mês j do ano i ;

f_j^k é o fragmento de desagregação no mês j associado ao intervalo de classe k ;

Q_i^k é a vazão anual gerada pelo modelo anual, pertencente a classe k.

É fácil observar que a soma dos fragmentos, para um determinado ano i é igual à unidade, ou seja:

$$\sum f_{i,j} = 1 \quad (3)$$

Na ausência de série histórica observada para um dado estudo de um rio, séries de vazões obtidas em rios de comportamento similar são utilizadas como a melhor opção. O erro cometido dependerá do grau de similaridade das condições naturais que influenciam o padrão sazonal das mesmas. No presente trabalho analisa-se a influência do padrão sazonal da vazão – utilizado para desagregar as vazões anuais em mensais - nas disponibilidades hídricas de um reservatório isolado.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente estudo selecionou-se uma amostra de oito rios, localizados sete países diferentes, com padrões de vazão mensal distintos. Suas principais características podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características principais dos oito rios estudados.

no.	Rio	Continente	País	Estação	Latitude	Longitude
1	Irtysch	Ásia	Kasaquistão	Omsk	55.02	73.30
2	Miniya	Europa	Lituânia	M.Kartyana	55.93	17.90
3	Murray	Oceania	Austrália	Lock 9 Upper	-34.18	141.60
4	Niagara	América do Norte	Canadá	Queenston	43.15	-79.05
5	Paraíba do Sul	América do Sul	Brasil	Campos	-21.75	-41.33
6	São Francisco	América do Sul	Brasil	Juazeiro	-9.41	-40.50
7	Tiber	Europa	Itália	Roma	41.90	12.48
8	Vuoksi	Europa	Finlândia	Imatra	61.15	28.77

Desta amostra, foram obtidas as séries históricas de vazões afluentes de cada rio. Para efeito de comparação foram considerados apenas 51 anos de cada série, uma vez que este é o tamanho da menor série observada.

No sentido de avaliar os efeitos da sazonalidade na determinação da vazão regularizada de reservatórios, selecionou-se um rio típico do semi-árido cearense: o rio Caxitoré, localizado no norte do estado do Ceará. Embora este trabalho utilize dados de um reservatório em particular, os resultados não são válidos unicamente para ele.

O rio Caxitoré, um dos principais afluentes do rio Curu, apresenta um regime hidrológico típico dos rios cearenses: intermitente, com 90% do escoamento ocorrendo entre os meses de fevereiro e maio (Figura 1) e grande variabilidade interanual, com deflúvio médio anual de 126,31 hm³ com um coeficiente de variação dos deflúvios de 1,2.

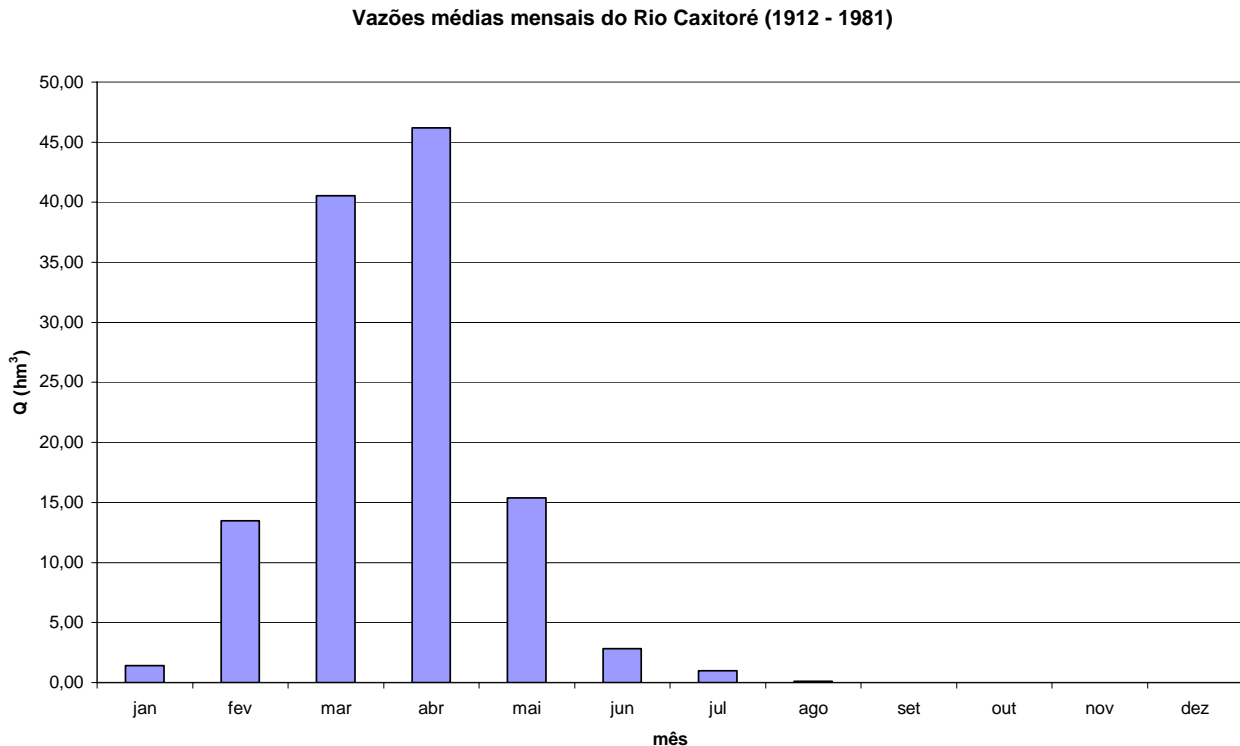


Figura 1 – Vazões médias mensais (em hm³) do Rio Caxitoré

Com a série histórica de cada rio calculou-se os fragmentos referentes aos 51 anos de sua série histórica, tendo cada ano 12 fragmentos. Com estes fragmentos, as vazões *anuais* do rio Caxitoré foram preservadas e redistribuídas mensalmente, obedecendo a sazonalidade (doravante denominada *padrão sazonal*) do rio em questão. Criou-se, assim, oito “séries históricas modificadas” para o rio Caxitoré, uma para cada padrão sazonal.

De posse dos dados das “vazões históricas” afluentes, foi estimada a vazão regularizada do açude Caxitoré, através do programa SIMRES ®, considerando quatro níveis de garantia - 80%, 90%, 95% e 98% e utilizando metodologia descrita em Campos et. al. (2000). As vazões regularizadas foram estimadas para um horizonte de simulação de 5000 anos, para simular o reservatório no seu estado de equilíbrio (STUDART E CAMPOS, 2001).

Para analisar-se o efeito do padrão sazonal nas vazões regularizadas pelo Açude Caxitoré, o mesmo foi simulado também com a serie histórica verdadeira do rio Caxitoré, para os quatro níveis de garantia. A Tabela 2 mostra as vazões regularizadas no estado de equilíbrio obtidas para cada padrão sazonal adotado.

Tabela 2 – Vazão regularizada no estado de equilíbrio (em hm³/ano) do Açude Caxitoré utilizando-se sua série histórica verdadeira e suas séries históricas modificadas (segundo oito padrões sazonais)

n°.	Reservatório	Garantia (%)			
		80	90	95	98
real	Caxitoré	61,80	49,30	41,90	34,70
1	Irtysh	74,60	61,60	52,50	44,60
2	Miniya	65,60	54,60	47,30	39,30
3	Murray	64,70	53,80	46,40	38,90
4	Niagara	67,80	56,20	48,40	40,40
5	Paraíba do Sul	70,50	58,60	50,10	41,80
6	São Francisco	71,20	59,40	50,60	42,20
7	Tiber	66,30	55,30	47,60	39,80
8	Vuoksi	67,80	56,00	48,50	40,40

Os oito padrões sazonais utilizados podem ser observados através das vazões médias mensais de cada rio, em termos percentuais, apresentadas nas figuras 2 a 9.

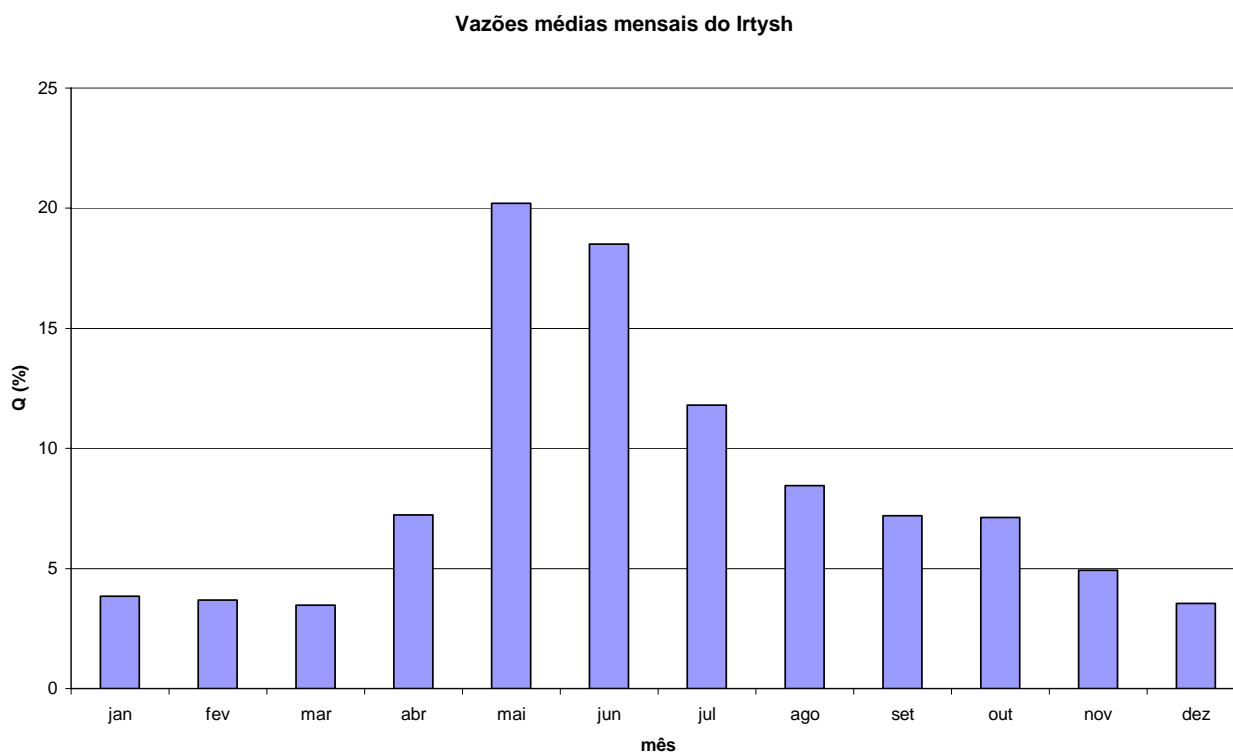


Figura 2 – Vazões médias mensais (%) do Rio Irtysh

Vazões médias mensais do Miniya

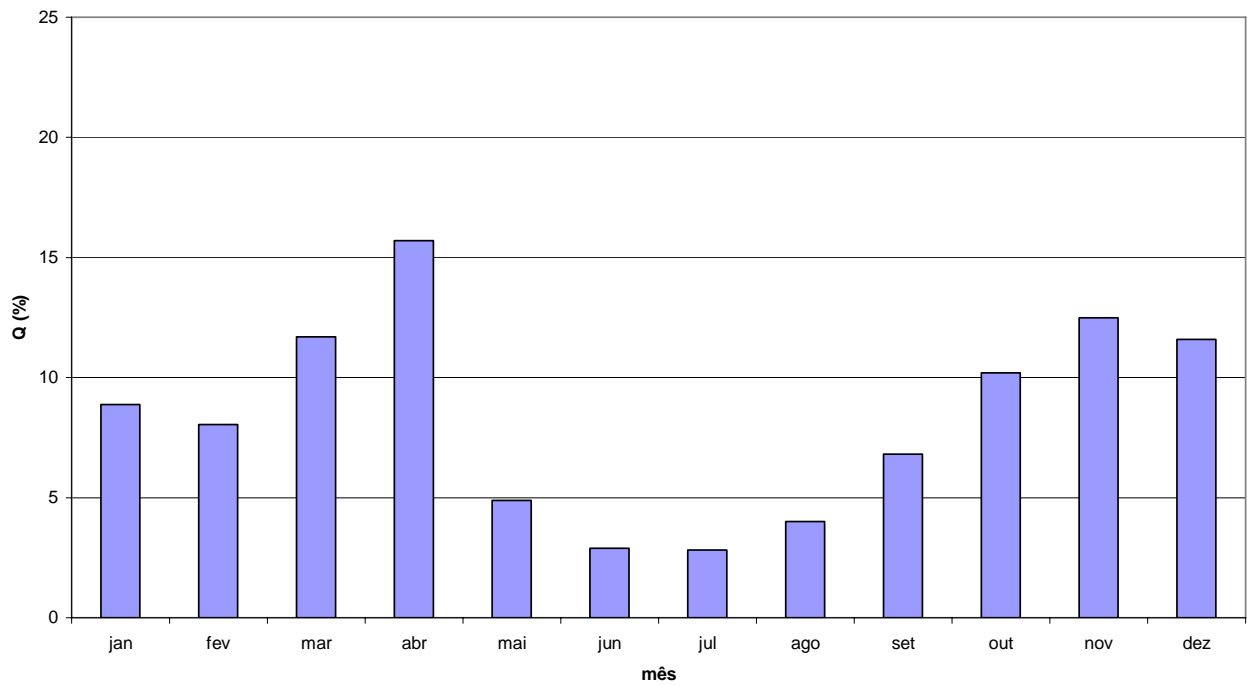


Figura 3 – Vazões médias mensais (%) do Rio Miniya

Vazões médias mensais do Murray

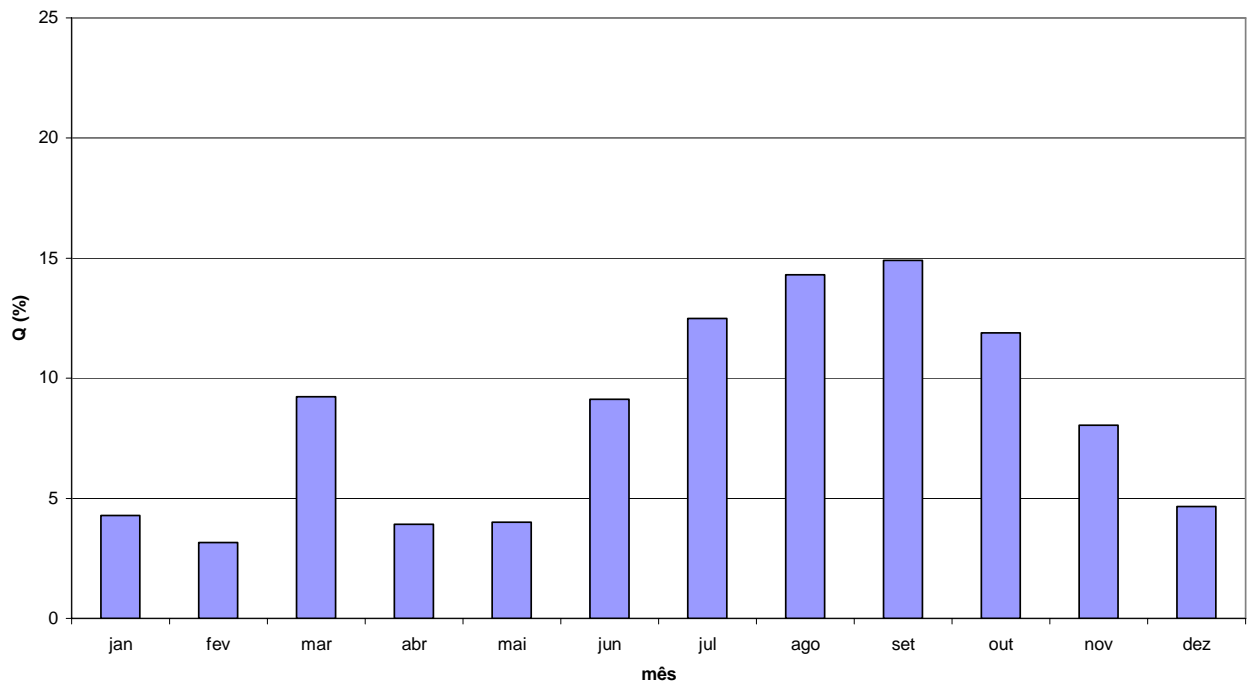


Figura 4 – Vazões médias mensais (%) do Rio Murray

Vazões médias mensais do Niagara

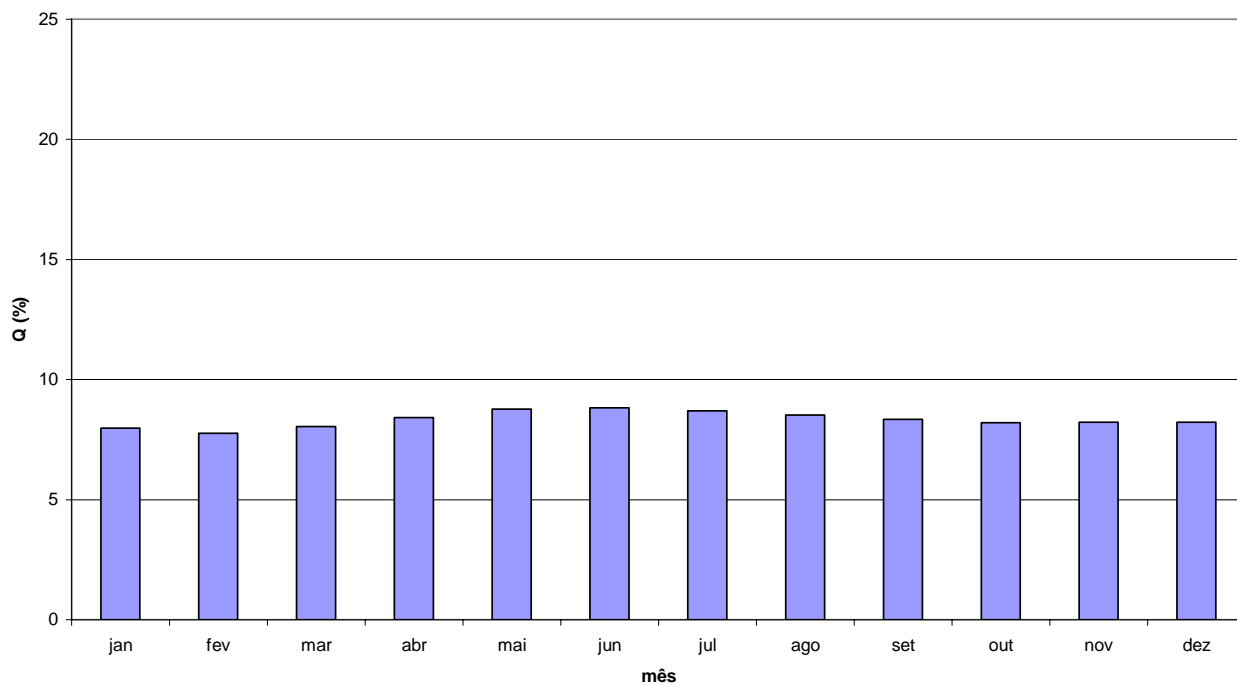


Figura 5 – Vazões médias mensais (%) do Rio Niagara

Vazões médias mensais do Paraíba do Sul

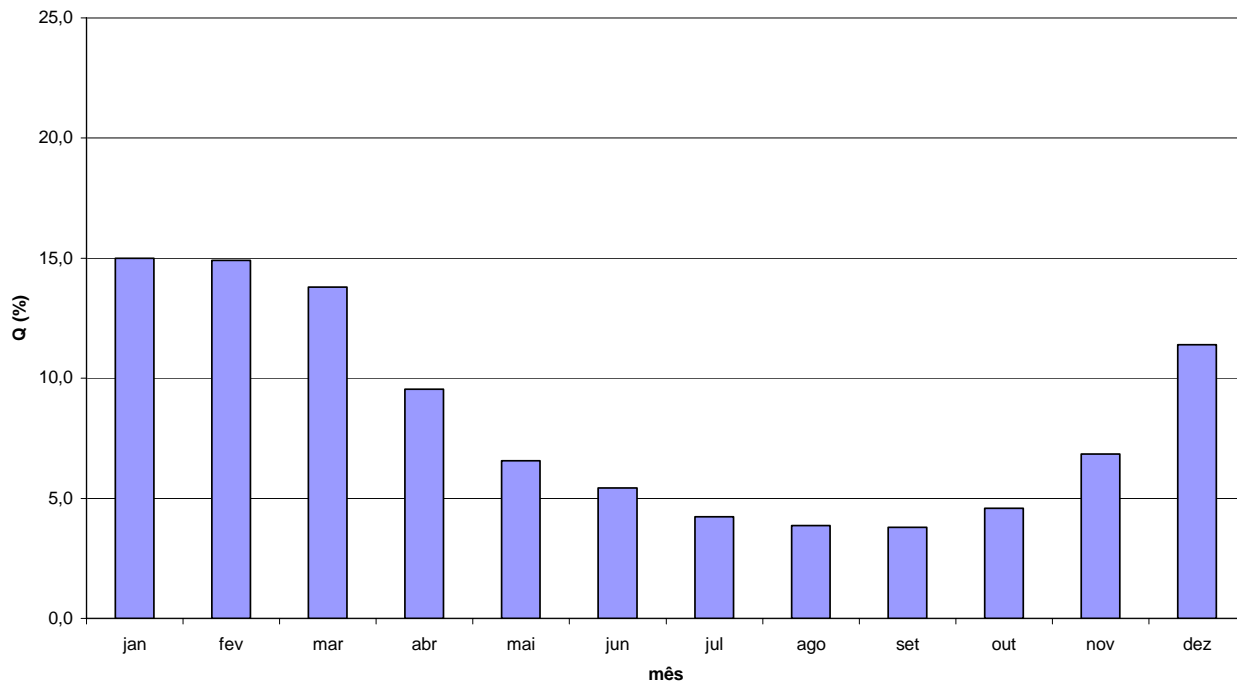


Figura 6 – Vazões médias mensais (%) do Rio Paraíba do Sul

Vazões médias mensais do Sao Francisco

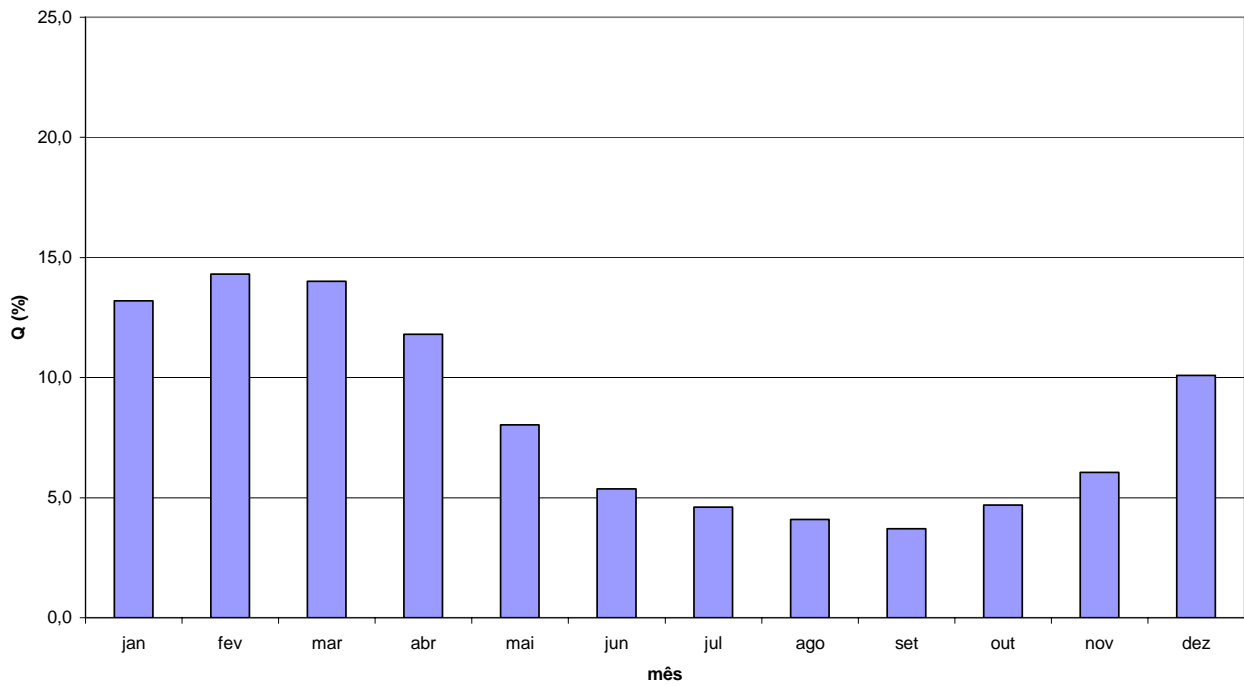


Figura 7 – Vazões médias mensais (%) do Rio São Francisco

Vazões médias mensais do Tiber

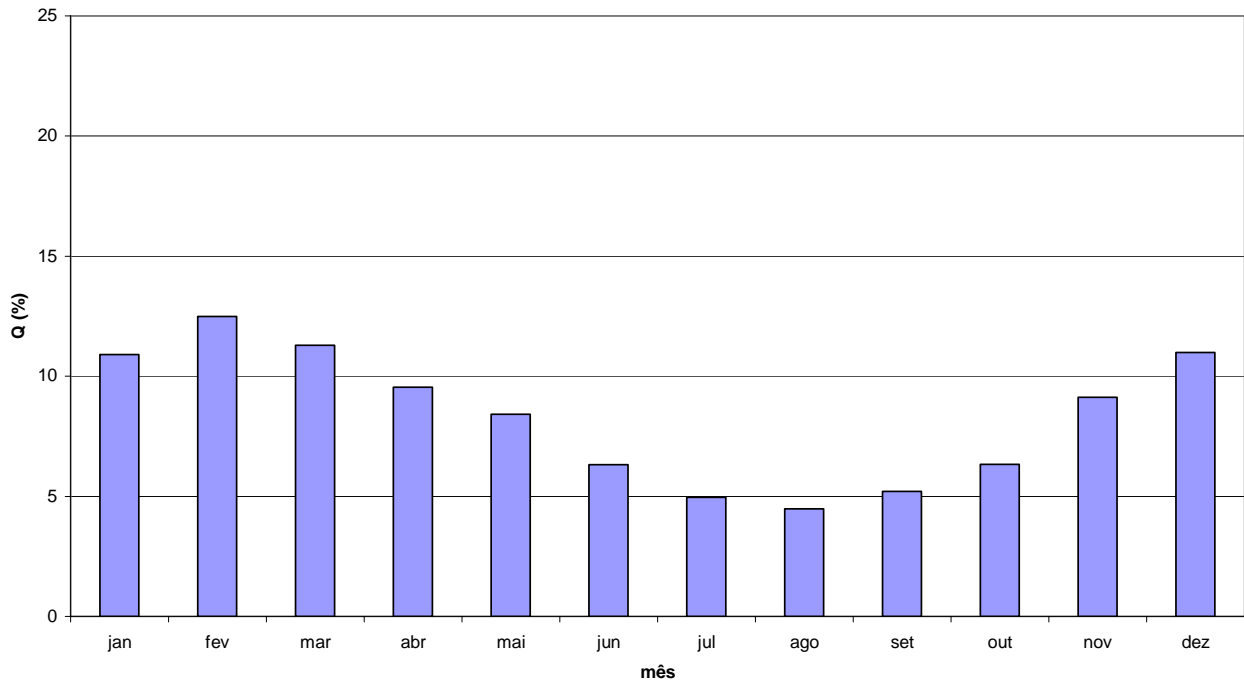


Figura 8 – Vazões médias mensais (%) do Rio Tiber

Vazões médias mensais do Vuoksi

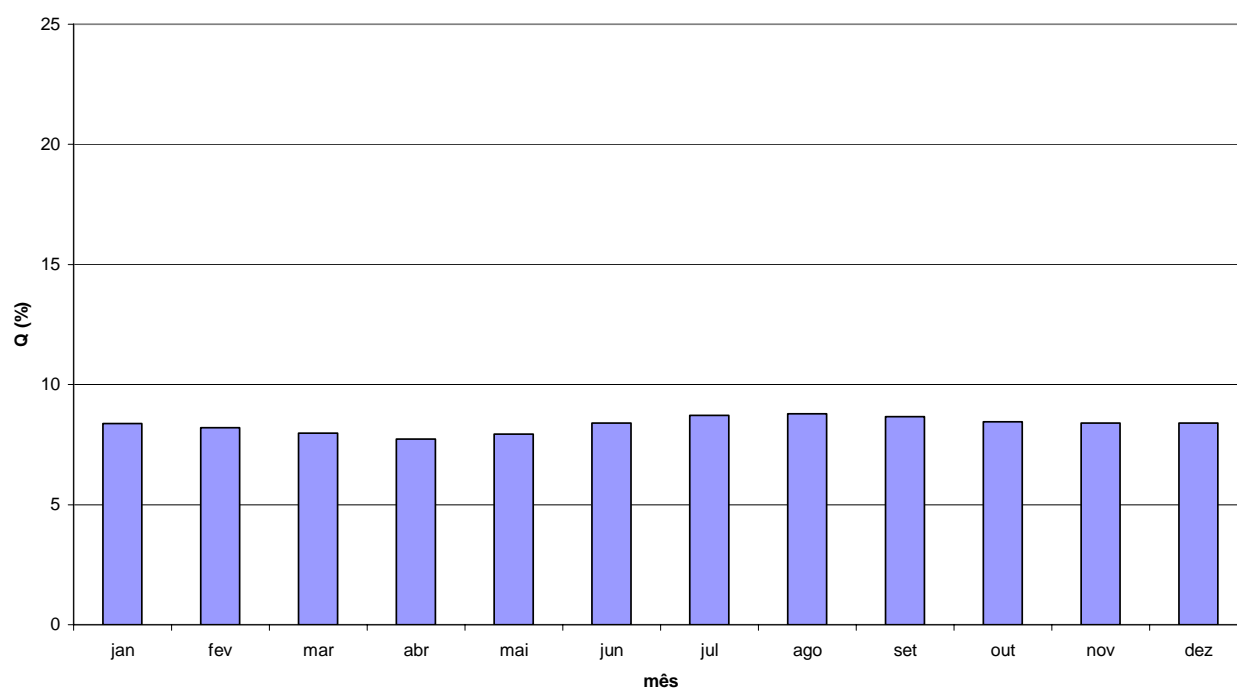


Figura 9 – Vazões médias mensais (%) do Rio Vuoksi

Os padrões sazonais observados foram classificados pelos autores em *senoidais*, *bimodais* e *lineares*. Padrões com uma concentração de vazão em um determinado período do ano, foram classificados como *senoidais*. Padrões com concentração de vazões em dois períodos específicos do ano foram classificados como *bimodais*. Já padrões com distribuição uniforme de vazões ao longo do ano, foram classificados como *lineares*. No caso de regimes senoidais, observou-se três comportamentos: uma assimetria à direita, um regime senoidal simétrico e uma assimetria à esquerda. Assim sendo, para facilitar a comparação dos resultados, os padrões sazonais foram classificados segundo Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação dos oito rios estudados.

n ^o .	Rio	Classificação do Padrão Sazonal
1	Irtysch	Senoidal Simétrico
2	Miniya	Bimodal
3	Murray	Senoidal Assimétrico à Direita
4	Niagara	Linear
5	Paraíba do Sul	Senoidal Assimétrico à Esquada
6	São Francisco	Senoidal Assimétrico à Esquada
7	Tiber	Senoidal Assimétrico à Esquada
8	Vuoksi	Linear

O rio Caxitoré pode ter seu regime de vazões sazonais classificado como senoidal assimétrico à esquerda.

Uma estatística utilizada para a avaliação da influência da padrão sazonal na determinação das vazões regularizadas foi o erro relativo, definido como:

$$\varepsilon_i = \frac{T - \theta}{\theta} \quad (1)$$

em que: T é o estimador e θ é o parâmetro.

Considera-se que θ é o verdadeiro valor da vazão regularizada pelo Açude Caxitoré, simulado com a série histórica verdadeira do rio Caxitoré e T é o valor obtido com cada uma das séries históricas modificadas pelos padrões citados.

RESULTADOS

Os erros relativos cometidos ao se utilizar padrões sazonais diferentes do observado no rio Caxitoré podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 – Erros Relativos.

n°.	Rio	Garantia (%)			
		80	90	95	98
1	Irtysk	20,71%	24,95%	25,30%	28,53%
2	Miniya	6,15%	10,75%	12,89%	13,26%
3	Murray	4,69%	9,13%	10,74%	12,10%
4	Niagara	9,71%	14,00%	15,51%	16,43%
5	Paraíba do Sul	14,08%	18,86%	19,57%	20,46%
6	São Francisco	15,21%	20,49%	20,76%	21,61%
7	Tiber	7,28%	12,17%	13,60%	14,70%
8	Vuoksi	9,71%	13,59%	15,75%	16,43%

Em busca de um padrão para o crescimento dos erros, os mesmos foram postos em ordem crescente e plotados em forma de gráfico para as quatro garantias. O resultado pode ser observado na Figura 10.

Através da Figura 10 é possível observar o crescimento dos erros com o aumento do nível de garantia. Não se observa uma relação clara do crescimento do erro com o a classificação proposta para o regime, pois o regime que apresentou o menor erro foi o senoidal assimétrico à direita, o mesmo do Caxitoré. Entretanto, o rio Caxitoré tem vazões nulas em alguns meses, o que não ocorre nos outros rios estudados, que são perenes, o que indica que a concentração das vazões em alguns meses, dentro de um mesmo padrão sazonal influencia os resultados.

Observou-se ainda que os dois padrões lineares apresentaram erros semelhantes.

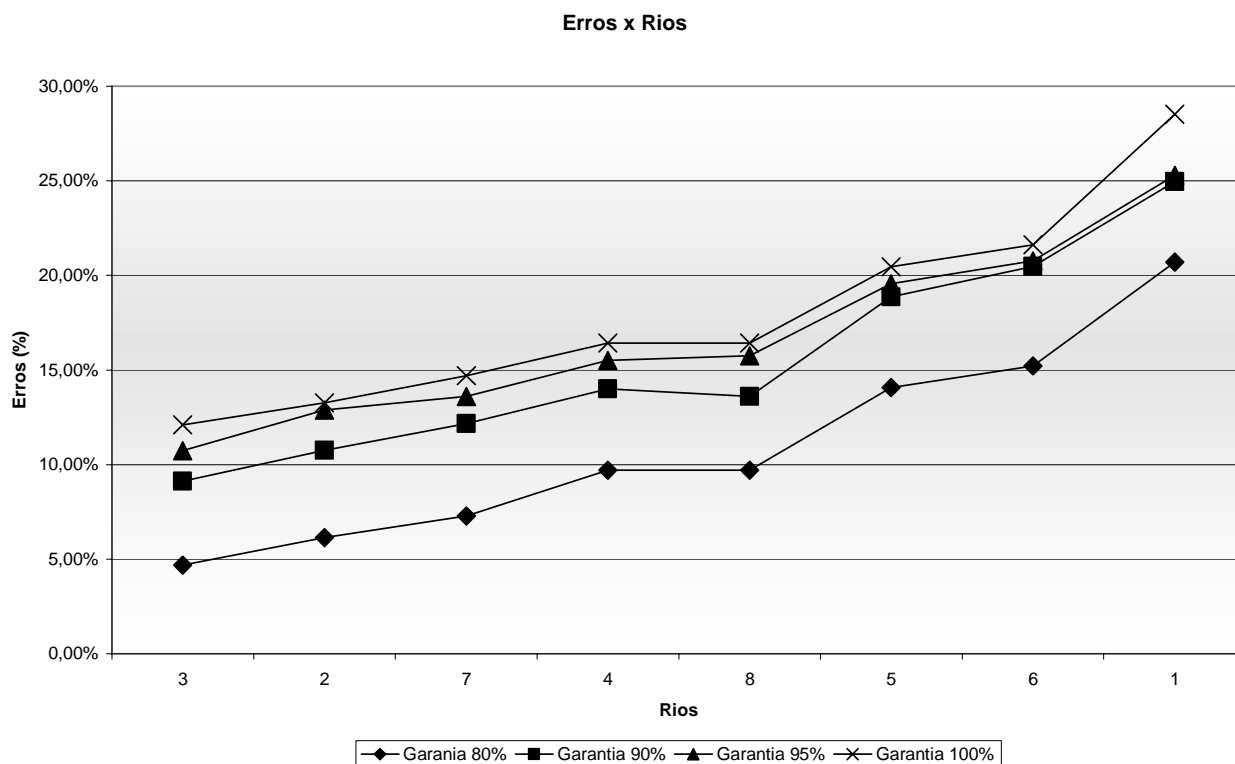


Figura 10 – Erro Relativo ao utilizar-se diferentes padrões sazonais de vazão.

CONCLUSÕES

Procurou-se estudar no presente trabalho como o padrão sazonal das vazões, ou seja, a distribuição das vazões ao longo do ano, influencia as estimativas da vazão regularizada por um reservatório. Procurou-se evitar as flutuações decorrentes do estado transiente do processo de armazenamento simulando o reservatório com séries sintéticas com 5000 anos de extensão.

A pesquisa ainda se encontra no seu estado inicial, mas os resultados apontam que o padrão sazonal influencia os resultados obtidos, uma vez que a maioria dos cenários apresentou erros relativos elevados.

Observou-se que os erros aumentam com o nível de garantia e que rios de um mesmo padrão, segundo a classificação proposta, não só dão resultados diferentes em relação ao padrão real (rio Caxitoré), mas como também entre si. A utilização dos padrões dos rios Tiber, Paraíba do Sul e São Francisco – todos classificados em como *senoidal assimétrico à esquerda* – resultaram em erros relativos diferentes, embora os dois últimos tenham obtido valores próximos entre si. Tudo leva a crer que deve existir ainda nuances dentro de uma mesma classe, que refletem o grau de concentração dos valores de vazão. Isto explicaria os erros relativamente altos entre os três rios citados e o rio Caxitoré. Este último, intermitente, tem suas vazões concentradas em apenas alguns meses.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.K. (1991). Métodos dos Fragmentos Aplicados a Rios Intermitentes: Avaliação dos Erros Introduzidos no Cálculo da Disponibilidade de Reservatórios. Fortaleza, Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Mestrado.
- CAMPOS, J.N.B., STUDART, T.M.C., FRANCO, S. AND LUNA, R. (2000). Hydrological Transformations in Jaguaribe River Basin during 20th Century. IN: Proceedings of the 20th Annual American Geophysical Union , Fort Collins Hydrology Days Publications, v.1 , n.1
- STUDART, T.M.C e 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.
- SVANIDZE, G.G. (1980). Mathematical Modeling of Hydrologic Series (For Hydroelectric and Water Resources Computations). Water Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A.