

AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL COMO CRITÉRIO DE OUTORGA DOS DIREITOS DE USOS DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PARAÓPEBA

Marcelo Jorge Medeiros e Mauro Naghettini
Escola de Engenharia da UFMG
Belo Horizonte - Brazil
edoc@ideam.gov.co

Recibido para evaluación: 24 de Julio de 2004 / Aceptación: 03 de Septiembre de 2004 / Recibida versión final: 13 de Septiembre de 2004

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objeto evaluar para una cuenca hidrográfica, localizada en la parte central del Estado de Minas Gerais, Brazil, el criterio de otorgación de caudales del Estado, en función del análisis independiente de sus parámetros de cálculo: la duración, el período de retorno y la fracción del caudal a ser otorgados. Para cada parámetro se evalúa el riesgo de no atender el criterio de demanda de los usos existentes del agua, y el riesgo de que el caudal otorgado sea superior a la disponibilidad hídrica. También se evalúa una nueva propuesta de un criterio para determinar el caudal a ser otorgado variando anualmente, la cual permitiría una mayor oferta de agua en años con mayor disponibilidad hídrica en la cuenca.

PALABRAS CLAVES: Conseciones de Agua, Caudal de Otrogamiento, Disponibilidad Hídrica, Variabilidad Anual.

ABSTRACT

This work has as a objective to evaluate for a watershed located in the central part of the Minas Gerais State in Brazil, the criteria of water rights in the state, as as function of the independent analysis of the following paraters: duration, return period and the streamflow fraction to be given in water right. For each parameter the risks of not suppling the water demands and the risk of given in water rights more water than available are evaluated. Also a new proposed criteria to define water right streamflows with annual variations is evaluated. This proposed criteria will allow a higer water availability in the years with high flows in the watershed.

KEY WORDS: Water Rights, Streamflow Availability, Annual Variability.

1. INTRODUCCIÓN

A água é usada pelo homem para um grande número de propósitos: abastecimento público, necessidades domésticas e industriais, geração de energia, irrigação de áreas cultiváveis, transporte, recreação e outros. Quando não há água suficiente para atender a todos, os usos tornam-se competitivos entre si. Faz-se necessária então a definição de critérios de partilha das águas, que estabeleçam não só quais serão os usos prioritários, mas que também permitam aos usuários o igual direito de acesso aos recursos hídricos.

A instituição do instrumento de outorga do direito de uso das águas tem por objetivo assegurar direitos iguais de acesso aos recursos hídricos e também agir como um mecanismo de racionalização de sua demanda, impondo prioridades para os seus diferentes usos, protegendo o abastecimento humano em época de escassez, assim como a vazão necessária à preservação do ecossistema aquático. Legalmente é entendida como ato administrativo mediante o qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o uso de certa quantidade de água, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato.

Segundo Lanna (1997), dois tipos de critérios podem enquadrar os casos encontrados na literatura: vazão referencial e vazão excedente aos usos prioritários. Tem sido adotada por vários Estados brasileiros, como vazão referencial, a média das vazões mínimas de 7 dias consecutivos de duração com 10 anos de tempo de retorno, $Q_{7,10}$. Usualmente é passível de outorga um valor percentual de $Q_{7,10}$, supondo-se que o restante seja a vazão denominada ecológica, a ser mantida no leito para proteção do ecossistema. A vazão adotada é outorgada em trechos do curso d'água, denominados pontos de controle, ou PC's, organizados de montante para jusante, de modo que a vazão outorgada no trecho de montante deve ser subtraída da vazão do trecho de jusante antes de se efetuar a outorga no trecho em questão.

No caso da vazão excedente, para toda classe de demanda de uso das águas existente na bacia atribui-se uma prioridade. A garantia de suprimento é a razão percentual entre o número de meses em que a vazão é totalmente suprida e o total de meses em que o exercício de atendimento é efetuado. Reservando-se a vazão para abastecimento público e a vazão ecológica, o restante é

outorgado em cada ponto de controle, de montante para jusante no curso d'água, até que o número de falhas no atendimento atinja a garantia desejada.

Ainda segundo Lanna (1997), as bases legais para a gestão de recursos hídricos no Brasil são constituídas, principalmente, pelo Código das Águas de 1934, Lei 6.662/79 da Política Nacional de Irrigação e sua instituição pelo Decreto 89.496/84, Lei 6.938/81 da Política Nacional de Meio Ambiente, Constituição Federal de 1988 e Lei 9.433/97 da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Diversos Estados também instituíram leis que tratam da gestão das águas. Em Minas Gerais, a primeira lei de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais, Lei no 11504, de 20/06/1994 foi substituída em 29 de janeiro de 1999, pela Lei no 13.199, que disciplina a Política Estadual de Recursos Hídricos. Tem-se praticado, no Estado, conceder-se outorgas de direito do uso das águas, em um determinado trecho de um curso d'água, até que se atinja a vazão equivalente a 30% da $Q_{7,10}$. As outorgas de vazão nos rios estaduais são concedidas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas-IGAM.

Entretanto, por ser um critério definido a partir da análise de períodos críticos de estiagem, a vazão de outorga de 30% da $Q_{7,10}$ é bastante restritiva quanto à expansão dos sistemas de usos das águas. Simultaneamente, os usuários podem verificar que na maior parte do tempo, a vazão disponível no curso d'água é superior à vazão de outorga. Justifica-se assim a necessidade de se avaliar os parâmetros de cálculo da vazão de outorga em relação à disponibilidade hídrica da bacia, visando o aumento da oferta de águas para concessão de direito de uso, assim como quanto ao atendimento às demandas dos diversos usos existentes na bacia.

O presente estudo tem por objetivo avaliar para uma bacia hidrográfica, localizada na parte central de Minas Gerais, o critério de vazão de outorga adotado no Estado, em função da análise em separado dos seus parâmetros de cálculo: a duração, o tempo de retorno e a fração da vazão a ser outorgada. Para cada parâmetro avalia-se o risco de não atendimento do critério à demanda dos usos das águas existentes e risco da vazão de outorga ser superior à disponibilidade hídrica. Também é proposta a utilização de um novo critério de cálculo da vazão de outorga com variabilidade anual, o qual permitiria uma

maior oferta de água em anos com maior disponibilidade hídrica na bacia.

2. ÁREA DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAOPEBA

A bacia hidrográfica do Rio Paraopeba localiza-se na área central do Estado de Minas Gerais, entre os paralelos 18°30' e 21° de latitude Sul e os meridianos 43°30' e 45° de latitude Oeste (Figura 1), pertencendo à bacia do Alto São Francisco. Possui uma área de cerca de 13.300km²,

correspondente a 2,5% da área total do estado. É responsável por grande parte do abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH, através dos sistemas Vargem das Flores, Serra Azul e Manso, operados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA MG. A bacia também abriga uma das primeiras iniciativas brasileiras de gestão dos recursos hídricos, através do Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba – CIBAPAR.

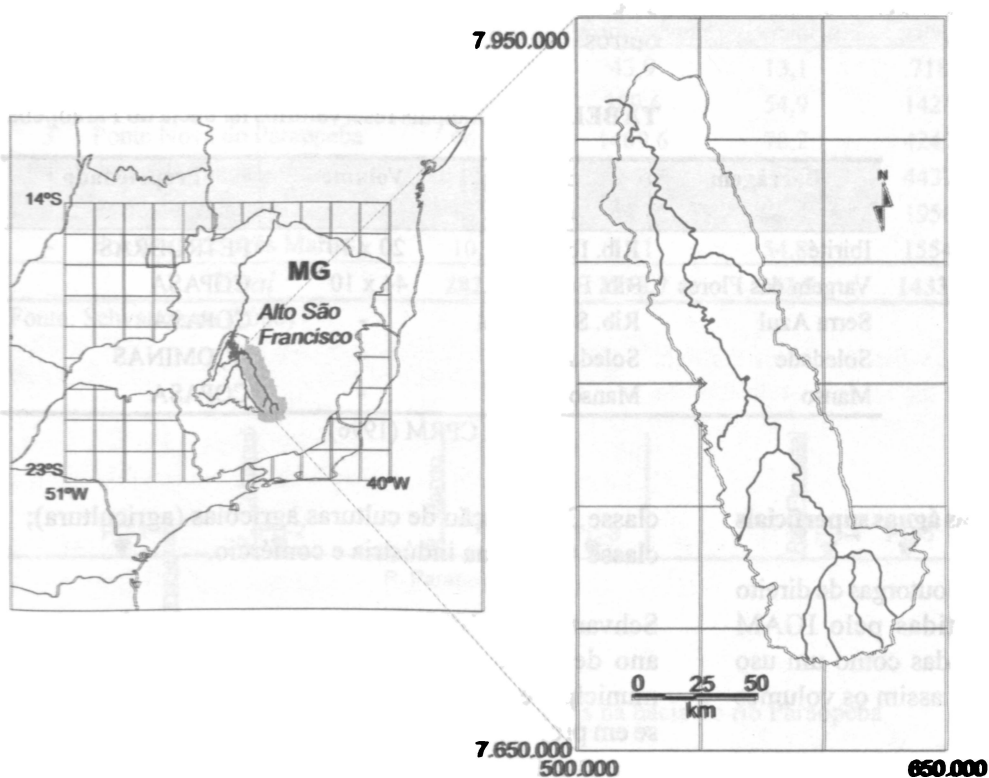


FIGURA 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Paraopeba

O rio Paraopeba tem suas nascentes localizadas no município de Cristiano Ottoni, com 1.140m de altitude aproximada, desaguando no Reservatório de Três Marias, após percorrer cerca de 540km. Seus principais afluentes, pela margem esquerda, são os rios Camapuã, Manso e Serra Azul, e pela margem direita, os rios Maranhão e Betim..

A região abrange 48 municípios localizados total ou parcialmente na bacia, com cerca de 933.600 habitantes, conforme a contagem populacional de 1996 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Há uma maior concentração populacional no alto e médio curso

do rio. Como atividades econômicas mais importantes estão as lavras de minérios de manganês e ferro, com grandes depósitos no alto e médio curso do rio Paraopeba. A agricultura e pecuária se distribuem ao longo da bacia, tendo como principais produtos agrícolas: o milho, o feijão, o arroz, a cana-de-açúcar, o café e a batata. A bovinocultura, principal atividade de pecuária, é predominante no norte da bacia (Schvarzman et al., 1999).

A vegetação nativa da região é constituída predominantemente pelo cerrado, característico de regiões de clima semi-úmido, formado por gramíneas, arbustos e árvores de médio porte. A região apresenta temperaturas

médias anuais variando entre 19° e 23°C, sendo as menores encontradas ao sul da bacia, devido à influência orográfica. De acordo com a classificação de Köppen, são encontradas três tipologias climáticas predominantes na bacia: *Cwb*, no extremo sul, com verão ameno e inverno brando, *Cwa*, no médio Paraopeba, de verão quente e inverno brando, e *Aw*, no norte, de inverno seco e verão chuvoso.

O trimestre mais chuvoso contribui com cerca de 55% a 60% do total anual precipitado, correspondendo, para quase toda a bacia, aos meses de novembro, dezembro e janeiro. A exceção corre na extremidade ocidental da bacia, onde os meses mais chuvosos são dezembro, janeiro

e fevereiro. Já o trimestre mais seco: junho, julho e agosto, contribui com menos de 5% da precipitação anual.

Os núcleos de maiores precipitações estão no sudoeste da bacia, e em toda a extensão das serras do Quadrilátero Ferrífero (Médio Paraopeba), com índices pluviométricos anuais superiores a 1.500mm. A precipitação diminui em direção ao Baixo Paraopeba, atingindo valores próximos a 1.200mm anuais, na região do município de Curvelo (CPRM, 1995 e 1996).

A bacia possui vários reservatórios, sendo apresentados os principais na Tabela 1, construídos para os fins de abastecimento de água, geração de energia elétrica, entre outros.

TABELA 1. Principais reservatórios na bacia do Paraopeba

Barragem	Rio m³	Volume	Propriedade
Ibirité	Rib. Ibirité	20 x 10 ⁶	PETROBRÁS
Vargem das Flores	Rib. Betim	44 x 10 ⁶	COPASA
Serra Azul	Rib. Serra Azul	-	COPASA
Soledade	Soledade	-	AÇOMINAS
Manso	Manso	-	COPASA

Fonte: CPRM (1996)

2.1. Caracterização das demandas das águas superficiais

Segundo Schwartzman et al. (1999), as outorgas de direito de uso dos recursos hídricos emitidas pelo IGAM consideram todas as vazões outorgadas como um uso consuntivo da água, comprometendo assim os volumes acumulados até a seção considerada.

Por legislação, as demandas consideradas prioritárias são aquelas destinadas ao abastecimento humano, seja urbano ou rural, seguidas pelas demandas destinadas à dessedentação animal, irrigação na agricultura e demandas dos setores industrial e comercial. Por ainda não haver um Plano Diretor para a bacia do rio Paraopeba e objetivando avaliar a demanda de usos das águas na bacia, estabeleceram-se as seguintes classes de usuário e prioridades neste estudo:

- classe 1: abastecimento humano, populações urbanas e rurais;
- classe 2: dessedentação animal (ou simplesmente pecuária);

- classe 3: irrigação de culturas agrícolas (agricultura);
- classe 4: usos na indústria e comércio.

Schwartzman (2000) apresenta uma estimativa para o ano de 1996 das demandas de usos das águas, por município e classes de usuários, para a bacia. Baseando-se em projeções de crescimento da população, do efetivo animal e do incremento da área de irrigação e expansão da indústria, fez-se uma previsão de demandas futuras, relativa ao horizonte do ano de 2006.

No presente estudo, a bacia do Paraopeba foi compartimentada, através da definição de pontos de controle - *PC's*, fixados arbitrariamente como os trechos do rio compreendidos entre determinadas estações fluviométricas. As Tabelas 2 e 3 apresentam as demandas das águas superficiais, por classe de usuários e para cada *PC*. O diagrama topológico da Figura 2 ilustra a localização dos diversos *PC's* na bacia.

TABELA 2. Demandas das classes de usuários, para 1996, em L/s

PC	Estação	Pop. rural	Pop. urbana	Pecuária	Agricultura	Ind. e comércio
1	S.Brás do Suaçuí	6,1	38,7	11,4	534,4	3,2
2	Belo Vale	44,6	338,9	47,9	1061,7	23,3
3	Ponte Nova do Paraopeba	73,4	857,2	68,2	3160,7	183,2
4	Ponte da Taquara	64,0	479,4	92,7	3302,1	171,4
5	Porto do Mesquita	12,4	57,0	30,9	1451,7	5,1
-	Foz (Res. de Três Marias)	11,1	17,7	47,8	1156,9	7,5
Total		211,6	1788,8	298,9	10667,4	393,8

Fonte: Schwartzman (2000)

TABELA 3. Demandas das classes de usuários, para 2006, em L/s

PC	Estação	Pop. rural	Pop. urbana	Pecuária	Agricultura	Ind. e comércio
1	S.Brás do Suaçuí	6,8	43,9	13,1	718,2	3,6
2	Belo Vale	47,4	389,6	54,9	1426,8	26,5
3	Ponte Nova do Paraopeba	96,1	1409,6	78,2	4247,6	208,0
4	Ponte da Taquara	105,9	800,3	106,2	4437,6	194,7
5	Porto do Mesquita	15,8	64,1	35,4	1950,9	5,8
-	Foz (Res. de Três Marias)	10,1	11,1	54,8	1554,8	8,5
Total		282,2	2718,7	342,5	14335,9	447,1

Fonte: Schwartzman (2000)

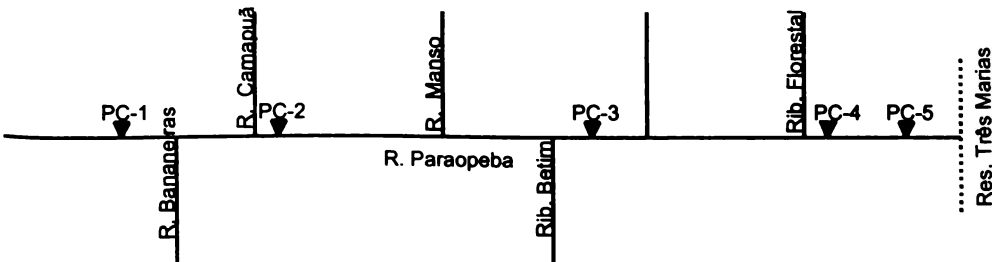


FIGURA 2. Localização dos pontos de controle-PC's na bacia do rio Paraopeba

3. DETERMINAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL

A vazão mínima característica de t dias de duração e T_r anos de tempo de retorno, Q_{t,T_r} pode ser obtida pela definição da curva de freqüência dos eventos médios de duração t mínimos anuais. Quando se dispõe de dados históricos de vazões no ponto de interesse, faz-se uma análise local de freqüência, obtendo-se uma curva para cada duração t através do uso de uma distribuição de probabilidades. Quando não há registros históricos, faz-se necessária a análise regional de freqüência. Os estudos regionais objetivam a determinação de quantis característicos de variáveis hidrológicas ou mesmo de algumas de suas grandezas estatísticas, tais como médias,

desvios padrões e coeficientes de assimetria. Isto é feito a partir da análise de bacia próximas, de comportamento hidrológico similar e que possuam 6 registro histórico de dados. Alguns autores (eg: Hosking e Wallis, 1997, e Lettenmaier e Potter, 1985) preconizam o uso da análise regional como oportunidade para melhorar a estimativa de vazões características, mesmo em locais com registro histórico de dados.

Em Medeiros (2000) apresenta-se um estudo regional de freqüência para a bacia do Paraopeba, feito através do método do index-flood, ou fator de adimensionalização, com base em dados de seis estações fluviométricas localizadas na bacia.

A análise foi realizada para as durações de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias, sendo definida uma curva regional de frequência para cada duração, através do uso da distribuição de probabilidade de Weibull de 3 parâmetros, cuja função densidade de probabilidade é definida como em (1). Os parâmetros de posição, forma e escala são representados por ε , α e β , respectivamente. Tendo em vista que ambos os métodos dos momentos e de máximo de verossimilhança por vezes forneciam estimativas de valores negativos para o parâmetro de posição ε , optou-se aqui por fixá-lo como nulo. Dessa forma, a distribuição de Weibull passa a ter somente dois parâmetros: o de forma α e o de escala β . A função acumulada de probabilidades da forma paramétrica Weibull-2p é dada pela equação (2).

$$f_x(x) = \alpha x^{\alpha-1} \beta^{-\alpha} \exp\left[-\left(\frac{x-\varepsilon}{\beta}\right)^\alpha\right]; x \geq \varepsilon; \alpha, \beta > 0 \quad (1)$$

$$F_x(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (2)$$

As estimativas dos parâmetros α e β , determinadas para as diversas durações pelo método dos momentos, encontram-se na Tabela 4.

Como fator de adimensionalização (*index-flood*), foi utilizada a vazão média das mínimas anuais. Para a determinação da equação de regressão do fator de adimensionalização foram utilizadas como variáveis independentes a área de drenagem, o comprimento do curso d'água, a densidade de drenagem e o índice de escoamento de base - *IEB*. O índice *IEB* é a razão entre o escoamento de base e o escoamento total da bacia, obtida ao longo de toda a série fluviométrica disponível na bacia. A obtenção das variáveis e a estimativa dos modelos de regressão analisados encontra-se detalhada em Medeiros (2000).

TABELA 4. Parâmetros α e β da distribuição de Weibull, estimados para cada duração da vazão mínima

Duração (dias)	α	β
1	3,1906	1,1167
3	3,3993	1,1131
5	3,4415	1,1124
7	3,4839	1,1117
10	3,5166	1,1111
15	3,4788	1,1118
30	3,6044	1,1097

O melhor modelo de regressão obtido para o fator de adimensionalização é dado por:

$$Q_m = 0,041675DIA^{0,04583} AREA^{0,75550} \quad (3)$$

sendo Q_m a média das vazões mínimas, em m³/s, *DIA* a duração em dias e *AREA* a área de drenagem a montante do ponto de interesse, em km².

A vazão $Q_{t,Tr}$ é então obtida pela relação apresentada em (4), sendo necessário apenas que se conheça a área de drenagem a montante do ponto escolhido, com as estimativas dos parâmetros α e β da distribuição de Weibull-2p, para a duração e tempo de retorno desejados.

$$\frac{Q_{t,Tr}}{Q_m} = \beta \left[-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right) \right]^{1/\alpha} \quad (4)$$

Na Tabela 5 encontram-se os valores de $Q_{7,10}$ estimados pelo estudo regional para os *PC*'s e algumas das estações fluviométricas da bacia.

TABELA 5. Estimativa da $Q_{7,10}$ para estações fluviométricas da bacia do Paraopeba

Estação	Código	Área de drenagem (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)
São Brás do Suaçuí	40550000	454	2,73
Belo Vale	40710000	2820	10,86
Alberto Flores	40740000	4030	14,22
Ponte Nova do Paraopeba	40800001	5830	18,80
Jardim	40811100	104	0,90
Ponte da Taquara	40850001	8910	23,07
Porto Mesquita	40865001	10300	28,90

4. AVALIAÇÃO DA VAZÃO REFERENCIAL DE OUTORGA

A vazão referencial de outorga é definida como a fração k da vazão de referência de t dias de duração e Tr anos de tempo de retorno, ou simplesmente $kQ_{t,Tr}$. No presente estudo, utiliza-se a análise de risco de falha para avaliar a influência individual dos parâmetros k , t e Tr que compõem o critério da vazão de outorga. Entende-se como falha o evento no qual a vazão de outorga é inferior à vazão disponível num curso d'água, num intervalo de tempo qualquer, ou então, ser inferior à demanda total dos usuários.

Outra questão relativa à definição da vazão de outorga é a insuficiência das águas superficiais em um dado local para o atendimento às demandas das classes, gerando conflitos entre usos locais e obrigando a intervenção do Poder Público em áreas críticas. Assim, avaliou-se também a disponibilidade hídrica em relação à vazão demandada pelas diversas classes de usuários.

4.1. Avaliação do tempo de retorno da vazão de outorga

Considerando uma seqüência de realizações de um dado processo estocástico em intervalos de tempo discretos, denota-se por p a probabilidade de que um certo evento, com determinados atributos, ocorra em cada intervalo e, de forma dicotômica, $(1-p)$ representa a probabilidade de que o tal evento não ocorra. A sua ocorrência é considerada independente da ocorrência ou não de eventos anteriores. Em cada intervalo de tempo, este tipo de processo estocástico é categorizado como de Bernoulli. Em aplicações hidrológicas dos processos de Bernoulli, geralmente toma-se o ano como o intervalo de tempo discreto a ser considerado.

Considere agora que P denota a probabilidade de haver

um número máximo de f anos de falhas em um período de n anos de concessão; os anos com falhas são aqueles em que a vazão disponível em um certo local é inferior à outorga por pelo menos um dia. Por se tratar de uma seqüência de processos de Bernoulli, pode-se definir P como:

$$P = \sum_{i=0}^f \binom{n}{i} p^i (1-p)^{n-i} \quad ; f = 0, 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

onde p é a probabilidade de não excedência, ou seja, $p = 1/Tr$, e :

$$\binom{n}{i} = \frac{n!}{(n-i)!i!} \quad (6)$$

Logo, o risco R de que aconteça mais que f anos de falha, no intervalo n , é simplesmente $1-P$.

O risco R foi determinado para as durações de concessão da outorga de 5, 10, 15, 20, 30 e 35 anos. Para cada período de concessão foram utilizados os tempos de retorno de 3, 5, 7, 10, 15 e 30 anos. O risco foi determinado para cada valor de f (anos), até que se observasse sua progressão para valores próximos de zero. Observou-se que isto acontecia, em todas as durações de concessão da outorga, antes mesmo que o período de anos com falhas se igualasse ao período de concessão.

Notou-se também que o risco diminuía em todos os períodos de retorno considerados, à medida que se aumentava o período de falhas. Logo, tornou-se evidente que, admitir um período de falhas maior dentro do intervalo de concessão implicava numa diminuição do risco de não atendimento.

Outra observação importante é que há uma diminuição do risco de haver mais que f anos com falhas no intervalo

da concessão, independentemente do tempo de retorno considerado, em função da diminuição do intervalo de concessão. Isto é ilustrado através da Figura 3, onde,

para o tempo de retorno de 30 anos, representa-se o risco para os intervalos de concessão de outorga de 35, 30, 20, 15, 10 e 5 anos.

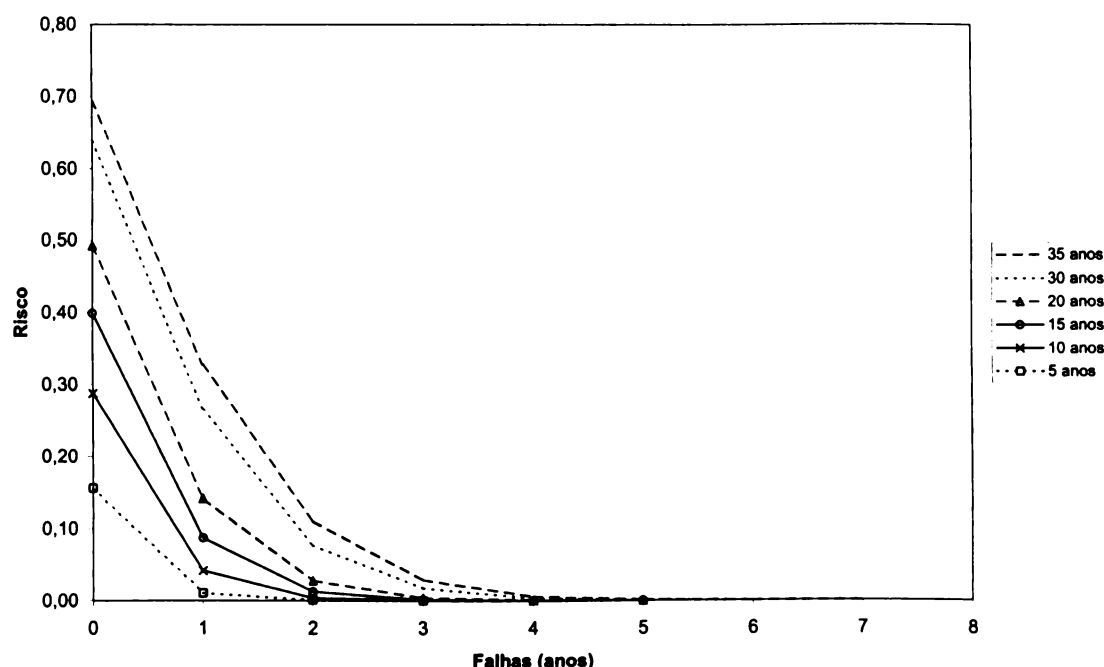


FIGURA 3. Riscos para o tempo de retorno de 30 anos, em função do intervalo de concessão da outorga

4.2. Avaliação da duração da vazão de outorga

A duração t da vazão outorgável baseia-se na média móvel de largura t das vazões mínimas de um certo registro fluviométrico. Em uma primeira tentativa, buscou-se avaliar a influência de diferentes durações t na vazão outorgável tendo-se como critério a evolução do risco com o coeficiente de variação das médias móveis de largura t das vazões médias diárias no local de interesse. A motivação inerente era a de se esperar maior robustez estatística, com relação a observações extremas, na medida em que a largura da média móvel aumentasse.

O coeficiente de variação CV de uma amostra é definido como a razão do desvio padrão amostral S pela média aritmética Q_m das vazões mínimas anuais. Quanto maior a duração t da vazão mínima, maior será a vazão mínima $Q_{t,Tr}$ para um determinado tempo de retorno Tr . Isso também implica no aumento de Q_m e S . Logo, CV também

poderá ser maior, indicando um distanciamento da vazão $Q_{t,Tr}$ dos valores mínimos extremos da série.

Foram determinadas as vazões mínimas anuais de 1, 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias de duração para as séries de vazões médias diárias das estações apresentadas na Tabela 6. A partir das médias e desvio padrão das vazões mínimas anuais, calculou-se o coeficiente de variação CV para as diferentes durações. Esperava-se uma evolução regular de CV em função do aumento da média e do desvio padrão.

Entretanto, isso não aconteceu, tal como demonstra a Figura 4. Uma explicação plausível para tanto pode ser o fato do valor do desvio padrão não aumentar proporcionalmente ao valor da média, com o aumento da duração.

TABELA 6. Coeficiente de variação CV das vazões mínimas anuais, para as diversas durações

Estação	Área de drenagem km	Duração (dias)							
		1	3	5	7	10	15	30	
São Brás	454	0,3354	0,3284	0,3162	0,2989	0,2879	0,2884	0,2937	
Belo Vale	2820	0,3074	0,3021	0,2994	0,2985	0,2986	0,3140	0,2932	
Alberto Flores	4030	0,2892	0,2839	0,2817	0,2815	0,2817	0,2957	0,2909	
P.N. Paraopeba	5830	0,2946	0,2896	0,2901	0,2880	0,2852	0,2909	0,2890	
Jardim	104	0,3765	0,3707	0,3669	0,3663	0,3687	0,3819	0,4034	
Porto Mesquita	10300	0,3567	0,3537	0,3540	0,3539	0,3530	0,3581	0,3376	

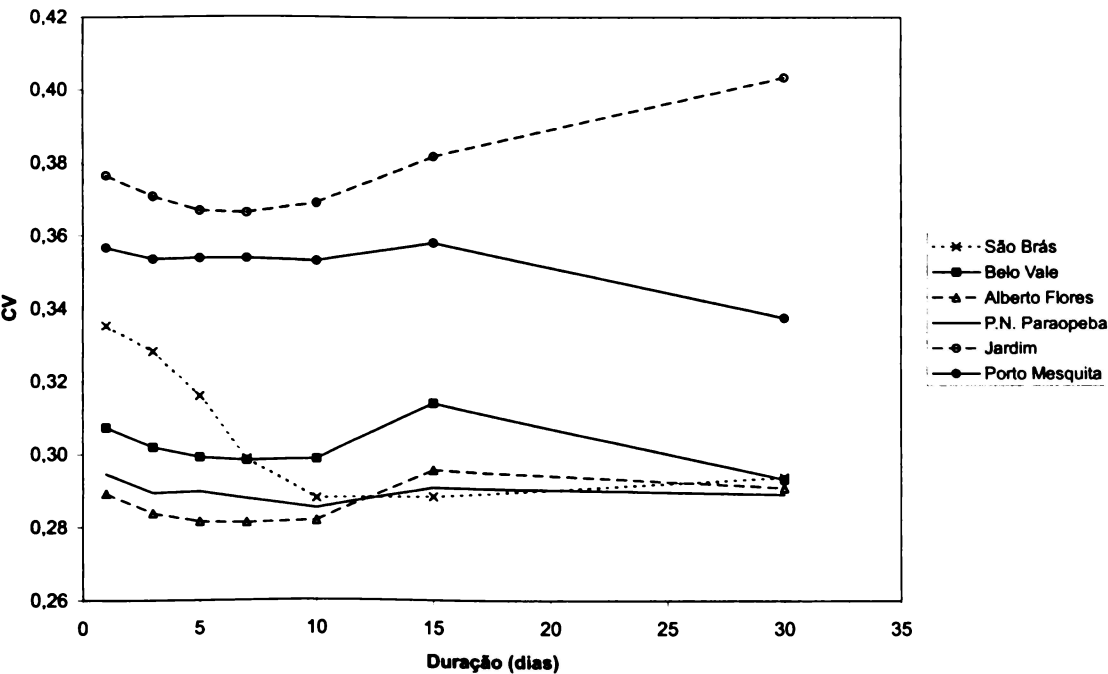


FIGURA 4. CV em função da duração da vazão mínima

Como alternativa, procurou-se um estimador da variabilidade mais resistente que o CV convencional, aqui denotado como CV*, e definido por:

$$CV^* = \frac{Q_{75} - Q_{25}}{Q_{50}} \tag{7}$$

onde Q_{75} é a vazão representativa do 3º quartil da amostra de vazões mínimas anuais, e Q_{25} e Q_{50} são, respectivamente, os primeiro e segundo quartis. Os valores de CV* encontram-se apresentados na Tabela 8.

TABELA 7. Coeficiente de variação CV* das vazões mínimas anuais, para as diversas durações

ESTACÃO	DURAÇÃO (dias)						
	1	3	5	7	10	15	30
São Brás	0,3333	0,3030	0,3304	0,3313	0,3180	0,3884	0,2567
Belo Vale	0,2786	0,2548	0,2437	0,2408	0,2449	0,2541	0,3253
Alberto Flores	0,2725	0,2611	0,2527	0,2335	0,2315	0,2877	0,2546
P. Nova do Paraopeba	0,3405	0,3284	0,3258	0,3290	0,2971	0,2947	0,2792
Jardim	0,5000	0,4333	0,4038	0,3784	0,3534	0,3883	0,4507
Porto Mesquita	0,4289	0,4242	0,4163	0,4217	0,4106	0,3775	0,2755

Observa-se pelos dados da Tabela 7 que, a exemplo de CV , o coeficiente CV^* não apresenta evolução regular, em função do aumento da duração. Conclui-se portanto que a utilização dos coeficientes CV e CV^* não foi suficiente para a análise da duração da vazão mínima.

Procurou-se também avaliar o risco da vazão de referência ser superior à disponibilidade hídrica, através de simulação utilizando as séries históricas das estações constantes da Tabela 6.

Para cada estação foram determinadas as vazões mínimas de 3, 5, 7, 10, 15 e 30 dias de duração, e 5, 7, 10, 15 e 30 anos de tempo de retorno. Para cada vazão mínima verificou-se se esta era superior à vazão média diária, de cada dia da série histórica, o que caracterizaria uma falha. O risco Rt foi então calculado como a razão entre o

número de dias de falha e o número de dias da série de vazões, ou seja, a porcentagem de falhas na amostra.

Observou-se que o risco Rt , de não atendimento da vazão de referência, é alto (valores máximos acima de 30%) somente nas estações São Brás do Suaçuí e Jardim, ambas com áreas de drenagem inferiores a 500km². As demais estações, com área superior a 2500km², apresentam valores máximos de Rt abaixo de 3,5%. Assim, pode haver uma influência da área de drenagem no risco Rt , caracterizada, talvez, pela maior variabilidade das vazões em bacias de pequenas áreas. As estações São Brás do Suaçuí e Jardim também apresentam os maiores valores do coeficiente de variação amostral CV . A Figura 5 apresenta a variação de Rt em função da duração e tempo de retorno da vazão mínima, para as estações São Brás do Suaçuí e Ponte Nova do Paraopeba.

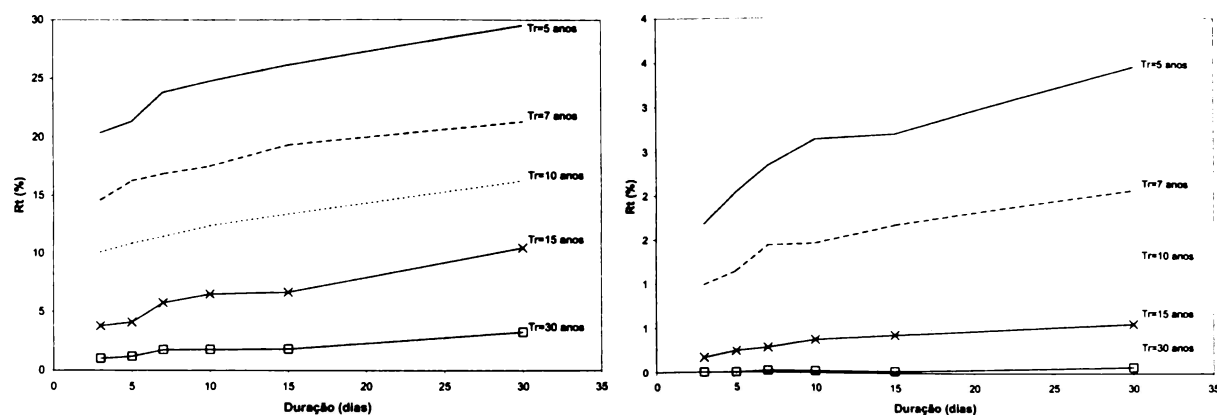


FIGURA 5. Risco Rt em função da duração e tempo de retorno da vazão mínima

4.3. Avaliação da fração k da vazão de outorga

A avaliação da influência da fração k da vazão de outorga $kQ_{t,Tr}$ no risco de não atendimento às demandas existentes, teve como fundamento a condição do regime hidrológico local ser ou não suficiente para cumprir o valor de outorga de $kQ_{t,Tr}$.

A variação da fração k , em relação às demandas de água existentes, foi efetuada utilizando-se as estimativas para cada PC , nos anos de 1996 e 2006, apresentadas nas Tabelas 2 e 3. Fez-se k variar de modo a atender às vazões de demanda das classes por prioridade, simultaneamente em todos os PC 's, ou seja, atende-se a vazão da classe 1 em todos os PC 's, para em seguida passar à classe 2, e assim por diante. Esta é uma verificação racional de k ,

ao procurar atender as demandas por prioridades.

A Figura 6 ilustra as demandas das classes, acumuladas em cada PC , estimadas para o ano de 1996.

Apresenta-se também a vazão de outorga atualmente praticada no Estado de Minas Gerais, pelo IGAM, de 30% de $Q_{7,10}$. Observa-se como a vazão de outorga atual é inferior à demanda total das classes, com exceção do PC -2. A demanda somente seria suprida se a vazão de outorga fosse elevada para 50% de $Q_{7,10}$.

A Figura 7 mostra as demandas em relação à vazão de outorga, para o ano de 2006. A situação de não atendimento se repete, porém, com o aumento das vazões demandadas pelas classes. Nesse cenário e sob a condição

de inexistência de falhas, a vazão de outorga deveria ser elevada para 70% de $Q_{7,10}$.

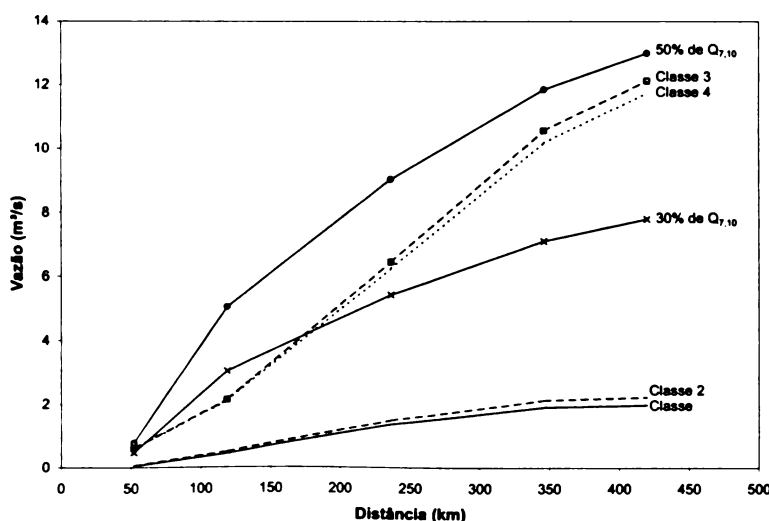


FIGURA 6. Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 1996

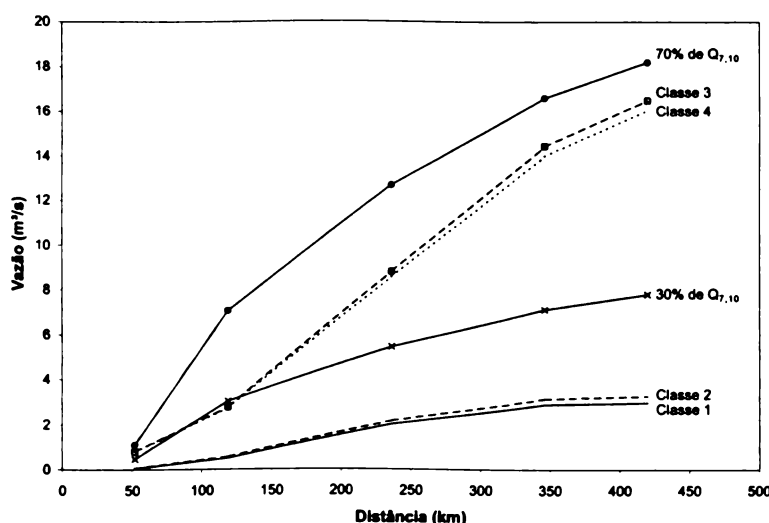


FIGURA 7. Demandas das classes de usuários, acumuladas no PC, e vazão de outorga, para 2006

Já a avaliação da fração k da vazão de outorga $kQ_{i,Tp}$, em relação à disponibilidade hídrica, tem o propósito de analisar o risco R_k de não atendimento da vazão de outorga. O risco R_k é definido como a razão entre o número de anos em que ocorre pelo menos um dia de vazão inferior a $kQ_{i,Tp}$, e o total de anos da série.

O risco R_k foi avaliado em relação às séries históricas de vazões médias diárias dos PC's 1 a 5, representados pelas estações fluviométricas da Tabela 3. Fixou-se como vazão de referência o valor de $Q_{7,10}$, e k como 10%, 15%, 20%, ..., 100%.

Para todos os PC's, o risco de se outorgar uma vazão, e haver uma falha num ano qualquer, foi nulo para valores de k até 70%, ou seja, para vazões de outorga iguais a 70% de $Q_{7,10}$ em cada PC. R_k somente foi superior a zero para valores de k acima de 70%, conforme mostra a Tabela 8. Logo, o valor de k poderia ser superior à 30% para a bacia do rio Paraopeba, podendo então atender às demandas das classes de usuários.

TABELA 8. Risco R_i de não atendimento, em um ano qualquer, da vazão de outorga $kQ_{7,10}$

PC	$Q_{7,10}$ m³/s	k %	$k*Q_{7,10}$ m³/s	R_k %
1	2,73	70	1,09	0,00
		75	1,16	2,63
		80	1,24	2,63
		85	1,32	2,63
		90	1,40	2,63
		95	1,47	2,63
		100	1,55	2,63
2	10,86	70	7,03	0,00
		75	7,53	0,00
		80	8,03	0,00
		85	8,53	0,00
		90	9,04	0,00
		95	9,54	0,00
		100	10,04	0,00
3	18,80	70	12,65	0,00
		75	13,55	2,44
		80	14,46	7,32
		85	15,36	7,32
		90	16,26	7,32
		95	17,17	9,76
		100	18,07	12,20
4	23,07	70	16,59	0,00
		75	17,78	5,56
		80	18,96	5,56
		85	20,15	5,56
		90	21,33	5,56
		95	22,52	11,11
		100	23,70	11,11
5	28,9	70	18,19	0,00
		75	19,49	0,00
		80	20,79	0,00
		85	22,09	0,00
		90	23,39	0,00
		95	24,69	0,00
		100	25,99	0,00

4.4. Avaliação da disponibilidade hídrica face à demanda existente

Áreas com escassez de oferta hídrica têm, tradicionalmente, seu potencial de desenvolvimento econômico reduzido, acarretando graves consequências sociais, como o empobrecimento da população. Torna-se, assim, de grande importância o conhecimento da oferta hídrica na bacia.

Na presente avaliação, o objetivo é verificar se a vazão disponível na bacia do Paraopeba é suficiente para o atendimento das demandas dos usuários. Mais uma vez

foi levada em conta a prioridade das classes de usuários, ou seja, a vazão de uma classe superior deve ser atendida em todos os pontos de controle, antes que se passe para a próxima classe. Considerou a chamada vazão ecológica como o valor igual a 70% de $Q_{7,10}$ nos trechos entre os PC's, o qual foi incorporado à demanda da classe 1.

Considerou-se também que a falha de um ou mais dias no abastecimento de água para uma determinada classe de usuários, de prioridade inferior à classe 1, não tenha consequências operacionais significativas. Verificou-se, então, o risco de não atendimento associado a durações de n dias consecutivos de falha no atendimento para um

ano qualquer por simulação através da utilização das séries de vazões médias diárias existentes nos PC's apresentados na Tabela 2. O risco R_d de não atendimento da vazão de demanda das classes de usuários foi definido como a razão entre o número de anos da série nos quais ocorra pelo menos uma falha, e o número de anos da série. A falha é caracterizada quando, em um ou mais dias consecutivos do ano, a vazão média diária é inferior à soma das vazões das classes de usuários.

A Figura 8 ilustra o risco de não atendimento, admitindo-se falhas de um a dez dias consecutivos no ano, para as demandas estimadas no ano de 1996. O risco cai consideravelmente quando admite-se falhas no

abastecimento de água. Além de contribuir para a análise da disponibilidade hídrica, esta análise também permite a definição de um modelo de outorga baseado na garantia de suprimento, estimando o risco a que o usuário está sujeito quando este solicita uma vazão maior ao poder público. O PC-2 representa o único ponto na bacia onde não haveria usos conflitantes das águas, enquanto que o PC-4 já apresenta um risco de 22% de não haver atendimento às demandas, para o caso de não se admitir falhas. Ao se realizar esta mesma análise para as demandas previstas para o ano de 2006, o risco de não atendimento para o PC-4 sobe para 39%, enquanto que o PC-2 continuaria com risco nulo.

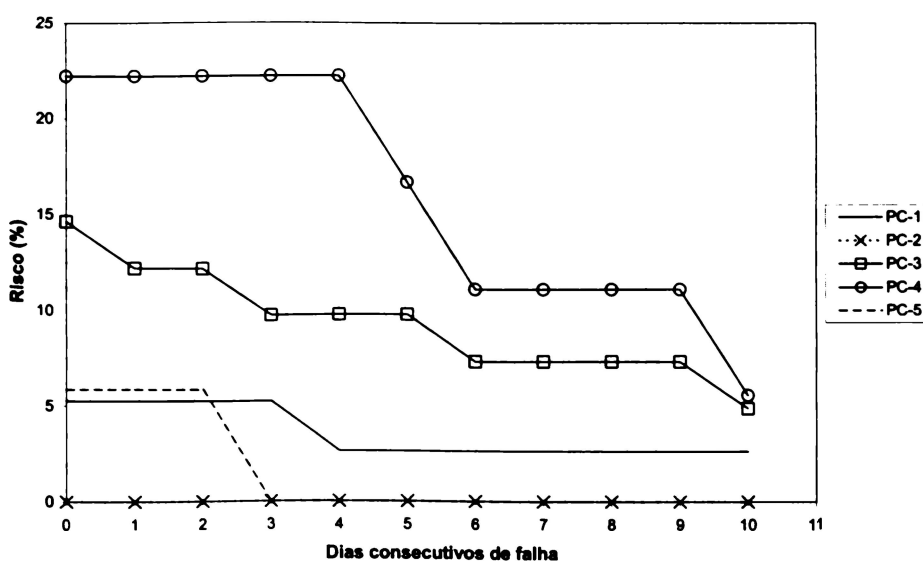


FIGURA 8. Análise do risco R_d de não atendimento às demandas de 1996, em função de dias consecutivos de falha

5. CRITÉRIO DE VAZÃO REFERENCIAL COM VARIAÇÃO ANUAL

Considere que $Q_{7,10}$ é a vazão referencial, sendo que a vazão outorgada é restringida a 30% de seu valor. O comportamento anual de vazões dos cursos d'água da bacia do Alto São Francisco está exemplificado na Figura 9, com as maiores vazões ocorrendo no período chuvoso, de novembro a março, e as menores entre abril e setembro. Como o objetivo é aumentar a vazão outorgada para um ano de maior oferta hídrica, em um determinado trecho fluvial, torna-se necessária a previsão do comportamento das vazões de estiagem para aquele ano a fim de calcular qual o acréscimo de vazão a ser feito na vazão outorgada.

Para um hidrograma de estações seca e chuvosa bem definidas, pode-se tentar correlacionar as vazões do

período seco com as vazões do fim do período chuvoso. Optou-se por utilizar a vazão mínima anual de 7 dias de duração, Q_7 , associada à vazão média de um dia representativo do início da recessão do hidrograma, representados como os pontos *a* e *b*, da Figura 9. Então, para se determinar um fator de correção da vazão outorgada, deve-se desenvolver um modelo de regressão entre os pontos *a* e *b*, para cada ano da série histórica de um posto fluviométrico.

Um problema advindo do uso de vazões médias diárias é o fato de estarem sujeitas a grandes variações inter-anuais. Logo, pode ser necessária a utilização de um valor mais estável, como, por exemplo, a média do mês típico de início da recessão.

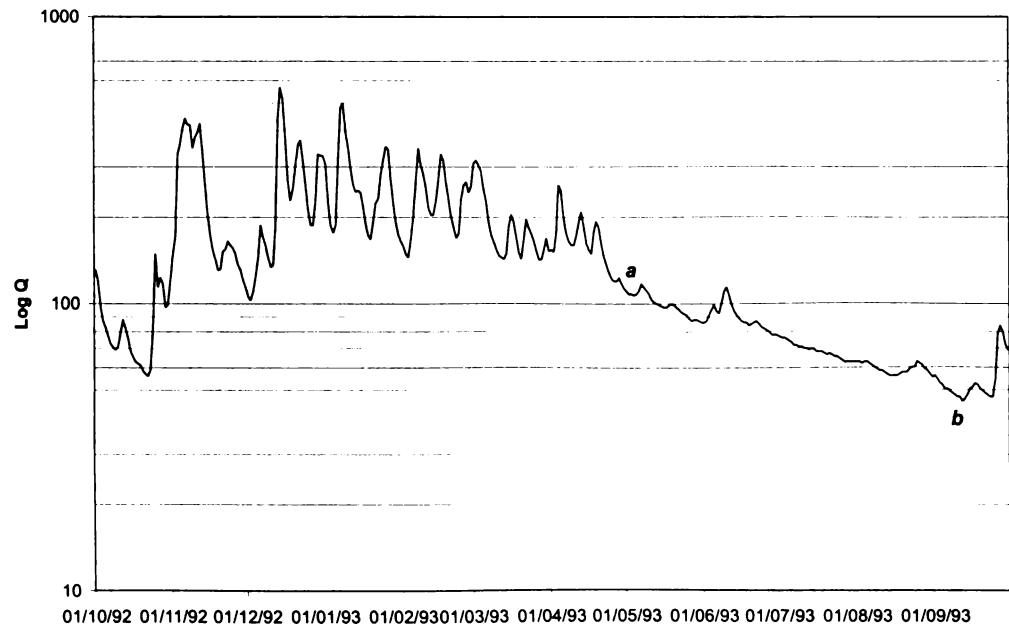


FIGURA 9. Logaritmo das vazões médias diárias (Q), rio Paraopeba em Porto Mesquita, ano hidrológico, 1992-1993

O modelo de regressão para o fator de correção FC_i , de um ano i qualquer, da vazão de outorga, é definido neste estudo como a razão entre a vazão Q_i do ano i e $Q_{7,10}$, ou:

$$FC_i = \frac{Q_i}{Q_{7,10}} = f(Q_{ci}) \quad (8)$$

onde Q_{ci} é a vazão característica a ser usada para a previsão, podendo ser uma média diária ou mensal, referente ao período de início da recessão.

Numa aplicação prática, são conhecidos $Q_{7,10}$ e a vazão Q_{ci} . Pelo modelo de regressão determina-se FC_i . A idéia é a de que cada usuário, detentor de outorga de direito do uso das águas, receberia um acréscimo de vazão em função do aumento da vazão outorgada naquele ano. Entretanto, a utilização de somente uma variável, Q_{ci} , pode resultar em valores insatisfatórios de ajuste do modelo para a previsão de FC_i . Logo, também foram agregados ao modelo o índice de escoamento de base- IEB , a área de drenagem e a constante de recessão do hidrograma kr. Segundo Maidment et al. (1992), k_r para um dado ano da série de vazões médias diárias, pode ser obtido pela equação:

$$q_i = q_0 k_r^t \quad (9)$$

onde q_i é a vazão no tempo t , fixado em dias, no fim da recessão do hidrograma, e q_0 é a vazão do início da recessão.

O modelo de regressão de FC pode ser obtido para cada posto fluviométrico de interesse na bacia. Entretanto, pode ser interessante estabelecer um modelo de regressão regional de FC , tornando mais confiáveis os valores determinados para locais com poucos registros históricos de vazões.

5.1. Determinação do fator de correção

Nessa fase do estudo, foram selecionadas 8 estações fluviométricas na bacia do Paraopeba. Para a análise de regressão regional de FC foram determinadas as áreas de drenagem, as constantes de recessão e os índices IEB para cada estação. Como vazão característica do início da recessão, Q_{ci} , optou-se pela razão entre a vazão média de abril do ano i , Q_{ABRIL} , e a vazão média anual de longo termo, Q_{MLT} . A localização e características das estações encontram-se nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

O modelo de regressão para FC foi ajustado pelo método dos mínimos quadrados, sendo retiradas, após cada ajuste, as variáveis com menor correlação, a fim de se encontrar o modelo mais parcimonioso porém, com ajuste satisfatório. Foi então adotado o modelo:

$$FC = 0,60155 \left(\frac{Q_{ABRIL}}{Q_{MLT}} \right)^{1,73547} + 0,98757 \quad (10)$$

sendo as vazões em m^3/s . O modelo, entretanto, não produziu bons resultados para as estações Congonhas e São Brás do Suaçuí. As duas estações foram retiradas e

TABELA 9. Estações fluviométricas utilizadas para o modelo de regressão de FC

Estação	Código	Curso d'água	Latitude	Longitude
São Brás do Suaçuí	40550000	Paraopeba	20°36'14"	43°54'32"
Congonhas	40580000	Maranhão	20°31'07"	43°50'08"
Jeceaba	40700002	Paraopeba	20°32'00"	43°58'00"
Belo Vale	40710000	Paraopeba	20°24'29"	44°01'16"
Alberto Flores	40740000	Paraopeba	20°09'40"	44°09'38"
P. N. Paraopeba	40800001	Paraopeba	19°56'56"	44°18'12"
Ponte da Taquara	40850000	Paraopeba	19°25'22"	44°32'55"
Porto Mesquita	40865001	Paraopeba	19°10'17"	44°40'07"

TABELA 10. Características das estações fluviométricas

Estação	Q_{MLT} (m³/s)	IEB (%) k	r	Área (km²)
São Brás do Suaçuí	7,39	73,83	0,9942	454
Congonhas	9,93	75,59	0,9946	656
Jeceaba	45,1	72,07	0,9945	2520
Belo Vale	47,8	70,92	0,9940	2820
Alberto Flores	64,1	71,56	0,9937	4030
P. N. Paraopeba	86,8	73,28	0,9939	5830
Ponte da Taquara	112,6	73,01	0,9938	8910
Porto Mesquita	156,7	73,95	0,9929	10300

analisadas em separado, com definição de uma equação local de FC para cada uma. Ainda assim os resultados foram insatisfatórios, devido à baixa correlação entre os valores estimados pela equação e os observados nas séries de dados.

Com isso, estabeleceu-se um limite para a utilização do equação (10), sendo a mesma satisfatória apenas para áreas de drenagem superior a 2500km².

5.2. Avaliação do Fator de Correção da Vazão Referencial

A equação (10), quando aplicada aos dados disponíveis das estações fluviométricas, pode resultar em fatores de correção FC inferiores à unidade, de acordo com os valores da vazão média mensal de abril.

De fato, anos em que ocorrem vazões mínimas de 7 dias de duração inferiores ou iguais à vazão $Q_{7,10}$, num trecho do curso d'água, podem vir a caracterizar-se como anos de escassez, tornando necessária a adoção de medidas de racionalização dos usos das águas. Para tais anos, propor-se-ia a não utilização do critério da vazão referencial variável.

Foram então retirados das amostras os valores referentes aos anos em que a razão $Q_7/Q_{7,10}$ é inferior à unidade e refeito o ajuste do modelo de regressão, obtendo-se assim

a seguinte expressão, em substituição à equação (10):

$$FC = 0,49292 \left(\frac{Q_{ABRIL}}{Q_{MLT}} \right)^{1,93978} + 1,09805 \quad (11)$$

Após o estabelecimento do cálculo do fator de correção, fez-se a proposição de adotar-se como vazão de outorga a expressão $FC \cdot (30\% Q_{7,10})$, visto que a vazão de outorga adotada no Estado de Minas Gerais é 30% de $Q_{7,10}$. Comparando a série de vazões mínimas anuais de 7 dias de duração da estação Ponte Nova do Paraopeba com o valor de vazão de outorga calculado anualmente, para o período 1938-1994, observa-se que a vazão de outorga ainda é muito inferior à série de vazões mínimas, sugerindo, então, a utilização de um critério que gere valores superiores.

Supondo que o valor de 70% de $Q_{7,10}$ seja suficiente para a demanda da vazão ecológica, então, a expressão anterior de vazão de outorga poderia ser corrigida para $FC \cdot Q_{7,10} - 70\% Q_{7,10}$. A Figura 10 ilustra o ganho de eventual adoção da nova vazão de outorga em relação à vazão de 30% de $Q_{7,10}$. Nesta avaliação o fator de correção FC somente foi utilizado para os anos onde a razão $Q_7/Q_{7,10}$ é superior à unidade.

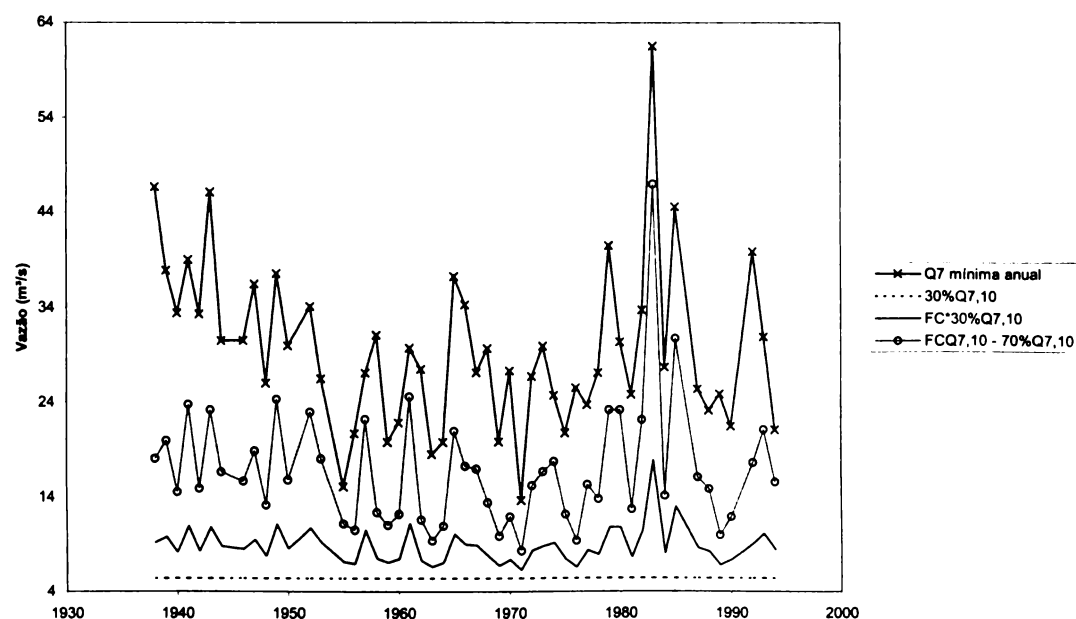


FIGURA 10. Aplicação de $FC \cdot Q_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ para o rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba

Outro fator a ser considerado nessa análise do fator de correção é a verificação da possibilidade de não atendimento pela vazão de outorga definida por $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$ às demandas de água pelas classes de usuários da bacia. Foram então analisados dois cenários de demanda:

cenário 1: fixando-se as vazões das classes de usuários estimadas para o ano de 1996 no trecho do alto Paraopeba até a estação Ponte Nova do Paraopeba, faz-se a análise do atendimento da vazão de outorga proposta às classes de usuários utilizando-se a série histórica de vazões diárias da estação; cenário 2: refaz-se a análise do cenário 1, porém, utilizando-se as vazões de demanda das classes de usuário estimadas para o ano de 2006.

Os dois cenários encontram-se ilustrados na Figura 11, na qual as demandas para 1996 e 2006 representam o somatório das vazões das 4 classes de usuários em Ponte Nova do Paraopeba, incluindo-se também as vazões demandadas nos trechos localizados a montante. Verifica-se que, para ambos os casos, a vazão outorgada proposta é superior à demanda em toda a série de vazões.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Pela análise do tempo de retorno da vazão referencial, observa-se que o risco de falhas durante o período de

validade da concessão da outorga, ou seja, anos nos quais a vazão de outorga seja superior à vazão disponível no curso d'água, aumenta com o aumento do período de concessão da outorga. O risco também aumenta se é diminuído o período de anos com falha no atendimento permitidos durante a concessão.

A avaliação do risco de se adotar uma vazão referencial superior à vazão disponível no curso d'água, relacionado à duração da vazão mínima, e realizada a partir da análise da série histórica de vazões de estações fluviométricas, resultou em maiores valores do risco para estações com menores áreas de drenagem, bem como para vazões referenciais de tempos de retorno menores.

Verificou-se que o critério de 30% de $Q_{7,10}$ é insuficiente para o atendimento das demandas dos usuários das águas da bacia do Rio Paraopeba, estimadas para os anos de 1996 e 2006. Observa-se que, em relação às séries históricas de vazões das estações fluviométricas analisadas, o risco de se adotar um valor de vazão de outorga superior à vazão disponível é nulo para vazões de até 70% de $Q_{7,10}$. É possível, então, aumentar o valor praticado de vazão de outorga na bacia do Rio Paraopeba, atendendo assim à maioria dos usos existentes das águas, incluindo-se também aqui os valores de demandas previstas para o ano de 2006.

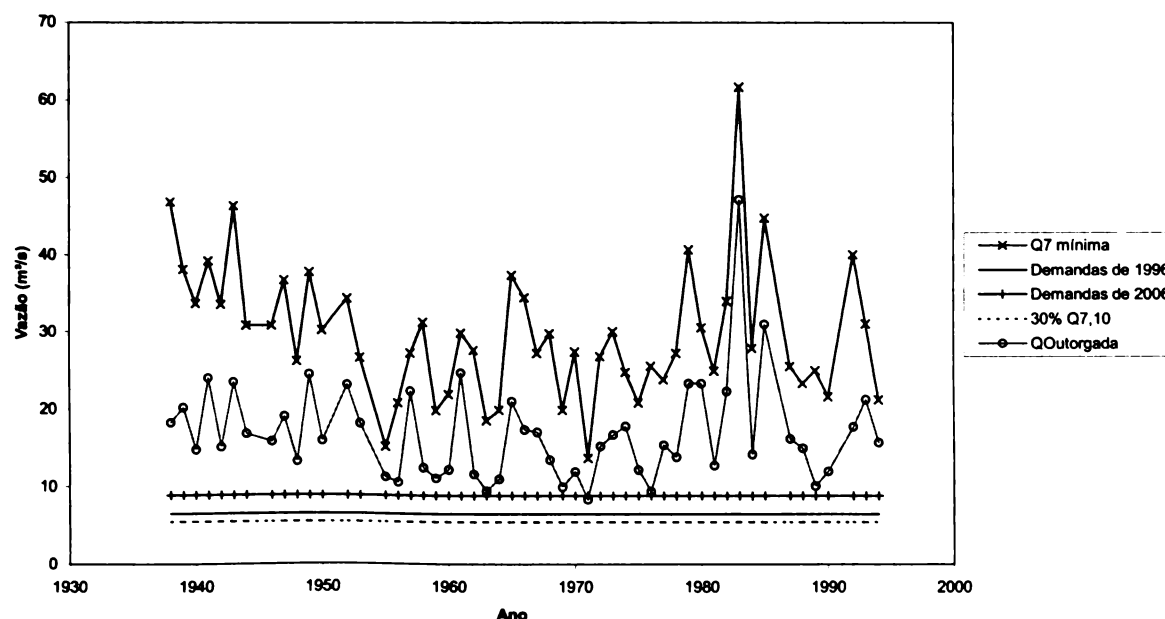


FIGURA 11. Avaliação de cenários de demanda das águas para o Rio Paraopeba, em Ponte Nova do Paraopeba

Na análise da disponibilidade de vazões do curso d'água, em relação à demanda das classes de usuários existente na bacia, considerando-se que não são aceitos períodos de falha, encontrou-se riscos significativos de ocorrência de períodos de escassez, para os trechos a montante das estações de Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara. Quando são aceitos períodos de dias consecutivos de falha, entretanto, os riscos caem consideravelmente.

Como resultado da aplicação do fator de correção anual da vazão de outorga, foram obtidos valores superiores de vazão ofertada, em relação ao critério da vazão fixa de 30% de $Q_{7,10}$. O critério adotado de vazão de outorga, $FCQ_{7,10} - 70\%Q_{7,10}$, simulado para a série de 52 anos da estação fluviométrica de Ponte Nova do Paraopeba, somente foi inferior à demanda projetada para o ano de 2006, em um único ano.

A utilização do fator de correção aqui proposto é relativamente simples, cabendo ao órgão outorgante conhecer a vazão média de abril do ano corrente, e a vazão média de longo termo, do trecho do curso d'água onde se pretende aplicá-lo. Portanto, o uso do fator de correção está restrito a bacias com uma rede de estações fluviométricas densa o bastante para se estabelecer uma relação regional do fator, e para que se determine com segurança as vazões médias nos trechos de controle. O

fator FC não se aplica a anos secos, caracterizados por uma situação de racionamento dos recursos hídricos. Caberia então ao poder outorgante alterar, ou mesmo suspender as outorgas concedidas, preservando os usos prioritários. Como não se conhece antecipadamente, para um certo ano, se o valor da razão $Q/Q_{7,10}$ será inferior à unidade, torna-se necessária a definição de critérios para estabelecer se é possível utilizar o fator de correção FC da vazão de outorga naquele ano.

Uma forma de prever a situação de estiagem seria tornar a razão $FC = Q/Q_{7,10} = 1$, na equação (11). Como a vazão média de longo termo é conhecida para as estações fluviométricas, poder-se-ia estabelecer um valor limite da vazão média de abril, Q_{ABRIL} , para aquela estação pela simples aplicação da equação. Dessa forma, para um ano qualquer, onde a vazão média do mês de abril for inferior, ou mesmo próxima, ao valor limite de Q_{ABRIL} calculado, poderia não ser possível a utilização do fator de correção da vazão de outorga FC .

Outra maneira é a simples análise dos totais mensais de precipitação correspondentes ao período chuvoso, o qual é bem definido na bacia do Paraopeba, entre os meses de outubro a março. Valores mensais de precipitações inferiores aos valores médios esperados podem indicar, em função de sua magnitude, anos com escassez hídrica.

Finalmente, com base nos resultados obtidos e simplicidade da metodologia proposta neste estudo conclui-se pela recomendação da utilização de técnicas similares em outras bacias hidrográficas com comportamento sazonal forte, como exemplificado pela bacia do rio Paraopeba. Para áreas com estações seca e chuvosa bem definidas, espera-se que a utilização do fator de correção da vazão de outorga possa representar um ganho substancial aos diversos usuários das águas na bacia, permitindo a expansão de suas atividades em proporção direta ao aumento da oferta hídrica anual.

7. REFERÊNCIAS

- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. 1995. Projeto Análise de Consistência de Dados Pluviométricos – Bacia do Rio São Francisco, Sub-Bacias 40 a 44; Relatório Técnico Parcial: Sub-Bacia 40. Rio de Janeiro: CPRM, 3v.
- CPRM, 1996. Rede Hidrometeorológica e Caracterização Física da Bacia do Alto São Francisco. Belo Horizonte: CPRM, 34p. Anexos.
- Hosking, J. R. M. y Wallis, J. R. 1997. Regional Frequency - An Approach Based on L-Moments. EUA: Cambridge University Press, 224p.
- Lanna, A. E., 1997. Gestão das Águas. Porto Alegre: IPH, 225p. (Texto de referência: Curso Introdução à Gestão dos Recursos Hídricos. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997).
- Lettenmaier, D. P. y Potter, K. W. 1985. Testing flood frequency estimation methods using a regional flood generation model. EUA: Water Resources Research no 21, pp. 1903-14.
- Maidment, D.R. (Ed.), 1992. Handbook of Hydrology. EUA: Ed. McGraw-Hill,
- Medeiros, M. J. 2000. Avaliação da Vazão Referencial como Critério de Outorga dos Direitos de Usos das Águas na Bacia do Paraopeba. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 176p, Anexos. (Dissertação, Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, área de concentração em Hidráulica e Recursos Hídricos).
- Schvartzman A. S., Medeiros, M. J., Nascimento N., Naghettini M. da C., 1999. Avaliação Preliminar do Critério de Outorga Adotado no Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIII, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos,
- Schvartzman, A. S., 2000. Cobrança e Outorga das Águas na Bacia do Rio Paraopeba. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, (Dissertação, Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).