

MUDANÇAS CLIMÁTICAS, INCERTEZAS HIDROLÓGICAS E VAZÃO FLUVIAL: O CASO DO ESTUÁRIO DO RIO ANIL

Enner Herenio de Alcântara

Laboratório de Hidrobiologia - LABOHIDRO
Departamento de Oceanografia e Limnologia - UFMA
Email: ennerha@yahoo.com.br

Resumo

O gerenciamento de recursos hídricos tem se submetido a mudanças devido ao crescimento da população, melhoramento sanitário, desenvolvimento econômico, tecnológico, e tem se mudado circunstâncias legislativas e administrativas. Estas mudanças continuarão no futuro, com sua intensidade que é dependente dos processos demográficos e econômicos em várias partes do mundo. Esta introdução da mudança no clima adiciona uma dimensão nova à dinâmica de demanda de água. A proposta do presente trabalho é de produzir alguns cenários climáticos, e discutir como a descarga fluvial se comporta em face aos cenários produzidos. Como resultado pode-se dizer que possivelmente o fator que mais influenciou na descarga fluvial (Q_f), dentre os fatores estudados (temperatura e precipitação), a precipitação se mostrou mais eficiente em alterar a descarga fluvial. No entanto, um estudo mais profundo é recomendado.

Palavras chaves: mudança climática, incertezas hidrológicas, descarga fluvial, rio anil.

CLIMATIC CHANGES, HYDROLOGIC UNCERTAINTIES AND FLUVIAL OUTFLOW: THE CASE OF ANIL RIVER ESTUARY

Abstract

Water resources management has been undergoing changes due to population growth, improved sanitation, economic development, technological revolution, and changing legislative and administrative conditions. These changes will continue in the future, with their intensity being dependent on demographic and economic processes in various parts of the world. The issue of climate change adds a new dimension to the ongoing dynamics of water supply and demand. The proposal of present work is to argue in some climatic scenes, as river discharge if it holds in deferential climatic scenes. Possibly the factor that more influenced in river discharge (Q_f), amongst the studied factors (temperature and precipitation), the precipitation if showed more efficiently, in the direction of bigger influence to exert. However, it must be had in sight that the river discharge of River Indigo must pass more for a detailed study, so that which of two factors can be detected with precision influence more or less. The climatic variability is a factor of uncertainty for the managers of water resources.

Keywords : Climate change, hydrological uncertainties, river discharge, Anil river.

¹ Recebido em: 11/05/2004
Aceito para publicação em: 30/05/2004

INTRODUÇÃO

Um estuário é um ambiente costeiro de transição entre o continente e o oceano adjacente, onde a água do mar é diluída pela água doce da drenagem continental (Defant, 1960; Franco, 1988; GST, 1997). Esse ambiente é forçado por agentes locais e remotos gerados pela ação de eventos climáticos, oceanográficos, geológicos, hidrológicos, biológicos e químicos, que ocorrem na bacia de drenagem e no oceano adjacente muitas vezes a dezenas, centenas e até milhares de quilômetros de distância.

O século XXI é marcado pelo conflito entre a oferta e a demanda de água doce na escala mundial. Para o ano 2025 espera-se que mais de 4 bilhões de pessoas tenham problemas de acesso à água doce no mundo. Estima-se que o valor monetário da água doce mundial ronda os US\$ 8.000 bilhões, dos quais US\$ 300 bilhões são comprometidos a cada ano pela incerteza inerente da mudança climática. Com isso, planejar um desenvolvimento sustentável na escala global apresenta desafios sociais, econômicos e ambientais. Parte dos desafios se concentra na gestão das incertezas do ciclo hidrológico, o qual atua desde a escala global até a

microescala. América Latina tem, por um lado, uma vasta diversidade de biomas e reservas estratégicas de água doce e, por outro, uma demanda de água e de energia que deixam entrever cenários sob conflito e incerteza. Esse quadro oferece claras oportunidades de estudar as incertezas hidrológicas a fim de dar propostas aos desafios concretos, (Mendiondo; Martins & Bertoni, 2002).

Segundo Kaczmarek (1996), para os cientistas, e mais recentemente para os políticos, vem crescendo a preocupação com a possibilidade de uma mudança climática global devido aos níveis crescentes do dióxido de carbono (CO₂) e outros gases antropogênicos de efeito estufa. Embora não houvesse nenhum consenso geral na comunidade científica na escala possível de se ter um aquecimento global, o problema foi altamente discutido por inúmeras atividades internacionais, tais como o processo de avaliação iniciado pelo Painel Intergovernamental sobre a Mudança Climática (IPCC, 1990) e pela convenção do Rio para o clima. Apesar de todas as incertezas, reconhece-se extensamente que as mudanças do clima devido a uma demografia crescente podem criar problemas sociais e econômicos dramáticos, ao menos em

algumas regiões vulneráveis do mundo. De acordo com o relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento (Brundtland, 1987) interesses ambientais devem ser integrados em todos os níveis do plano nacional e internacional. Quando o futuro em longo prazo da terra é considerado, a introdução da mudança do clima não pode ser negligenciado, e os vários cenários de tendências possíveis no ambiente e na sociedade devem ser investigados.

A ciência é então, responsável pelo desenvolver de uma metodologia para a avaliação do impacto do clima e para fornecer uma base racional para empreender medidas adaptáveis necessárias. A ciência também deve informar aos responsáveis pelas tomadas de decisões e ao público em geral sobre as possíveis ameaças globais e suas incertezas que as acompanham. A complexidade do sistema da interação atmosfera-oceano-terra significa que nós não podemos eliminar surpresas, e os habitantes do mundo devem ser preparados para lidar com elas. Isto concerne o abastecimento de água regional e a demanda de água a uma grande extensão. Uma indicação aceita unanimemente pelos cientistas na

segunda Conferência Mundial para o Clima, em novembro de 1990, declara que: “entre os impactos mais importantes da mudança climática estão os efeitos no ciclo hidrológico e nos sistemas de gerenciamento de água, e com estes, os sistemas sócio-econômicos”.

O gerenciamento de recursos hídricos tem se submetido à mudanças devido ao crescimento da população, melhoramento sanitário, desenvolvimento econômico, tecnológico, e tem se mudado circunstâncias legislativas e administrativas. Estas mudanças continuarão no futuro, com sua intensidade que é dependente dos processos demográficos e econômicos em várias partes do mundo. Esta introdução da mudança no clima adiciona uma dimensão nova à dinâmica de demanda de água, Kundzenwicz & Somlyódy (1993).

A bacia de drenagem é a origem do sistema de rios que suprirá o estuário de água fluvial. Sedimentos, substâncias orgânicas e inorgânicas e eventualmente poluentes. A quantidade de água recebida pela bacia depende das condições climáticas, das características do solo, da cobertura vegetal, da ocupação urbana, agrícola e industrial e da evapotranspiração na região de

captação e de suas interações (Coleman & Wright, 1971).

A radiação solar é a principal fonte de energia para o nosso planeta. A distribuição da mesma sobre a superfície da Terra varia deterministicamente com a latitude geográfica e sazonalmente com as estações do ano. A cobertura de nuvens, a concentração de aerossóis e partículas na atmosfera, também têm influência no fluxo de energia solar que chega à superfície terrestre e dos oceanos. Esse fluxo controla a concentração de calor dos oceanos e das regiões costeiras, sendo a fonte de energia para a fotossíntese e para o processo de evapotranspiração na bacia de drenagem. Por sua vez, a radiação solar também é responsável pela produção primária por meio da fotossíntese das plantas microscópicas (fitoplâncton), que suportam as cadeias alimentares estuarinas.

O balanço entre precipitação, descarga fluvial e evapotranspiração na bacia de drenagem do estuário é sempre positivo, isto é, a soma entre as fontes de água (precipitação e descarga fluvial) é sempre menor do que o sorvedouro, a evapotranspiração. Isso está de acordo com a definição de Pritchard (1955), que estabelece que no estuário a água

do mar é mensuravelmente diluída pela água de drenagem continental. Os fatores que podem influenciar esse balanço são: a temperatura e a umidade relativa do ar, a direção e a intensidade do vento, a geomorfologia, as características do solo e a cobertura vegetal (Cronin, 1967).

A descarga fluvial, ou vazão do rio (Q_f), representa fisicamente o transporte de volume (volume por unidade de tempo, $L^3 T^{-1}$). A razão entre o transporte e a área de qualquer seção transversal do canal estuarino é a velocidade escalar média gerada por essa forçante da circulação estuarina.

Preferencialmente, a descarga fluvial é considerada um dado do problema na abordagem da física estuarina e sua determinação é do domínio da hidrologia. Como, em geral, essa quantidade física é observada com a finalidade de monitorar o suprimento de água para fins urbanos, industriais e agrícolas, e não especificamente para a pesquisa estuarina.

Caracterização da área em estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Anil, localizada no quadrante NW da Ilha de São Luis - MA, com o Rio Anil possuindo cerca de 13,8 Km de extensão (Siqueira, 1987; Alcântara,

2003). Têm suas nascentes localizadas no Bairro Aurora, descendo ao nível do mar aproximadamente 9,5 Km em linha reta, com o eixo direcional orientado de SE para NW a partir da nascente, a sua

calha caracteriza-se por apresentar um perfil meândrico, cortando a porção NE do centro urbano da cidade de São Luis, no trajeto em direção à desembocadura (Figura 1).

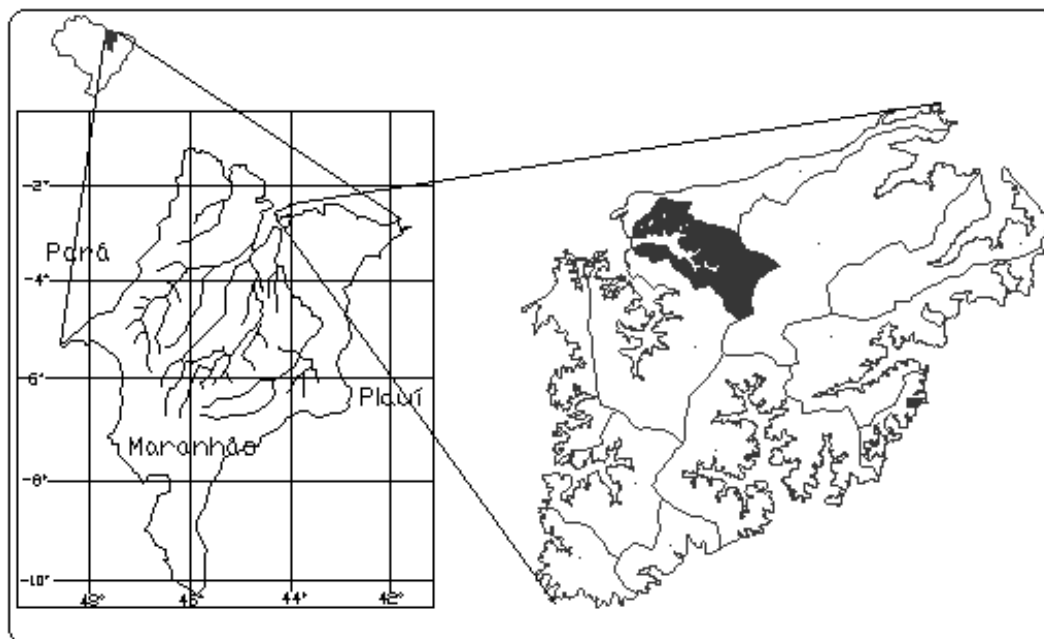


Figura 1 - Localização da Bacia hidrográfica do Rio Anil (área hachurada)

A Bacia Hidrográfica do Rio Anil, inserida no centro urbano da capital do Maranhão, é umas das mais prejudicadas, sobretudo pelo grande crescimento populacional registrado entre as décadas de 70 e 90, quando a população da cidade apresentou uma expressiva expansão demográfica, (LABOHIDRO, 1980).

Ocupação e Uso Atual do Solo

O processo de urbanização em

desenvolvimento na bacia do Anil, alcança atualmente um recobrimento da ordem de 65,2% de toda a superfície dos solos disponíveis. A análise da sua distribuição espacial mostra este processo de urbanização que se estende lateralmente por todo o espaço disponível pela margem esquerda (correspondendo aos terrenos que compreendem desde o bairro da Praia Grande até o do Anil), além do setor extremo a noroeste pela margem direita

(incluindo a faixa de terras entre a Ponta da Areia e o Renascença). Continua pela margem direita, avançando para sudeste acompanhando o traçado dos eixos viários principais, apresentando-se de forma contínua, alterando-se com espaços (ainda não ocupados), nos quais são encontradas feições da vegetação em diferentes estágios de degradação. Merecendo registro, o gradual acréscimo de áreas da planície flúvio-marinha (terrenos dos mangues), incorporadas por processos de aterro mecânico, que se distribuem pela área.

Os terrenos de terra firme ainda não urbanizados (cerca de 1.200,00 ha, 34,8%), em sua maior parte correspondem a pequenos vales que funcionam como sub-bacias naturais de drenagem, nos quais as características topográficas não favorecem o seu aproveitamento técnico e econômico para a implantação de loteamento r/ ou edificação. Localizados em zonas adjacentes e/ou cortadas pelos eixos viários principais e/ou associadas a conjuntos habitacionais, portanto sob forte influência das pressões por ocupação do espaço, nestas áreas potencializam-se ações de pré-urbanização relacionadas às ocupações

indevidas, que gradualmente induzem a remoção da cobertura vegetal, com conseqüente exposição dos solos a intensivos processos de intemperismo que se alternam ao longo do ciclo anual. Durante o período das chuvas (janeiro a junho), predominam a lixiviação e/ou erosão pluvial e durante o período de estiagem (julho a dezembro), a dessecação e erosão eólica.

Como resultado do desdobramento dos processos primários identificados, já são sentidos os efeitos de processos secundários que se manifestam sobre outros compartimentos do ambiente, sobre elementos da infra-estrutura urbana e em última análise, sobre a população assentada na área. Evidências destas conseqüências são encontradas no assoreamento que obstrui parcialmente o canal principal na região do médio curso do rio (imediatamente a jusante da Ponte Governador Newton Belo, "Caratatiua"), no comprometimento da eficiência das obras de macro-drenagem executadas em pontos de criticidade do escoamento das águas pluviais, ao longo dos eixos viários principais e na modificação dos micro-climas (sentidas pelas mudanças do comportamento térmico e acréscimo das taxas de particulados na atmosfera), que combinadas com outros atributos

climáticos, favorecem o quadro de doenças relacionadas ao sistema respiratório, que acomete principalmente as faixas da população infantil e dos idosos.

Cabe assinalar também, que nos últimos vinte anos (1970-1994), na região do Jaracati (margem direita), uma área da ordem de 70,0 ha foi utilizada para a disposição final de todo o lixo urbano da cidade de São Luís. Operado em condições sanitárias e ambientais completamente incompatíveis, aspecto este agravado pela criticidade da sua localização, a área em questão ainda representa um dos principais focos de vetores patológicos que oferece riscos para a saúde pública de expressiva parcela da população assentada nos bairros que se encontram na sua zona de influência imediata.

Hidrologia

O principal componente hidrológico da bacia é o rio Anil, na verdade um braço de mar alimentado pelo fluxo de marés da baía de São Marcos. Seu regime hidrológico, no, período de estiagem, é totalmente vinculado ao fluxo destas marés, sem contribuições relevantes de montantes. Na época das chuvas há um evidente acréscimo de vazões, mas que

pouco se estendem além dos períodos de precipitações, sem entanto provocar oscilações nos níveis d'água do canal.

Assim, o rio Anil não produz "enchentes" nem comporta estudos hidrológicos ou estatísticos tradicionais. Ao contrário, seus níveis d'água podem ser determinados simplesmente pelo uso de tábuas de maré, com precisão razoável.

Já seus afluentes (todos intermitentes) apresentam condições complementemente diversas, com regime hidrográfico.

Assim dependente das precipitações sazonais e dos níveis de maré a jusante, no corpo do rio Anil, podemos citar como mais importantes, (tabela 1).

Tabela 1

Afluentes do rio Anil

| Margem direita | Margem esquerda |
|-----------------------|-------------------------|
| Igarapé da Ana Jansen | Rio Jaguarema |
| Igarapé do Jaracati | Córrego da Vila Barreto |
| Igarapé do Vinhais | Córrego da Alemanha |
| Rio Ingaúra | Igarapé da Gamboa |

De forma geral, os afluentes pela margem direita são maiores, mais extensos, e atravessam região de mangues bem definidas antes de desaguardem no rio enquanto os da esquerda são mais curtos, de maior

declividade e chegam quase diretamente ao corpo receptor, drenando bacias completamente urbanizadas e que possuem problemas gerais de escoamento.

Demografia e Ocupação

Num plano geral, a bacia do rio Anil pode ser considerada como totalmente central do ponto de vista geográfico, e completamente urbanizada dada sua participação no centro histórico e financeiro/administrativo da cidade, porém, observa-se que apenas um percentual de 50% da área de fato ocupada, sendo o restante zonas urbanas ainda cobertas por vegetação (41%) e

áreas pertencentes à calha do rio (9%), o que demonstra o imenso potencial de urbanização ainda a ser explorando dentro dos limites da bacia.

No geral, não há um padrão urbano regular, observando-se ainda forte presença comercial ao longo dos eixos principais de tráfegos, sendo estes mais adequadas à realidades dos anos 50 do que às demandas atuais de volume e traçado.

Para este trecho, o índice demográfico médio considerado para o ano de 1995 foi de 96 hab./há, e os arruamentos e acessos pavimentados em 70% de sua extensão (Tabela 2).

Tabela 2

Demografia e ocupação do rio Anil

| Trecho | Área (ha) | Índice demográfico | População estimada |
|-----------------|-----------|--------------------|--------------------|
| Margem esquerda | 460 | 146 | 67160 |
| Margem direita | 588 | 39 | 22932 |
| Montante | 3100 | 96 | 297600 |
| Mangues | 373 | - | - |
| Total | 4521 | | 387692 |

Metodologia

Cálculo do valor da vazão fluvial (Qf)

A descarga de água doce ou vazão fluvial (Q_f) representa fisicamente o

transporte de volume de água doce em um estuário. O valor dessa propriedade deve ser determinado a partir do monitoramento *in situ* de pontos específicos do rio localizado estuário

acima, em geral longe da influência da maré, por meio de medidas linimétricas da altura do nível fluvial, com ábacos devidamente calibrados com base em medidas de volicidade, e do conhecimento da geometria da seção transversal do rio na posição da estação fluviométrica.

Todavia, estações fluviométricas são relativamente escassas no Brasil, sendo normalmente necessário o uso de métodos alternativos e indiretos para a obtenção do valor médio da descarga de água doce de um determinado rio. Um dos métodos para o cálculo indireto dessa quantidade física baseia-se em equações semi-empíricas que estimam o escoamento superficial.

Por definição, o escoamento superficial (f) é a parcela da precipitação (P) que, através do escoamento na área da bacia de drenagem, irá finalmente alimentar o sistema estuarino. A parcela restante da precipitação é evaporada diretamente para a atmosfera, infiltra-se no solo (e, eventualmente, volta à superfície onde é evaporada) ou ainda participa do metabolismo das plantas e é evaporada através de suas folhas, em um processo denominado transpiração. A evaporação e a transpiração são freqüentemente combinadas num único processo

denominado evapotranspiração.

A razão de escoamento superficial (f/P) de uma bacia de drenagem depende da própria precipitação e da evaporação. Por sua vez, a evaporação depende da intensidade da radiação solar e, em consequência, da temperatura do ar. A forma mais simples para essa razão foi introduzida pelo hidrologista P. Schreiber em 1904 (Holland, 1978).

$$\frac{f}{P} = e^{-\frac{E_0}{P}} \quad (2)$$

Onde $a = E_0$ é a quantidade máxima de água que pode ser evaporada anualmente de uma superfície completamente saturada. Essa equação indica, portanto, que a razão de escoamento superficial depende da máxima taxa de evaporação e da precipitação anuais. Verifica-se, também, que essa quantidade adimensional decresce exponencialmente entre os valores extremos 1 e 0, quando E_0 tende a 0 ou $E_0 \gg P$, respectivamente.

A equação de Schreiber (equação 1) depende de E_0 , que por sua vez decresce rapidamente com o decréscimo da temperatura em altas latitudes. A dependência da razão de escoamento superficial com a latitude geográfica foi obtida experimentalmente com dados de bacias de drenagem da Europa, Ásia, África, América do Norte e do Sul

(incluindo as bacias dos rios Amazonas e São Francisco) e Austrália. Embora essa dependência indicasse um maior espalhamento em baixas latitudes, foi possível confirmar a base física da equação de Schreiber e estabelecer, com o ajuste de uma curva média, a seguinte equação de E_o , em função da média anual da temperatura do ar na superfície, T (Holland, *op. Cit.*):

$$E_o = 1,2 \times 10^9 \cdot e^{\frac{-4,62 \times 10^3}{T}} \quad (2)$$

com a Temperatura em K (Kelvin). A quantidade E_o é dada em cm/ ano, reproduzindo resultados satisfatórios do Equador até cerca de 70° de latitude. O coeficiente da exponencial dessa equação é muito próximo à razão H/R , onde H é o calor de vaporização da água em cal.mol^{-1} e R é a constante do gás ideal em $\text{cal.mol}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. O valor de E_o calculado por essa equação somente é significativo quando utilizados dados médios de longos períodos de tempo (Kjerfve, 1990; Bonetti Filho & Miranda, 1997; Miranda, Castro & Kjerfve, 2002).

Uma vez calculada a razão de escoamento superficial f/P , a descarga de água doce (Q_f) pode ser obtida com

o conhecimento da área total da bacia de drenagem (A_T) e do intervalo de tempo (Δt), representativo para o cálculo dos valores médios de E_o e P , por meio da seguinte equação:

$$Q_f = \frac{\Delta f}{\Delta t} \cdot A_T \quad (3)$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), Δf e A_T devem ser calculados respectivamente em m e m^2 , e Δt em s, para que a descarga fluvial Q_f seja dada em $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Para tentar mostrar como a descarga fluvial (Q_f) do rio Anil se comportaria em face as possíveis variabilidades climáticas, estabeleceu-se o que se convencionou chamar de cenários climáticos (tabela 3). Para tanto, utilizamos os seguintes critérios: incremento (I) de 1 e 2° C e decréscimo (D) de 1 e 2° C em relação à temperatura média anual ($27,3^\circ$ C). E a para a precipitação tomamos como critério de teste o incremento (I) de 10 e 20% e o decréscimo (D) de 10 e 20% em relação à precipitação média anual (2196 mm) e relativa a uma amostragem de 25 anos, coletados no site da UFPB (2003).

Tabela 3

Descrição dos cenários utilizados para construção de modelos conceituais da variação da descarga fluvial (Q_f) nas bacias do Rio Anil.

| Cenário | Descrição |
|---------|-------------|
| 0 | TN & PN |
| 1 | I1T & PN |
| 2 | D2T & PN |
| 3 | I2T & PN |
| 4 | D1T & PN |
| 5 | TN & D10%P |
| 6 | TN & D20%P |
| 7 | TN & I10%P |
| 8 | TN & I20%P |
| 9 | D1T & I10%P |
| 10 | I1T & D10%P |
| 11 | D1T & I20%P |
| 12 | I1T & D20%P |
| 13 | D2T & I20%P |
| 14 | I2T & D20%P |
| 15 | D2T & I10%P |
| 16 | I2T & D10%P |

Resultados e Discussão

Análise da Descarga Fluvial (Q_f)

Considerando o cenário de referência ou o cenário “0”, temos que, quando aumentamos 1K (Kelvin) na temperatura média anual de referência (300,3 K) e não alteramos a precipitação de referência (2196 mm), temos um decréscimo na descarga fluvial (Q_f) de $0.26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Com 2 K a menos na temperatura de referência e considerando a precipitação de referência, temos um aumento de $0.53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ao contrário, quando aumentamos 2 K a mais em relação a temperatura de referência e não

alterando a precipitação de referência, temos uma perda na descarga fluvial de $0.51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Com a diminuição de 1 K na temperatura e ainda não alterando a precipitação, temos um acréscimo de $0.27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em relação à descarga fluvial de referência ($4.56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Tendo agora a temperatura de referência e diminuindo 10% da precipitação de referência temos um perda de $0.54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e de $1.13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, quando introduzimos um decréscimo de 20% na precipitação. Já com um incremento de 10 e 20% na precipitação de referência, temos um ganho na descarga fluvial de $0.51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $0.96 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ respectivamente.

A partir desse momento iremos “mexer” tanto na temperatura quanto na precipitação de referência, 300.3 K e 2196 mm, respectivamente. Introduzindo um decréscimo de 1K e de 10% na temperatura e na precipitação, respectivamente, temos um ganho de $0.77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e quando introduzimos um incremento nas mesmas condições, temos uma perda de $0.79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Decrescendo 1 K e incrementando 20% na temperatura e na precipitação, respectivamente, temos um ganho de $1.23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Mas quando, em vez de decrescer 1 K na temperatura e incrementamos 1 K e decrescemos 20%

na precipitação temos uma perda de $1.37 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Quando “retiramos” 2 K e incrementamos 20% na temperatura e na precipitação, respectivamente, temos um ganho de $1.49 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Quando ocorre o contrário do que foi exposto acima, ou seja, (12 K e D20%P), temos uma perda de $1.61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Já

com um decréscimo de 2 K e um incremento de 10% na temperatura e na precipitação, respectivamente, temos um ganho na descarga fluvial de $1.03 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. E quando do contrário, ou seja, um incremento na temperatura e um decréscimo na precipitação, ocorre uma perda de $1.04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Os resultado acima discutidos, podem ser melhor visualizados através do gráfico 1.

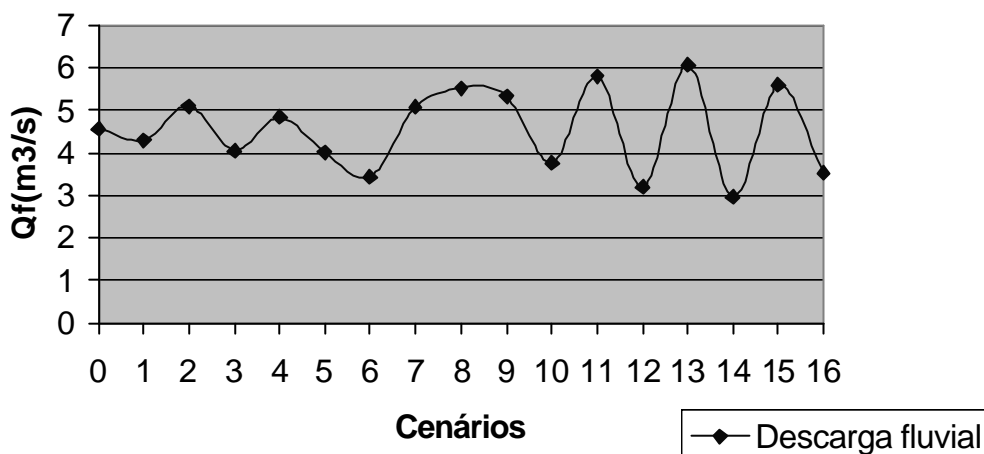


Gráfico 1 - Variação da descarga fluvial (Qf)

Em outros trabalhos como Medeiros & Kjerfve (1993); Schettini (1994); Kjerfve *et al* (1996); Bonetti & Miranda (1997) e Kjerfve *et al* (1997), os resultados da estimativa permitiram que esses pesquisadores concluíssem que a grande diferença da descarga fluvial entre as estações seca e chuvosa governa a hidrodinâmica desses ambientes costeiros.

O efeito da descarga fluvial, constantemente adicionada pelo rio, além de gerar um componente de circulação estuarina que naturalmente se desloca para fora do estuário, ao diluir a água do mar produz diferenças de densidade ao longo do estuário, gerando movimentos estuário acima forçados pelo gradiente de pressão. A interação das várias propriedades e processos-

descarga (ou vazão) do rio, correntes de maré, gradiente de pressão, advecção difusão turbulenta-produz, dentro da delimitação geomofológica da bacia estuarina, a distribuição de salinidade que é característica de cada estuário, (Officer, 1983).

Como na definição acima descrita, está explícita a condição de que a água do mar deve ser mensuravelmente diluída pela água da drenagem continental, no balanço de água a soma dos volumes que chegam no estuário, gerados pela precipitação (P) e descarga fluvial (Qf), devem ser maiores do que o volume de água transferido para atmosfera pelo processo de evaporação (E). Portanto, de acordo com a definição clássica, no estuário vale a seguinte desigualdade para esse volumes encontrados para os estuários da ilha do Maranhão: Como a precipitação (P) + descarga fluvial (Qf) > evaporação (E), então de acordo com alguns autores referem-se a esse caso como sendo *estuários positivos*.

Conclusão

Possivelmente o fator que mais influenciou na descarga fluvial (Qf), dentre os fatores estudados (temperatura e precipitação), a precipitação se mostrou mais “eficaz”, no sentido de

maior influência exercer. No entanto, deve-se ter em vista que a descarga fluvial do Rio Anil deve passar por um estudo mais detalhado, para que possa ser detectada com precisão qual dos dois fatores influência mais ou menos.

Recomendações

O método utilizado apresentou resultados consistentes, validando sua utilização como uma alternativa para estudos em estuários cujo aporte de água doce é desconhecido. Entretanto, algumas restrições devem ser observadas em seu emprego. Uma delas é na elaboração do Diagrama Estratificação-Circulação (Hansen & Rattray, 1966), que possibilita a classificação quantitativa de um estuário. Um dos parâmetros fundamentais desse diagrama é o parâmetro circulação, expresso pela razão entre a velocidade média na superfície pela velocidade gerada pela descarga de água doce (u_s/u_f). Sendo assim, a quantidade u_f depende diretamente da vazão fluvial (Qf) e inversamente da área da secção transversal (A) do estuário ($u_f=Q_f/A$). Portanto, a princípio, conhecendo-se o valor de Qf estimado pelo escoamento superficial é possível calcular u_f . Todavia, a velocidade média durante

poucos ciclos de maré, que simulam as condições de estacionaridade do método, encontra-se intrinsecamente associada às condições daquele período e não a uma média decenal. Portanto, na elaboração desse diagrama é necessário utilizar-se um valor alternativo para u_f que pode ser, de acordo com Dyer (1973), o valor da velocidade residual, ou seja, a média da componente longitudinal da velocidade no tempo e na seção transversal.

Outra restrição no uso das estimativas apresentadas decorre das próprias características fisiográficas do sistema estudado, uma vez que o aporte de água doce não é proveniente de uma fonte única situada na cabeceira, como seria de se esperar no caso de um estuário clássico.

Não obstante as restrições mencionadas, a estimativa da vazão com base no escoamento superficial pode ser usado para determinar a velocidade gerada pela descarga das águas, u_f , e esta, por sua vez, pode ser utilizada para estimativas de valores médios do fluxo e do transporte advectivo de salinidade e da concentração de outras propriedades conservativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E.H. & SANTOS, M.C.F.V.. Levantamento da qualidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luis-MA. *4º Congresso Regional de Engenharia Sanitária e Ambiental* - São Paulo(SP), 2003.

BONETTI, J. F. & MIRANDA, L. B. Estivativa da Descarga Fluvial no Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape. *Rev. Bras. Oceanogr.* São Paulo, 45(1/2):89-94, 1997.

BRUNDTLAND, G. H. *Our Common Future*, Report of the World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, UK, 1987.

COLEMAN, J. M. & WRIGHT, L. D. Analysis of Major River Systems and Their Deltas: Procedures and Rationale, with two Examples. Baton Rouge, Louisiana State University Press. 1971, 125 p.

CRONIN, L. E. The role of man in Estuarine Processes. In: LAUFF, G. H. (ed.). *Estuaries* American Association for the Advanced of Science, Washington, D. C., pp. 667-689, 1967.

DEFANT, A. *Physical Oceanographic*. Oxford, Pergamon Press, vol. 2., 1960, 598 p.

- DYER, K. R. Estuaries, a physical introduction. London, John Wiley & Sons. 1973, 140 p.
- FRANCO, A. S. Tides: Fundamentals, Analysis and Prediction. São Paulo, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. 1988, 249 p.
- GEOPHYSICS STUDY COMMITTEE "Overview and Recommendations". Estuaries, geophysics and the Environment. Washington, D.C., National Academy of Sciences, p.1-10, 1999.
- HANSEN, D. V. & RATTRAY, M.. New dimensions in estuarine classification. *Limnol. Oceanogr.*, (11):319-326, 1966.
- HOLLAND, H. D. The Chemistry of the atmosphere and oceans. New York, Wiley-Interscience. 1978, 351 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment*, W. J. McG. Tegart, G. W. Sheldon, and D. C. Griffiths, eds., Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1990.
- KACZMAREK, Z.; STRZEPEK, K.; SOMLYÓDY, L.; PRIAZHINSKAYA, V. Water Resources Management in the Face of Climatic/ Hydrologic Uncertainties. International Institute for Applied Systems Analysis. Kluwer Academic Publishers. Laxemburg, Austria, 1996.
- KJERFVE, B. Manual for Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems. New Dehli, UNESCO/ UNDP. 1990, 79p.
- KJERFVE, B.; SCHETTINI, C. A. KNOPPERS, B.; LESSA, G. & FERREIRA, H. O. Hydrology and Salt Balance in a Large, Hyposaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 42: 701-725, 1996.
- KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G. T. M.; FELLIPPO, A. M. & QUARESMA, V. S. Oceanographic Characteristics of an Impacted Coastal Bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Res.*, 17(13):1609-1643, 1997.
- KUNDZEWICZ, Z., and SOMLYÓDY, L. Climate Impact on Water Resources: A Systems View, WP-93-30, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. 1993.
- LABOHIDRO, *Estudos Bioecológicos nos Estuários dos Rios Anil e Bacanga - Ilha de São Luis-*

MA. 1980. (Relatório parcial).

MENDIONDO, E. M.; MARTINS, E. S. P. R. & BERTONI, J. C. Gestão das Incertezas hidrológicas no auxílio às políticas hídricas para o manejo integrado de Bacias. In: *XIX Congresso Nacional del Água*, Villa Carlos Paz, Córdoba, 2002.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M. & KJERFVE, B. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. São Paulo, SP. Edusp, 2002. (Acadêmica, 42).

MEDEIROS, C. & KJERFVE, B. Hydrology of a Tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sc.*, 36:495-515, 1993.

OFFICE, C.B. Physics of Estuarine Circulation. In: *Ketchum, B. H. (ed.). Estuaries and Enclosed Seas*. Amsterdam, Elsevier, 26, pp. 15-41, 1983 (Ecosystems of the World).

PRITCHARD, D. W. Estuarine Circulation Patterns. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng.*, 81(717)1-11, 1955.

SIQUEIRA, A.M.F. *Efeitos da Poluição por efluentes domésticos e industriais sobre o rio Anil*. Monografia. Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 1987.