

Vazão Mínima para Estuários: Um Estudo de Caso no Rio Paraguaçu/BA

Fernando Genz

rajendra.br@gmail.com

Guilherme Camargo Lessa

Instituto de Geociências —UFBA

Mauro Cirano

Instituto de Física —UFBA

Recebido: 11/12/06 —revisado: 11/11/07 —aceito: 24/07/08

RESUMO

A afluência de água doce aos estuários, vital para o estabelecimento do ecossistema, tem sido amplamente alterada, seja em quantidade ou qualidade, pelas atividades humanas na bacia hidrográfica. Apesar destas alterações serem justificáveis, é necessário estar atento aos valores mínimos de vazão fluvial para evitar grandes deslocamentos no campo de salinidade médio e no zoneamento ecológico estuarino. O estudo de caso para a definição das vazões mínimas no estuário do Rio Paraguaçu/BA exemplifica o uso de uma abordagem que especifica a condição de salinidade a ser mantida em um determinado local de referência do estuário em função da descarga fluvial. Desde o início da operação da Barragem Pedra do Cavalo (1986), as mudanças na liberação das vazões mínimas resultaram em alterações no campo de salinidade. Inicialmente as alterações se deram por redução de vazões, ocasionando uma maior penetração salina ao longo do estuário. A adoção da vazão mínima de 11 m³/s (1997) levou a uma situação de penetração salina mais próxima à natural. No entanto, com a implantação da Usina Hidrelétrica em 2005 (165,3 MW), e a operação das turbinas entre 40 e 80 m³/s, as alterações impostas ao sistema estuarino passaram a ser então no sentido oposto, originando um recuo da penetração salina, devido ao aumento das vazões. Para que a condição de salinidade na Reserva Extrativista Marinha da Baía de Iguape não seja muito alterada, sugere-se que a geração contínua de energia seja feita com apenas uma turbina, procurando-se respeitar as vazões que entram no reservatório. A utilização de duas turbinas somente é recomendada durante a ocorrência de cheia.

Palavras-Chave: estuários, vazão mínima, Barragem Pedra do Cavalo, hidrelétrica, salinidade.

INTRODUÇÃO

A água doce é um elemento essencial aos estuários e a forçante hidrodinâmica que mais afeta a estrutura e a função dos ambientes de transição da costa (Sklar e Browder, 1998). Alber (2002) e Sklar e Browder (1998) mostram que a entrada de água doce tem influência em todos os níveis básicos de interação de baías e de estuários, com conseqüências físicas, químicas e biológicas (Figura 1). Efeitos positivos da afluência da água doce são associados à geração dos padrões de circulação estuarina, à formação do gradiente de salinidade, ao transporte de sedimentos, ao fornecimento de nutrientes e à produção de pescados. Já os efeitos negativos, em sua maioria, estão relacionados ao transporte de componentes tóxicos, poluentes e

organismos patogênicos, vindos das bacias hidrográficas adjacentes (Powell *et al.*, 2002).

A alteração do regime de vazões, incluindo sua sazonalidade, pode gerar profundas modificações na circulação e nas condições físico-químicas dos estuários. A redução das vazões resulta em uma maior extensão da intrusão salina, em um aumento do tempo de residência do estuário, em uma redução da carga de sedimentos e de material dissolvido e em uma potencial formação de zona de turbidez máxima (Alber, 2002; Reddering, 1988; Sklar e Browder, 1998). Já o aumento das vazões pode levar à estratificação da coluna d'água, ao deslocamento da zona estuarina em direção ao mar, ao domínio da circulação gravitacional na circulação residual e ao maior aporte de nutrientes ao estuário. Grandes quedas dos valores de salinidade associadas ao aumento das vazões têm causado (Sklar e Browder, 1998): a redução da vegetação submersa

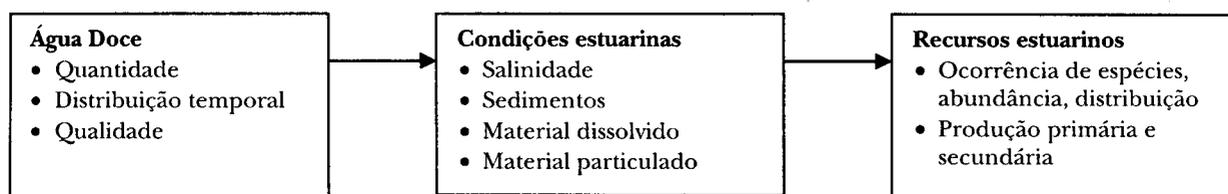


Figura 1 - Diagrama esquemático dos efeitos da entrada de água doce nos estuários (Alber, 2002).

dos canais de maré, a supressão da diversidade e densidade de organismos bentônicos e peixes, o declínio na produtividade ótima de gramíneas marinhas e a baixa diversidade e biomassa de animais.

As variações de vazão, segundo Alber (2002), também influenciam no estabelecimento do habitat estuarino e no padrão de distribuição temporal e espacial da salinidade. A alteração da distribuição natural da vazão ao longo do ano pode implicar em: i) prejuízo na desova e no desenvolvimento de peixes e moluscos; ii) aumento do estresse fisiológico da população bentônica e das plantas; iii) alterações nas comunidades vegetais; e iv) mudanças na biologia do zooplâncton (Alber, 2002; Sklar e Browder, 1998).

Embora as intervenções na bacia hidrográfica provoquem alterações no regime das vazões que chegam aos estuários, são raros os casos onde os efeitos destas alterações são considerados na tomada de decisões para o gerenciamento dos recursos hídricos. Existe, de forma geral, ignorância em relação aos impactos das regras de gerenciamento hídrico de montante na estrutura ecológica dos estuários. Estas regras ou políticas de gestão incluem: i) outorga de direito de uso da água, tanto para captação quanto para descarga de efluentes domésticos e/ou industriais; ii) operação de reservatórios; iii) derivação e transferência de água entre bacias hidrográficas; iv) modificações na planície de inundação; v) controle na produção de sedimentos e erosão; e vi) padrões de qualidade da água (Alber, 2002). A aplicação do conceito de vazões mínimas através da utilização de metodologias variadas, com objetivo de promover a sustentabilidade dos estuários é descrita por Flannery *et al* (2002), Kimmerer (2002), Alber (2002), Mattson (2002) e Adams *et al.* (2002) para estuários dos Estados Unidos e da África do Sul.

No Brasil, as legislações estadual e federal, ao estabelecerem os critérios de outorga de direito de uso da água, deixam antever que suas

concepções sobre vazões mínimas são baseadas em métodos hidrológicos. As vazões mínimas mais usuais baseiam-se em percentuais da $Q_{7,10}$ (vazão mínima de 7 dias com tempo de retorno [Tr] de 10 anos) e da Q_{90} (vazão com 90% de permanência) (Benetti *et al.*, 2003). Se para os cursos dos rios esses critérios já são destituídos de significado ecológico (Benetti *et al.*, 2003), quando se chega ao estuário a situação é ainda mais crítica. O cenário pode se tornar ainda mais complexo caso a intervenção seja feita através de uma barragem com fins de geração de energia. Neste caso as vazões mínimas para geração de energia serão superiores às naturais.

O objetivo deste artigo é avaliar a potencial alteração do campo de salinidade do estuário do Rio Paraguaçu/BA, devido à mudança das regras de liberação das vazões mínimas desde a construção da Barragem de Pedra do Cavalo (BPC) em 1985. Pretende ainda sugerir formas de operação da barragem mais condizentes com as características dinâmicas do estuário.

ÁREA DE ESTUDO

O estuário do Rio Paraguaçu (127,9 km²) localiza-se na extremidade oeste da Baía de Todos os Santos (Figura 2). Sua origem está relacionada ao afogamento, no Holoceno Médio, de um vale fluvial controlado pelo sistema de falhas da porção oeste da Bacia do Recôncavo, com destaque para a Falha de Maragogipe (Carvalho 2000). O estuário é composto por 3 segmentos: i) pelo baixo curso do rio (com 16 km de comprimento e profundidade média 1 m (abaixo do nível de redução hidrográfico), ii) pela Baía de Iguape (com 76,1 km², tem uma área intermareal de 57,3%) e iii) pelo Canal do Paraguaçu (com 18 km de comprimento e profundidade média de 10 m), o qual estabelece a conexão entre a Baía de Iguape e a Baía de Todos os Santos (Figura 2).

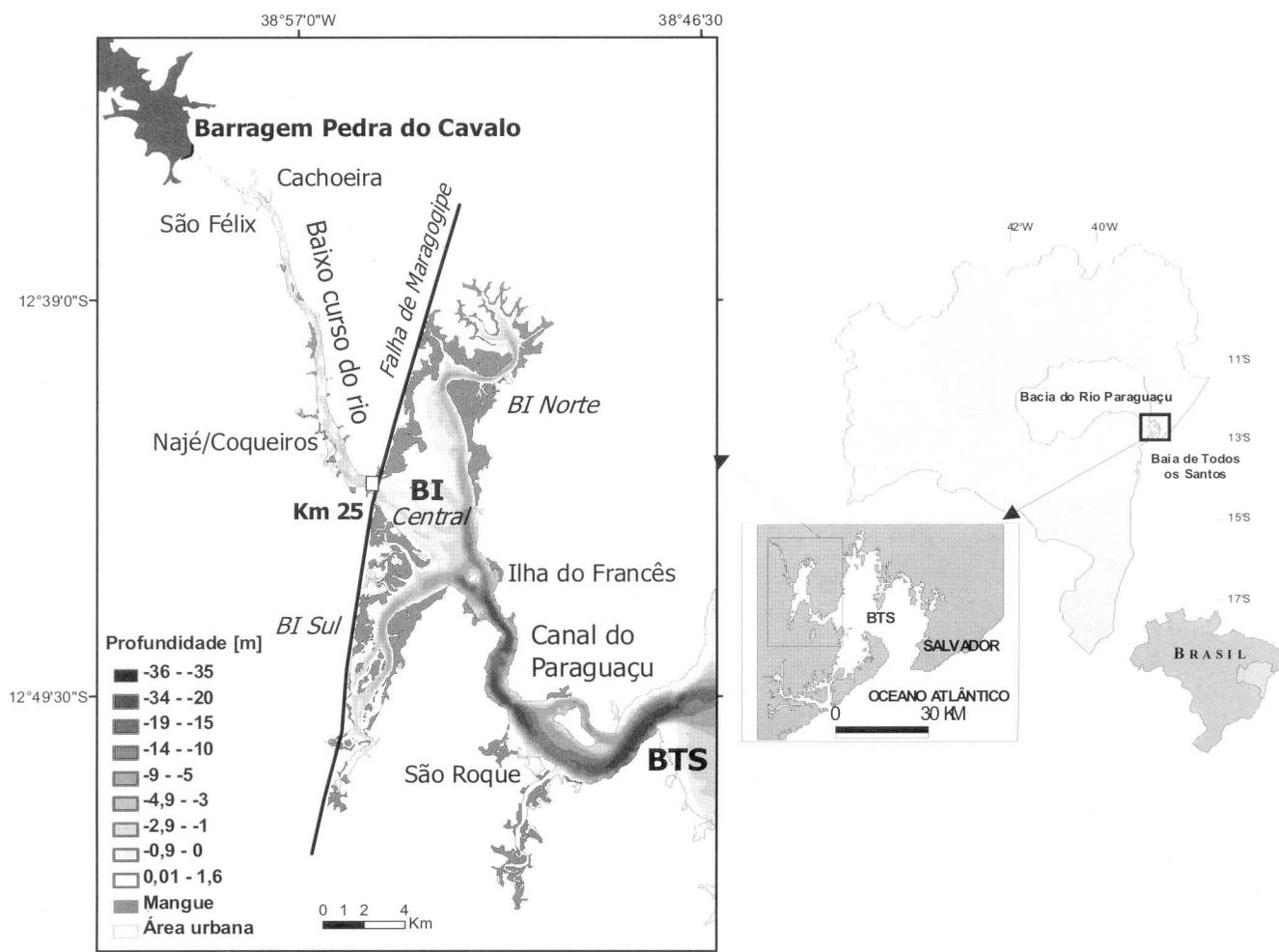


Figura 2 - Localização do estuário do Rio Paraguaçu, com a batimetria do fundo. O ponto do km 25, no limite entre o baixo curso do rio e a Baía de Iguape, aparece em destaque. BI—Baía de Iguape; BTS—Baía de Todos os Santos. A Falha de Maragojipe limita a Bacia do Recôncavo a oeste.

As condições estuarinas da Baía de Iguape, associada ao seu bom estado de conservação e a sua extensa área de mangue (28 km²), favorece uma alta produtividade pesqueira e a presença de uma extensa comunidade ribeirinha envolvida com a pesca artesanal. O município de Maragojipe, às margens da baía, já chegou a ser o segundo maior produtor de pescado no estado da Bahia (BAHIAPESCA, 1998). No ano de 2000, o IBAMA criou a Reserva Extrativista (RESEX) Marinha da Baía de Iguape (Decreto S/Nº de 14/08/2000).

A BPC foi construída na cabeceira do estuário na década de 80, promovendo mudanças no regime hidrológico. Até o início de 2005 as águas do reservatório foram utilizadas pela Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA) para o abastecimento humano dos municípios no entorno

da barragem e da região metropolitana de Salvador. A construção do reservatório objetivou ainda a proteção das cidades de Cachoeira e São Félix contra freqüentes cheias. A liberação de vazão para jusante ocorria exclusivamente através do vertimento pelas comportas. Uma nova alteração no regime de vazões afluentes ao estuário ocorreu em 2005 com a implantação da Usina Hidrelétrica (UHE) de Pedra do Cavalo, com capacidade de gerar 165,3 MW. Com isto, foi imposta uma descarga de vazão pelas turbinas variando entre 40 e 160 m³/s.

Dinâmica do estuário

O estuário do Rio Paraguaçu apresenta uma coluna d'água bem misturada para as vazões sanitá-

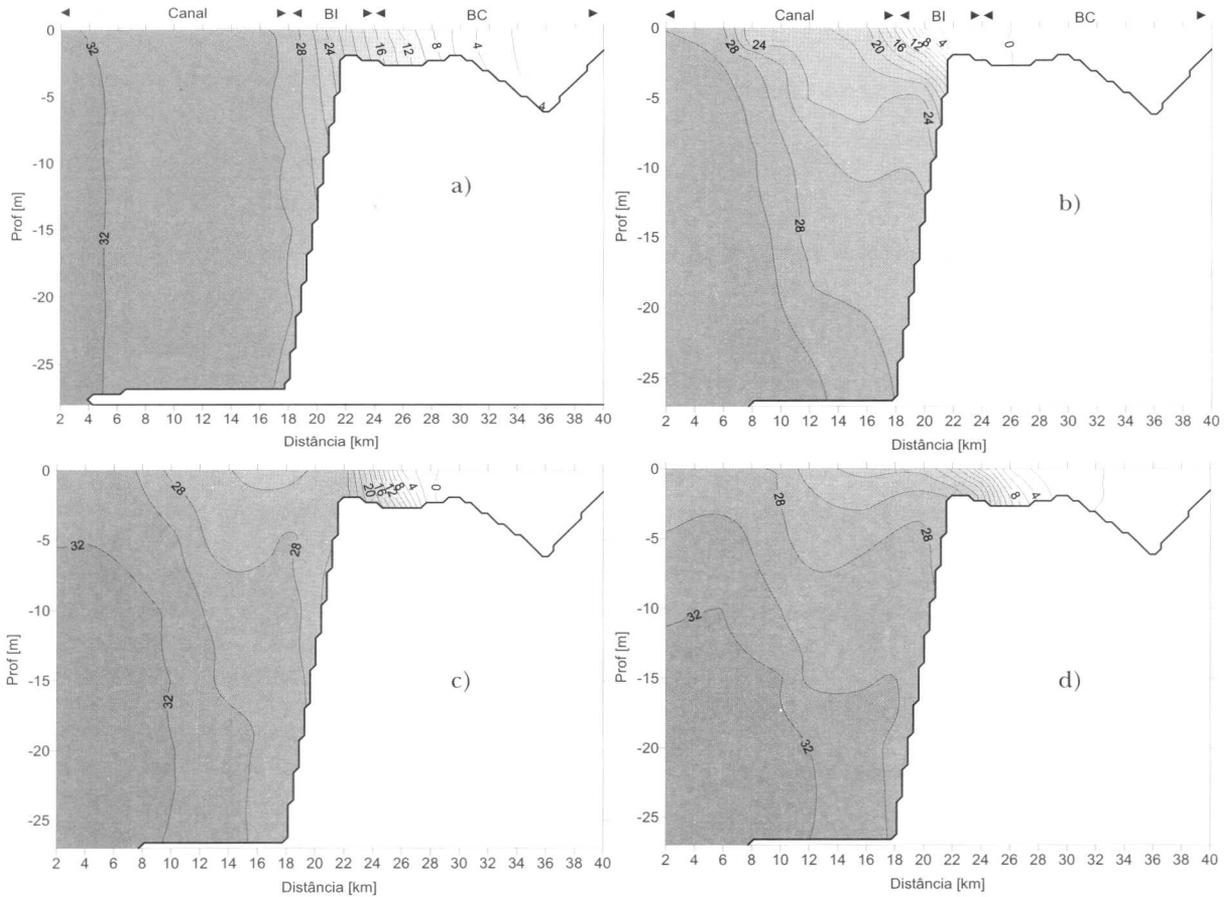


Figura 3 - Perfis longitudinais de salinidade resultantes do hidrograma de cheia liberado em novembro/2001. Estágio da maré e vazão média diária: a) baixa-mar e $13 \text{ m}^3/\text{s}$; b) baixa-mar e $402 \text{ m}^3/\text{s}$; c) preamar e $402 \text{ m}^3/\text{s}$; d) preamar e $108 \text{ m}^3/\text{s}$ (Genz, 2006). Canal = Canal do Paraguaçu; BI —Baía de Iguape; BC —Baixo curso do rio.

rias (médias diárias de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ a $15 \text{ m}^3/\text{s}$) da BPC (Genz 2006). Águas com salinidade acima de 30 (Escala Prática de Salinidade EPS-1978 - Miranda *et al.*, 2002) penetram em quase todo o Canal do Paraguaçu e até próximo da Ilha do Francês, a partir de onde se forma um intenso gradiente de salinidade atravessando a Baía de Iguape até a entrada do rio Paraguaçu, onde os valores diminuem para 20. A penetração de água salina é ainda mais reduzida ao longo do baixo curso do rio. Um valor de 4 para a salinidade foi detectado a cerca de 7 km a jusante da cidade de Cachoeira (Figura 2 e Figura 3a), em uma situação de preamar de sizígia e junto ao fundo (Genz, 2006).

A coluna d'água se torna parcialmente misturada com vazões médias diárias vertidas de até $650 \text{ m}^3/\text{s}$. Nesta situação a água doce ocupa todo o baixo curso do rio, gerando um gradiente acentuado de salinidade entre a Baía de Iguape até

o trecho do Canal do Paraguaçu abaixo da Ilha do Francês. Na baixa-mar, o valor máximo de salinidade próximo da superfície é inferior a 30 em todo o Canal do Paraguaçu (Figura 3b-d) (Genz, 2006).

Por ocasião de uma cheia significativa em janeiro/2004 (Tr~15 anos), quando a barragem liberou pelo vertedouro uma vazão de $1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ por vários dias, a água doce preencheu o baixo curso do rio, a Baía de Iguape e uma camada de até 5 m de profundidade no Canal do Paraguaçu até próximo de São Roque (Figura 2). Nessa situação, em maré de quadratura, o estuário ficou com uma forte estratificação (Genz, 2006).

Para uma vazão de $191 \text{ m}^3/\text{s}$, de magnitude próxima ao valor máximo de turbinamento da UHE, e coincidente com a maré de sizígia, a água doce, que normalmente ficaria confinada no baixo curso do rio, invade a metade ocidental da Baía de Iguape

na baixa-mar formando um forte gradiente de salinidade (0 a 26) (Figura 4).

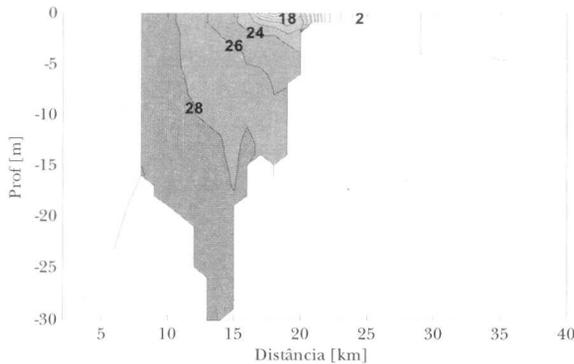


Figura 4 - Perfil longitudinal de salinidade —29/08/2003
—baixa-mar - vazão = 191 m³/s - valor próximo do máximo que pode ser liberado pelas turbinas.

Regime hidrológico natural e as alterações decorrentes da Barragem Pedra do Cavalo

O Rio Paraguaçu tem uma área de drenagem de 53.866 km² na posição da BPC, com vazão média anual de 75,8 m³/s (1987 e 2003). O regime de escoamento é torrencial e o hidrograma de cheia dura em média 7 dias. A vazão na ascensão do hidrograma pode passar de poucos metros cúbicos para centenas e até mesmo milhares de metros cúbicos em um ou dois dias (4.000 m³/s para Tr = 20 anos). A sazonalidade natural do rio (Figura 5) é marcada por cheias de novembro a janeiro, que também podem ocorrer com menor magnitude durante março e abril. O período seco crítico ocorre durante os meses de setembro e outubro.

À exceção dos meses de cheia, as modificações nas vazões mensais decorrentes da BPC foram marcantes, causando vazões médias inferiores ao limite mínimo estabelecido pelo “Range Variability Approach” (RVA) (Figura 5), segundo a metodologia de Richter *et al.* (1997). Esta situação foi resultado da aplicação de uma estratégia de gestão que priorizou a acumulação de água no reservatório.

No que se refere ao regime hidrológico, as curvas de permanência das séries de vazões afluentes e efluentes da barragem (Figura 6) apresentam diferenças significativas em todas as faixas de vazão. É marcante a introdução de vazões nulas, que apesar de serem quase inexistentes nas vazões afluentes ao reservatório passaram a ter uma permanência de 22% nas vazões efluentes. Tal fato decorre do

fechamento total das comportas da barragem, em períodos de até 30 dias, gerando intermitência da descarga fluvial para o estuário.

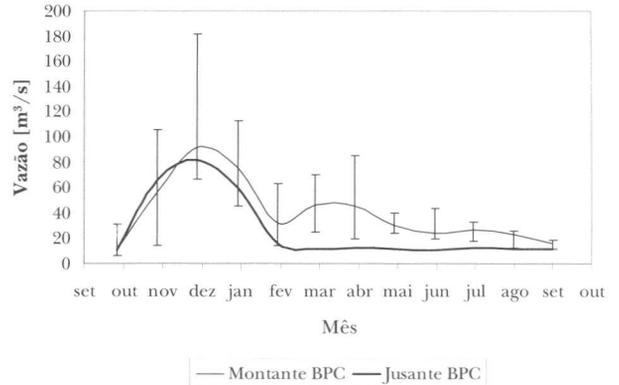


Figura 5 - Alterações na distribuição sazonal das vazões mensais de entrada e saída da BPC (barras verticais indicam os limites do RVA - percentis de 25% e 75%) (Genz, 2006).

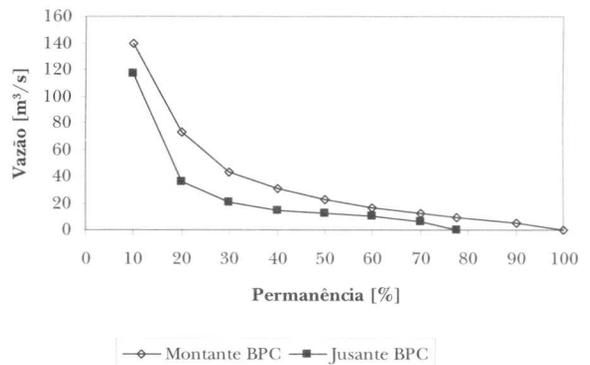


Figura 6 - Curvas de permanência das vazões a montante e jusante da BPC entre 10 e 100% —período 1986 a 2003 (Genz, 2006).

A partir de 1997 ocorreram mudanças na operação da barragem, que passou a manter uma vazão média diária mínima de 11 m³/s, em atendimento às condicionantes estabelecidas pela licença ambiental de operação. Esta alteração teria permitido maior semelhança das vazões efluentes (com permanência igual ou superior a 80%) com aquelas afluentes ao reservatório, não fosse o fato de que a descarga mínima diária passou a ser liberada pelas comportas com vazões de 50 m³/s a 60 m³/s durante 4 a 5 horas.

Com a implantação da UHE Pedra do Cavalo as vazões mínimas ao estuário ficaram dependentes da necessidade de geração de energia, com as comportas devendo ser apenas utilizadas em caso de cheia. Desta maneira, a vazão afluyente ao estuário, com exceção do período de cheias do rio, passou a variar entre 40 m³/s e 80 m³/s com operação de 1 turbina, chegando ao máximo de 160 m³/s com operação de 2 turbinas. De acordo com as regras de operação, caso não haja volume disponível para a geração de energia elétrica, serão liberados pulsos de vazão constante, por uma turbina, durante algumas horas do dia para chegar à vazão média diária de 10 m³/s (vazão sanitária). Esta nova estratégia de funcionamento da barragem vem alterando a situação hidrológica anterior, que apesar de completamente inadequada à região estuarina, havia gerado um zoneamento ecológico e uma dinâmica extrativista (pelas comunidades ribeirinhas) que subsiste há quase 20 anos. As recentes modificações da salinidade no alto e médio estuário causaram, por várias vezes, o desaparecimento de bivalves e gastrópodos que compõem a base da economia de subsistência, levando inclusive à instauração de processo criminal, na Procuradoria Geral da República, contra a concessionária da geração de energia.

De acordo com levantamento da fauna bentônica realizado por Barros *et al.* (2006), a região de maior riqueza faunística no estuário do rio Paraguaçu está localizada junto à entrada do Canal do Paraguaçu e ao final do delta fluvial no centro da Baía de Iguape. Esta região apresenta isohalinas variando entre 20 e 28, correspondendo à classificação polihalina de acordo com o Venice System (1958).

METODOLOGIA

As propostas para o gerenciamento e controle da afluência de água doce aos estuários englobam as seguintes abordagens (modificado de Alber, 2002):

- I. Com base na vazão de entrada: a vazão é mantida dentro de limites prescritos, assumindo que a retirada além deles é prejudicial ao estuário (Flannery *et al.*, 2002);
- II. Condicionado: padrões de vazão são estabelecidos para manter uma condição específica (ex. salinidade) em um dado local do estuário (Kimmerer, 2002);

- III. Com base nos recursos: padrões de vazão são estabelecidos segundo a necessidade de recursos específicos, como por exemplo: determinadas espécies de peixes (Powell *et al.*, 2002); gramíneas aquáticas (Doering *et al.*, 2002); ou habitats (Mattson, 2002);
- IV. Reserva ecológica: define a quantidade e qualidade da água doce necessária para satisfazer as necessidades humanas básicas, bem como proteger o ambiente aquático (Adams *et al.*, 2002).

Na avaliação da vazão necessária para manter a salinidade na Baía de Iguape acima de 5, foi aplicada uma abordagem gerencial do tipo *condicionada* (II). Isto corresponde a limitar o recuo da isohalina de 5 ao final do baixo curso do rio (km 25 - Figura 2). A isohalina de 5 foi utilizado em estudos da intrusão da salinidade por Flannery *et al.* (2002) no estuário do rio Little Manatee e por Meyer *et al.* (2003) no estuário do rio Savannah. O valor de salinidade 5 corresponde, segundo o Venice System (1985), ao limite entre ambientes oligohalino (0,5–5) e mesohalino (5–48) e vai servir como indicativo de baixa salinidade no estuário.

A variação da posição da isohalina de 5 foi determinada com base nos perfis longitudinais medidos em campo e por modelagem numérica do campo tridimensional (Genz, 2006) utilizando o Princeton Ocean Model —POM (Mellor, 2003). Considerou-se neste caso o valor de salinidade do ponto médio da coluna d'água. Quinze perfis longitudinais mediram a distribuição da salinidade ao longo do estuário para diferentes vazões e condições de maré (Tabela 1). Os perfis foram obtidos com uma sonda Horiba U-10, para a campanha entre os dias 13 a 21/11/2001, e um CTD Seabird SBE 19plus SEACAT Profiler, para as demais campanhas.

As condições estuarinas simuladas numericamente com o POM, para maré de sizígia e quadratura, foram (Genz, 2006):

1. Vazão natural mínima (Q_{90}) = 6 m³/s;
2. Vazão natural média do período úmido no recôncavo = 31,6 m³/s.
3. Vazão nula, correspondendo a comportas fechadas da barragem Pedra do Cavalo;
4. Pulso de vazão, com descarga constante de 78 m³/s em uma turbina durante 3 horas (de 18 até 21 horas), para representar uma vazão média diária de 10 m³/s, estabelecida como vazão sanitária;

Tabela 1 - Condições de maré e vazão durante as campanhas de campo. Preamar (PM) e Baixa-mar (BM).

Data do perfil	Maré	Estágio	Vazão liberada pela barragem [m ³ /s]
13/11/2001	Sizígia	BM	13
15/11/2001	Sizígia	PM e BM	402
16/11/2001	Transição sizígia—quadratura	BM	278
17/11/2001	Transição sizígia—quadratura	BM	167
18/11/2001	Transição sizígia—quadratura	BM	108
19/11/2001	Transição sizígia—quadratura	PM	58
20/11/2001	Quadratura	PM	48
21/11/2001	Quadratura	PM	13
27/08/2003	Sizígia	PM e BM	0
29/08/2003	Sizígia	PM e BM	191
26/10/2003	Sizígia	PM e BM	15,6
02/11/2003	Quadratura	PM e BM	15,6
29/01/2004	Quadratura	PM e BM	890
30/01/2004	Sizígia	PM e BM	341
8/02/2004	Sizígia	PM e BM	236

- Vazão de uma turbina da UHE Pedra do Cavalo = 78 m³/s;
- Vazão de duas turbinas da UHE Pedra do Cavalo = 156 m³/s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A relação entre a penetração da salinidade (isohalina de 5) e a vazão fluvial, com base nos dados observados e obtidos com a simulação do POM (Figura 7), mostra que os principais deslocamentos da isohalina de 5 ocorrem na maré de sizígia, quando para uma mesma vazão a posição da isohalina na preamar avança cerca de 4 km estuário adentro em relação à baixa-mar. Na quadratura, a variação estimada entre a baixa-mar e a preamar é menor e da ordem de 1,6 km. Destaca-se que houve um deslocamento da posição da isohalina de 5 na superfície e no fundo em relação à posição obtida para o meio da coluna d'água nos dados observados em campo. A isohalina de 5 na superfície situa-se em média 0,73 km para jusante (desvio padrão de 0,5 km), enquanto que no fundo a posição está a 0,81 km para montante (desvio padrão de 0,6 km). A inclinação da isohalina foi mais acentuada nos dias posteriores à descarga máxima do hidrograma de cheia e com a maré em transição para quadratura.

Normalmente, em estuários onde a curva vazão versus penetração da salinidade é assintótica, espera-se um grande deslocamento espacial das isohalinas com pequenas reduções na vazão durante a estação seca (Flannery *et al.*, 2002). Apesar do comportamento assintótico da curva na Figura 7, este não é o caso do Rio Paraguaçu, onde o deslocamento da isohalina de 5 entre a preamar e a baixa-mar (~ 5 km) é maior que aquele causado pela diminuição da vazão no período seco (~ 2,5 km).

Os maiores recuos da intrusão salina ocorrem nas baixa-mares, tendo sido esta a condição extrema para definição da vazão limite mantenedora da salinidade acima de 5 na Baía de Iguape. A determinação desta vazão foi feita a partir do ajuste de uma função relacionando os dados da intrusão salina com os períodos de baixa-mar (Figura 8). A curva obtida é representada pela seguinte equação:

$$Si = 35,85.Q^{-0,0861} \quad (R^2 = 0,94) \quad (1)$$

onde: Si = extensão da intrusão salina [km]; Q = vazão [m³/s].

A equação 1 indica que o deslocamento da isohalina de 5 até a entrada da Baía de Iguape (km 25) ocorre com vazão de 66 m³/s. Este deve ser o limite máximo de vazão a ser liberado pela UHE para que as condições de salinidade na Baía de Iguape não sejam demasiadamente alteradas em relação tanto à vazão mínima natural quanto àquela adotada pela operação anterior da EMBASA. Desta

forma, a geração contínua de energia com uma turbina operando em capacidade máxima supera em 14 m³/s o limite, sendo assim recomendável sua operação com valor de vazão inferior. A operação simultânea das duas turbinas deveria ocorrer somente durante eventos de cheia. De acordo com os dados, a geração de energia com uma turbina poderá ocorrer em período de outono-inverno, coincidindo com o período de chuvas (abril a julho) nas pequenas bacias marginais ao estuário. Estas bacias compreendem uma área total de 455,7 km², e podem contribuir de forma significativa em relação à vazão turbinada (até 13,5 m³/s na cheia, supondo 30 l/s/km²). Assim sendo, haveria maior restrição às liberações da UHE.

Ressalta-se que as marés extremas, próximas dos equinócios, levam a um maior rebaixamento do nível do mar (ex. vazão nula e $S_i = 26,9$ km —Figura 7) e o recuo da isohalina 5 para dentro da Baía de Iguape pode ocorrer com vazão menor a 66 m³/s.

Adotando-se o paradigma de quanto mais próximo do cenário natural melhor (Richter *et al.*, 1997; Flannery *et al.*, 2002; Mattson, 2002), recomenda-se ainda que as vazões a serem utilizadas para geração hidrelétrica com uma única turbina procurem respeitar as vazões afluentes ao reservatório, não superando-as.

CONCLUSÕES

O conceito de vazão mínima aplicado ao Rio Paraguaçu, através do direito de outorga dos recursos hídricos, tem caráter hidrológico. A aplicação desta vazão mínima (11 m³/s —90% de permanência) iniciou-se em 1997, 12 anos após a conclusão da BPC, resultando em uma menor frequência de vazão nula (fechamento das comportas). Até esta data, as alterações impostas ao sistema estuarino se deram por redução de vazões, e ocasionaram maior penetração da salinidade ao longo do estuário. A implantação da vazão mínima de 11 m³/s levou a uma situação de penetração de salinidade mais próxima à natural. Com a implantação da UHE em 2005, e o limite operacional de turbinamento estabelecido entre 40 e 160 m³/s, as alterações impostas ao sistema estuarino passaram a ser então por aumento de vazões.

Os resultados mostram que uma vazão próxima a 66 m³/s, valor esse inferior ao máximo de uma turbina, recua a isohalina de 5 até a entrada da Baía de Iguape. Este limite de recuo coincide com o início da Reserva Extrativista, mas está a jusante da posição de recuo anterior ao barramento. Para que as condições de salinidade na Reserva Extrativista não sejam demasiadamente alteradas, sugere-se que a geração contínua de energia seja feita com uma turbina, procurando respeitar as vazões que entram no reservatório. O acionamento de duas turbinas para a geração de energia só deve ser utilizado durante a ocorrência de um evento de cheia.

As características da maioria dos estuários brasileiros, a exemplo do estuário do Rio Paraguaçu, são pouco conhecidas, sendo necessária a implementação de programas de monitoramento para relacionar os aspectos ecológicos (distribuição de espécies) com os deslocamentos da intrusão

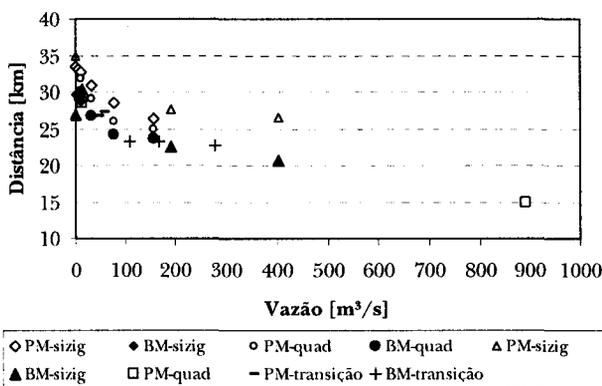


Figura 7 - Relação entre a vazão e a penetração da salinidade (isohalina de 5) observada e simulada com POM (sizígia e quadratura, baixa-mar [BM] e preamar [PM]).

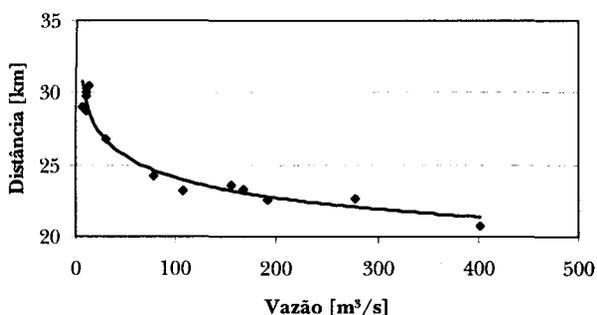


Figura 8 - Relação entre vazão e intrusão salina no estuário do Rio Paraguaçu (isohalina de 5) para situação de baixa-mar.

salina. A obtenção de relações entre vazão e a penetração da salinidade e a relação desta com os recursos estuarinos implica em avaliações temporais e espaciais, com grande esforço de coleta de dados, devido aos vários cenários possíveis de altura de maré e vazões fluviais. A implantação de modelos numéricos pode ser vantajosa em casos como baías e estuários com morfologia complexa, como por exemplo do Rio Paraguaçu.

Estabelecer a dependência dos estuários e outros ambientes costeiros às vazões fluviais, bem como propor mecanismos de regulação, implica em levar o gerenciamento dos recursos hídricos até o limite físico da bacia hidrográfica e, desta forma, caminhar em direção à diretriz geral da Lei Federal 9.433 de 08/01/97 - Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece: "a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras".

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/CT-HIDRO pelo apoio através do projeto número 550205/2002. Fernando Genz foi bolsista CNPq-CT-Hidro.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J.B., BATE, G.C., HARRINSON, T.D., HUIZINGA, P., TALJAARD, S. VAN NIEKERK, L., PLUMSTEAD, E.E., WHITFIELD, A.K., WOOLDRIDGE, T.H. 2002. A Method to Assess the Freshwater Inflow Requirements of Estuaries and Application to the Mtata Estuary, South África. *Estuaries*, 25(6B): 1382-1393.
- ALBER, M. 2002. A Conceptual Model of Estuarine Freshwater Inflow Management. *Estuaries*, 25 (6B): 1246-1261.
- BAHIAPESCA, 1998. *Boletim Estatístico de Pesca Estuarina e Marinha no Estado da Bahia*. Programa de desenvolvimento da aqüicultura e da pesca. Governo da Bahia.
- BARROS, F., HATJE, V., SILVA, M.B.F., MAGALHÃES, W.S E MELO, M.C. 2006. Avaliação da contaminação no estuário do rio Paraguaçu (BA): assembléias bentônicas, metais traços e nutrientes. In: III Simpósio Brasileiro de Oceanografia da Universidade de São Paulo.
- BENETTI, A.D., LANNA, A.E., COBALCHINI, M.S. 2003. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2): 149-160.
- CARVALHO, J.B. 2000. *Caracterização morfoestratigráfica do preenchimento sedimentar da Baía de Iguape, Bahia – Influência das variações eustáticas do nível do mar e atividades tectônicas recentes*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia. 119p.
- DOERING, P.H., CHAMBERLAIN, R.H., HAUNERT, D.E. 2002. Using Submerged Aquatic Vegetation to Establish Minimum and Maximum Freshwater Inflows to the Caloosahatchee Estuary, Florida. *Estuaries*, 25(6B): 1343-1354.
- FLANNERY, M.S., PEEBLES, E.B., MONTGOMERY, R.T. 2002. A percent-of-flow approach for managing reductions of freshwater inflows from unimpounded rivers to Southwest Florida estuaries. *Estuaries*. 25(6B): 1318-1332.
- GENZ, F. 2006. *Avaliação dos Efeitos da Barragem Pedra do Cavalo sobre a Circulação Estuarina do Rio Paraguaçu e Baía de Iguape*. Tese de doutorado. Instituto de Geociências. UFBA. 245p. (disponível em: http://www.pggeologia.ufba.br/FTP/tese/tex_200118414).
- KIMMERER, W.J. 2002. Physical, biological and management responses to variable freshwater flow into the San Francisco estuary. *Estuaries*, 25(6B):1275-1290.
- MATTSON, R. A. 2002. A Resource-based framework for establishing freshwater inflow requirements for the Suwannee river estuary. *Estuaries*, 25(6B):1333-1342.
- MELLOR, G.L. 2003. *A three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model*. Users Guide. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences. Princeton University, Princeton, NJ. 43p.
- MEYER, J., ALBER, M., DUNCAFI, W., FREEMAN, M., HALE, C., JACKSON, R., JENNINGS, C., PALTA, M., RICHARDSON, E., SHARITZ, R., SHELDON, J., WEYERS, R. 2003. *Ecosystem flow Recommendations for the Savannah River below Thurmond Dam*. Summary Report 6/03. 150 p.
- MIRANDA, L.B., CASTRO, B.M., KJERFVE, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física e Estuários. Capítulo 4. EDUSP.
- POWELL, G.L., MATSUMOTO, J., BROCK, D.A. 2002. Methods for Determining Minimum Freshwater Inflow Needs of Texas Bays and Estuaries. *Estuaries*. 25(6B): 1262-1274.
- REDDERING, J.S.V. 1988. Prediction of the effects of reduced river discharge on the estuaries of the south-eastern Cape Province, South Africa. *South Africa Journal of Sciences* 86:425-428.
- RICHTER, B.D., BAUMGARTNER, J.V., WINGINGTON, R., BRAUN, D.P. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology*, 37, 231-249.

- SKLAR F.H., BROWDER, J.A.1998. Coastal Environmental Impacts Brought About by Alterations to Freshwater Flow in the Gulf of Mexico. *Environmental Management*, 22 (4):547-562.
- VENICE SYSTEM 1958 Symposium on the classification of brackish waters, Venice. *Archives Oceanography and Limnology* 11, suppl, 1-248.

Minimum Discharge into Estuaries: A Case Study in Paraguaçu River(BA)

ABSTRACT

Freshwater discharge into estuaries has been significantly altered by human activities IN the catchments areas. UNDER several circumstances it is necessary to adopt minimum values for fluvial discharges in order to avoid large major shifts of the mean salinity field and ecological zones. The case study of the impact of Pedra do Cavalo Dam on the estuarine region of Paraguaçu River, exemplifies the application of the discharge minimum approach to the management of a reservoir outflow into an estuary. The dam was built in 1986 and changes IN the minimum discharge value have caused fluctuations of the salt intrusion limit. Initially, the fluctuations were due to the reduction of the discharge, leading to GREATER salt intrusion. For sanitation purposes, between 1997 and 2005, it was set to 11 m³/s and resulted in a situation close to the natural one. After 2005, when hydropower generation started, the turbine operation required minimum flow rates between 40 and 80 m³/s, causing less salt penetration. In order to produce the smallest possible changes in the salinity field at the marine reserve within the estuary, it is suggested that continuous hydropower generation should be done by only one turbine, trying to observe the incoming discharge to the dam. Two turbines should only be used during flood events.

Key-words: Estuaries; freshwater discharge; Pedra do Cavalo Dam; hydropower; salinity.