

DISTRIBUIÇÃO TERMOHALINA E CARACTERIZAÇÃO DAS MASSAS D'ÁGUA NO ESTUÁRIO POTENGI – RN

Eugênio Pires Frazão¹ ; Helenice Vital².

¹M.Sc. em Geodinâmica e Geofísica, Doutorando do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Universitário, C.P. 1596, Natal, RN, CEP 59072-970;

Fone: +55 21 215-383; Bolsista ANP/PRH-22; e-mail: epfrazao@yahoo.com.br

²D.Sc. em Geologia Marinha e Sedimentologia, Professora do Departamento de Geologia e do Programa de Pesquisa e Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica, UFRN, Natal, RN, Brasil; Pesquisadora do CNPq;

e-mail: helenice@geologia.ufrn.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a distribuição termohalina e caracterização das massas d'água no Estuário Potengi, no estado do Rio Grande do Norte, através da análise dos dados coletados com o CTD. A interpretação dos parâmetros físicos da água permitiu uma classificação mais precisa e confiável para o Estuário Potengi, além da identificação dos processos físicos e das principais forçantes responsáveis pela dinâmica estuarina. Como resultados verificou-se que a área estudada segue o modelo de variação de temperatura e salinidade de uma região de baixa latitude, onde a presença das águas oceânicas, com salinidade média de 36 psu, foram registradas até 8.4 km de distância da costa. Os altos valores de salinidade estão relacionados à baixa descarga dos rios Potengi e Jundiá, bem como a fatores climáticos (alta evaporação, baixa precipitação e ventos) e oceanográficos (marés e turbulência).

ABSTRACT

This work presents a study about the thermohaline distribution and characterization of the water masses in the Potengi Estuary, in the Rio Grande do Norte State, through the analysis of the data collected with the CTD. The interpretation of the water physical parameters has allowed a more accurate and trustworthy classification for the Pontegi Estuary, as well as it can identify the main physical processes responsible for the estuarine dynamics. As results, it is shown that the studied area follows the pattern of temperature and salinity variation for a low latitude region, where the sea water presence, with 36 psu mean salinity, were recorded as far as 8.4 Km from the coast. The salinity high values are related to the low discharge of the Potengi and Jundiá rivers, as well as to climatic (high evaporation, low rainfall and winds) and oceanographic (tides and turbulence) factors.

Palavras-Chave: estuário, estrutura termohalina, massas d'água.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas estuarinos vêm sendo amplamente estudados em todo o mundo, à medida em que se aprofundam os estudos acerca de estuários, a sua definição e critérios de classificação são modificados, tornando-se mais complexos, dependendo quase sempre das características como salinidade, processos físicos atuantes (ondas e/ou marés), modo de formação da bacia, padrão de circulação estuarina ou mecanismos físicos deposicional dominante.

Os parâmetros de temperatura e de salinidade foram correlacionados com a análise integrada de dados oceanográficos e meteorológicos na região, os quais relevantes para a captura sustentável dos recursos vivos existentes. As estruturas térmicas e salinas são consideradas como um suporte para a vida do ambiente marinho, e Costa (1991), destaca que o conhecimento destes parâmetros são requisitos básicos para todos os modelos ecológicos.

A temperatura da água exerce uma influência direta sobre os processos fisiológicos dos animais, plantas, e a atividade bacteriana, além de fatores ambientais tais como: a solubilidade dos gases, viscosidade e densidade das águas. O aumento da temperatura da água do mar pode ocasionar em muitas vezes variações do nível do mar, resultando em processos erosivos. Por outro lado, a salinidade é um parâmetro hidrológico muito importante na distribuição dos organismos de uma maneira geral, tor-

nando-se até uma barreira ecológica para os organismos considerados estenoalinos.

Este trabalho teve como objetivo caracterizar a distribuição termohalina, bem como identificar as massas d'água no Estuário Potengi e classifica-lo de acordo com os parâmetros de estratificação e circulação.

Nas regiões tropicais e equatoriais do Brasil, a circulação atmosférica é influenciada pelos ventos mais frequentes provenientes do quadrante Este, oriundos do anti-ciclone semi-permanente do Atlântico Sul. Foram, desta forma, coerentes com os dados obtidos da Estação Climatológica da UFRN - Natal, que apresentaram ventos predominantes do quadrante Este, com frequência Este-Sudeste, com velocidades médias mensais sempre em torno de 4 e 4.5 m/s.

Apesar da forte imposição das correntes de marés, as ondas geradas através de ventos representam um importante agente na dinâmica do Estuário do rio Potengi, propiciando a mistura das águas e a ressuspensão constante dos sedimentos de fundo e das margens provocando, por vezes, processos erosivos nas mesmas.

2. ÁREA DE ESTUDO

O Estuário Potengi é um dos estuários maiores do nordeste brasileiro, localizado no litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1). Tem um comprimento de 20km em direção a cidade de Macaíba, com até 5km de largura e profundidade máxima de 15m na zona do canal.

O Estuário do Potengi apresenta um regime de mesomaré,

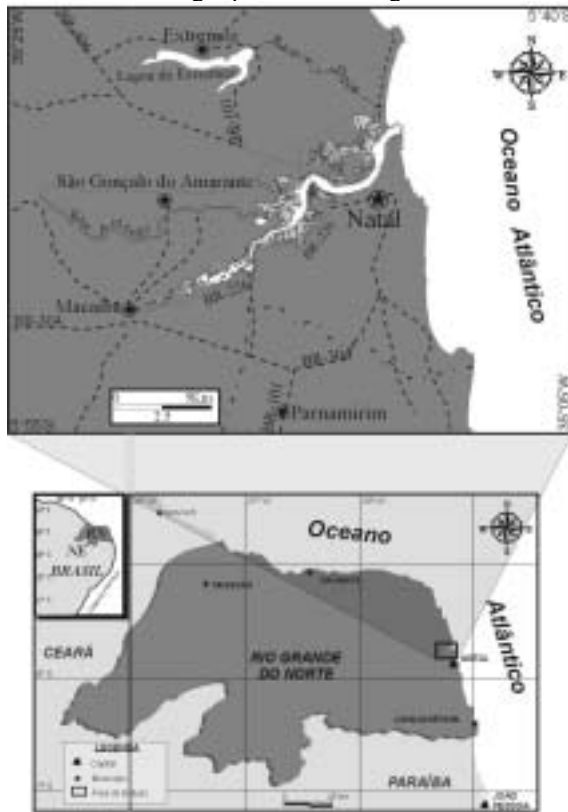


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

3. METODOLOGIA

A temperatura e, principalmente, a salinidade são as propriedades hidrográficas que necessariamente devem ser medidas durante um experimento num sistema estuarino. A salinidade é de fundamental importância não somente pelo fato de seu gradiente longitudinal gerar movimentos estuário acima, como também para classificá-lo de acordo com o critério da estratificação da salinidade e com o diagrama estratificação-circulação.

As medições de temperatura e salinidade em função da profundidade foram obtidas a partir de campanhas de campo no período de 21 a 23 de novembro de 2002, durante um ciclo de maré (13 horas) de sizígia. Nesta etapa, os trabalhos foram conduzidos em 6 estações fixas no canal principal do rio Potengi, onde foram coletados e medidos os dados “*in situ*” a cada hora (Figura 2), mediante uma perfilagem vertical contínua utilizando-se um CTD (*Conductivity-Temperature-Depth*) modelo 108 MkIII da VALEPORT e um CTD modelo 3231 da AANDERAA, permitindo uma precisão de cinco centésimos de grau Celsius (0.05°C), de condutividade (0.075mS/cm) e de salinidade (0.04ppt), ambos compostos por sensores de condutividade, temperatura, salinidade e pressão.

recebendo a descarga fluvial dos rios Potengi e Jundiá.

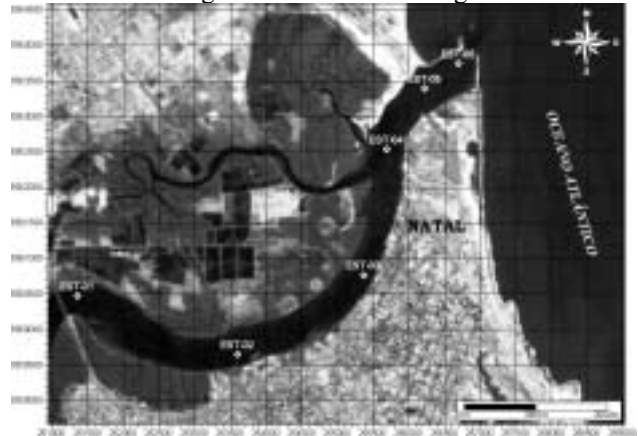


Figura 2 - Localização das estações fixas ao longo do canal estuarino do rio Potengi.

4. CLASSIFICAÇÃO DO ESTUÁRIO POTENGI

O método mais confiável e preciso de classificação do Estuário Potengi, foi o diagrama cartesiano ortogonal, denominado Diagrama Estratificação-circulação, deduzido por Hansen & Rattray (1966) e considerado por vários autores (Dyer (1986, 1997); Officer (1976); Pritchard (1989); dentre outros) como o melhor método para a classificação dos estuários. Seus fundamentos teóricos foram confirmados com a introdução de parâmetros alternativos por Fischer (1972); Prandle (1985) e Scott (1993).

Os eixos coordenados desse diagrama são dois números ou parâmetros adimensionais: o parâmetro estratificação ($\delta S/S$), onde $\delta S = S_f - S_s$ é a diferença entre os valores estacionários das salinidades de fundo (S_f) e de superfície (S_s) e S é o valor estacionário da salinidade média na coluna de água, e o parâmetro circulação determinado pela razão u_s/u_f , onde u_s é o valor da corrente residual na superfície. Quando a descarga fluvial não é adequadamente conhecida, em vez de (u_f) utiliza-se o valor médio (no espaço e no tempo) da salinidade na coluna de água $\langle u \rangle$, definida formalmente por $[\langle u \rangle = (1/h) \int (1/\Delta t) \int (u dt) dz]$, com Δt igual a um ou mais períodos de maré.

Para aplicação do Diagrama Estratificação-circulação no Estuário Potengi (Figura 3), considerou-se uma homogeneidade lateral ao longo do canal estuarino. Sendo assim, as quantidades S_f , S_s , S , u_s e u_f (ou u) que definem os parâmetros estratificação e circulação foram independentes do tempo e calculados como valores médios durante intervalo de tempo de 2 ciclos completos de maré.

Observa-se que a classificação do canal estuarino do rio Potengi neste diagrama (Figura 3) e do tipo 2 (parcialmente misturado), enquadrando-se no diagrama como do Tipo 2a (moderadamente estratificado) durante a fase de sizígia, com o balanço de sal dominado pelos processos advectivo e dispersivo. Além desses processos, ocorre o efeito de turbulência de maré que destrói a interface da cunha salina, produzindo um gradiente de salinidade que se faz do leito do rio para a superfície da água, por mecanismos de advecção e difusão com base na salinidade e densidade da água.

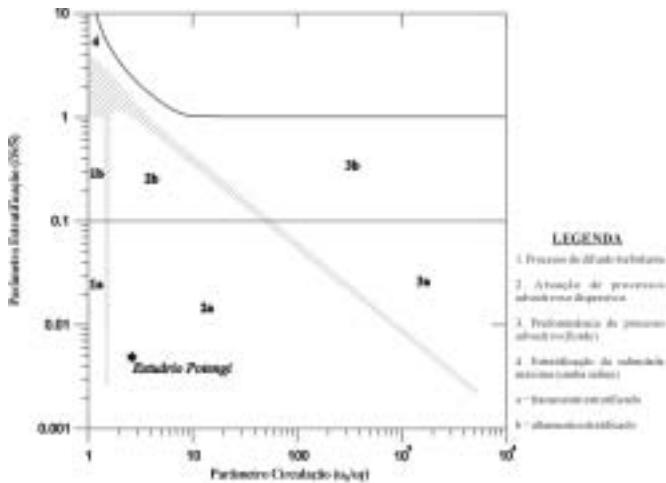


Figura 3 - Diagrama Estratificação-circulação proposto por Hansen & Rattray (1966) classificando quantitativamente o Estuário Potengi, durante a fase de maré de sizígia, em que a estratificação é representada pela média da estratificação vertical da coluna d'água, em que o valor de 0.1 indica a transição entre a e b, adotado por conveniência.

A energia da maré envolvida nesse processo deve ser suficientemente grande para realizar trabalho tanto contra o atrito nos limites geométricos do estuário, quanto contra a ação estabilizadora do empuxo, produzindo turbulência interna. Os vórtices turbulentos gerados terão a sua energia dissipada realizando trabalho contra as forças estabilizadoras de empuxo, ocasionando a erosão dos gradientes verticais de salinidade por meio da mistura entre a água doce e a água do mar. Em conseqüência, a energia potencial da coluna de água aumenta devido ao aumento da salinidade (densidade) da camada superficial. Para que a camada acima da haloclina transporte um volume de água igual ao descarregado pelo rio, ele deve aumentar consideravelmente. Simultaneamente, o transporte de água do mar estuário acima nas camadas mais profundas também aumenta, desenvolvendo-se um movimento em duas camadas e de sentidos opostos.

Sendo assim como o movimento das marés é importante dentro do estuário, os fenômenos de turbulência provocam mistura de água na vertical. Este fenômeno favorece a diluição das águas junto ao fundo e cria um gradiente de salinidade para montante. A interface entre os escoamentos de sentidos opostos torna-se progressivamente mais profunda até ao ponto onde o escoamento de fundo se anula. Para montante deste ponto o escoamento faz-se na totalidade em direção à foz do estuário, embora possa apresentar oscilações devido à ação da maré.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados levantados neste trabalho para o estuário do rio Potengi demonstraram que a temperatura da água e suas oscilações são independentes da ação das marés.

Comparando-se as curvas de variação horária da temperatura da água com as curvas de temperatura do ar para os dias correspondentes, nota-se que estas temperaturas apresentam valores relativamente próximos, todavia com defasagens horárias. Enquanto os valores de temperatura máxima do ar situam-se em torno de 26.5-28.5°C, os valores de temperatura máxima de águas

de temperatura máxima de águas dificilmente alcançam valores acima de 28.6°C. Então, conclui-se que a temperatura superficial d'água está diretamente relacionada com a temperatura do ar, ou seja, apresenta um aumento, junto com o aumento da temperatura do ar, sendo assim o calor oriundo da insolação é melhor dissipado nos momentos de baixa-mar quando a lâmina d'água é menor.

A estratificação térmica das águas do estuário se estabelece dentro de uma faixa de temperatura de no máximo 0.8°C entre a superfície e o fundo, podendo variar mais amplamente com o horário e a profundidade do local. Essa estratificação térmica se acentua principalmente no período vespertino e no início da manhã. Durante a noite a partir das 21 horas pode haver uma inversão térmica da estratificação, quando a temperatura das águas superficiais mostra-se menor que a do fundo.

No Estuário Potengi, quando a baixa-mar coincide com o horário no qual ocorrem as temperaturas máximas do ar, geralmente entre 12-15 horas, a temperatura das águas alcança seu valor máximo.

A distribuição dos parâmetros físicos na água fluvio-estuarina do Potengi, apresentaram pequenas variações em suas condições hidrológicas, altas temperaturas e salinidade, com características típicas de regiões oceânicas de baixas latitudes, sem influência de águas fluviais, sendo estas as mesmas condições verificadas por Frazão *et al.* (2001) na Plataforma Continental adjacente à foz do rio Mearim.

Com relação à distribuição vertical da temperatura no perfil estudado (Figura 4), foi observada no Estuário Potengi, uma distribuição bastante uniforme, sem variações térmicas, podendo-se relacionar este fato ao processo de turbulência da água, o qual produz a distribuição do calor por toda a massa d'água.

Porém, em direção à foz foi verificada uma diminuição de temperatura em toda a coluna d'água, isto está diretamente relacionado ao gradiente do fundo estuarino do rio Potengi, onde as zonas com menor coluna de água e maior concentração de material em suspensão, são influenciados pelas altas insolações diárias acarretando os altos valores de temperatura (Figura 4).

As medidas realizadas no Estuário Potengi, dentro dos objetivos deste trabalho, mostram que a salinidade obtida a partir da condutividade varia de acordo com a maré, onde os picos de salinidade ocorrem acompanhando as estofas de preamar.

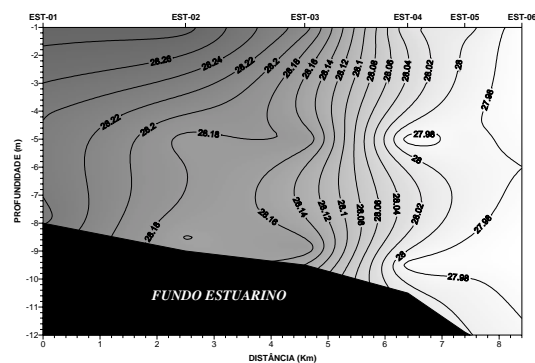


Figura 4 - Distribuição vertical da temperatura ao longo do canal estuarino do rio Potengi.

A Figura 5 mostra a distribuição vertical da salinidade durante a maré de sizígia apresentando-se parcialmente estratificada, com uma variação de 4.86psu (mínimo de 32.57psu e máximo de 37.43psu) com uma média de 36.32psu, ocorrendo um aumento em direção à foz; a distribuição da concentração deste parâmetro é controlada principalmente pela pequena descarga de água doce proveniente dos rios Potengi e Jundiá. Demonstrando que na região estudada, ocorre somente a predominância de águas oceânicas em toda a coluna d'água, o que está relacionado com a menor influência fluvial.

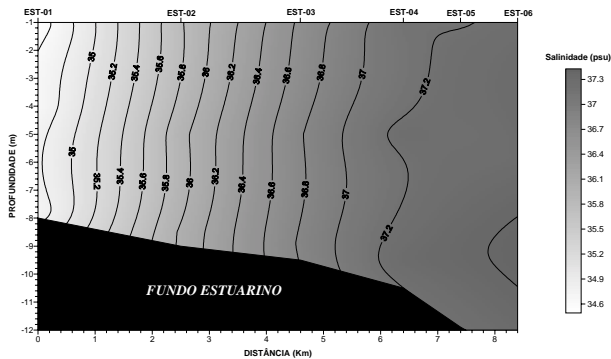


Figura 5 - Distribuição vertical da salinidade ao longo do canal estuarino do rio Potengi.

No Estuário Potengi a densidade superficial e do fundo é diretamente proporcional ao valor de salinidade superficial e de fundo, independente da variação horária.

A Figura 6 mostra a distribuição vertical de densidade, sendo possível verificar-se que, no Estuário Potengi, os altos valores de salinidade coincidiram com valores elevados de densidade. Notando-se com isto, que a salinidade está influenciando mais fortemente a distribuição da densidade, do que a temperatura na área em estudo.

A temperatura e a salinidade das massas de água estuarinas respondem mais rapidamente aos processos de advecção e difusão turbulenta do que às trocas de calor sensível e latente, evaporação e precipitação (processos de interação ar - mar) através de sua superfície livre. Sendo assim, embora os campos dessas propriedades apresentem variabilidades temporais devido a outras forçantes, predominam os processos de advecção e de difusão turbulenta para alterar localmente a concentração de calor e de sal. Nessas condições, pode existir uma concentração bem definida no Diagrama T-S, desde que sejam utilizados todos os pares (S,T) amostrados na coluna de água em experimentos conduzidos durante ciclos completos e consecutivos de maré. O Diagrama T-S do conjunto de todos os pares (S,T) assim amostrados é denominado Diagrama T-S espalhado, podendo ser utilizado como diagrama de mistura para identificar se a zona de maré no rio, a zona de mistura ou a região costeira adjacente apresentam fontes ou sumidouros de calor.

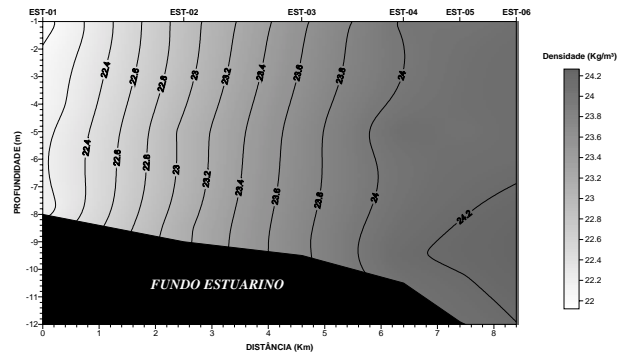


Figura 6 - Distribuição vertical da densidade ao longo do canal estuarino do rio Potengi.

O Diagrama T-S do canal estuarino do Potengi (RN) com os dados hidrográficos amostrados durante um ciclo de 13 horas de maré de sizígia, a 8.4 Km da foz, mostra um pequeno espalhamento da massa de água estuarina. Nesse diagrama (Figura 7), foi identificada apenas a presença de uma massa d'água costeira (AC) ou de mistura ao longo do estuário entre a Ponte do Igapó e a foz.

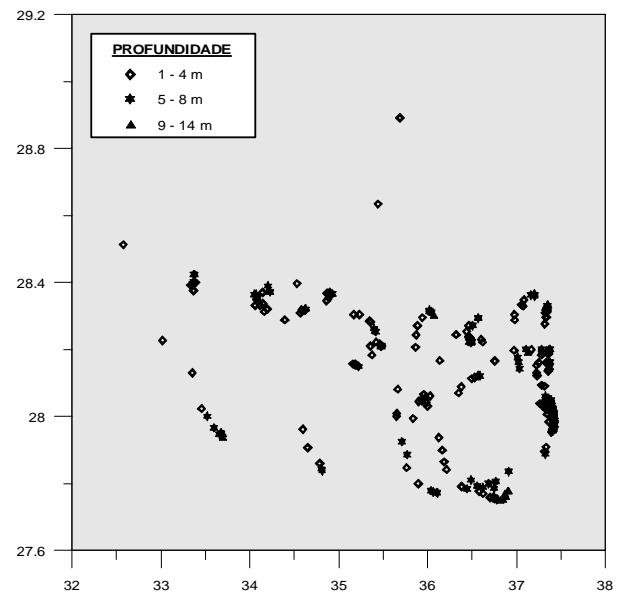


Figura 7 - Diagrama T-S espalhado do rio Potengi, mostrando apenas um agrupamento que caracteriza a Massa de Água Costeira (AC).

6. CONCLUSÕES

As águas superficiais do Estuário Potengi e áreas oceânicas adjacentes, mesmo em condições de ventos fracos, caracterizam um sistema relativamente agitado, sobretudo pela ação das correntes de marés, com alta frequência de ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento.

O processo de mistura das águas marinhas e fluviais faz-se através da interação entre maré, descarga fluvial e ação das ondas. Os gradientes de salinidade gerados pela mistura controlam a distribuição vertical e longitudinal da densidade do fluido, uma vez que as diferenças de temperatura apresentaram-se pouco significativas. A variação da distribuição da

densidade provoca importantes correntes residuais que poderão dominar os processos de circulação estuarina.

A temperatura da água no estuário constitui um fator controlador para a vida e para os processos químicos que se realizam no ambiente aquático. É responsável, ainda, pela determinação dos padrões, que controlam as taxas de metabolismo e crescimento do fitoplâncton que representam a base de toda a cadeia ecológica. Na área estudada, a distribuição superficial da temperatura é típica de regiões de baixa latitude, apresentando uma camada homogênea, bem misturada, com temperatura média de 28°C.

A salinidade das águas estuarinas do rio Potengi apresentou uma distribuição superficial, diretamente influenciada pelos fatores climáticos (evaporação, precipitação, ventos, maré e turbulência). Com relação à distribuição da densidade das águas do Estuário Potengi, foi possível observar que a salinidade está influenciando mais fortemente a distribuição da densidade do que a temperatura na região estudada.

No presente trabalho verificou-se que a área estudada segue o modelo de variação de temperatura e salinidade de uma região de baixa latitude, onde a presença das águas oceânicas, com salinidade média de 36 psu, foram registradas até 8.4 km de distância da costa. Os altos valores de salinidade estão relacionados à baixa descarga dos rios Potengi e Jundiá, bem como a fatores climáticos (alta evaporação, baixa precipitação e ventos) e oceanográficos (maré e turbulência).

O Diagrama Estratificação-circulação mostrou-se a mais completa e compreensiva solução analítica de um modelo bidimensional estacionário com geometria simples. Esse diagrama, possibilitou a obtenção também a parcela relativa do fluxo de sal estuário acima, atribuído ao processo de difusão turbulenta (dispersão) e à correspondente contribuição do processo advectivo, os quais, por sua vez, controlam a distribuição da concentração de substâncias dissolvidas.

A classificação do Estuário Potengi foi importante, pois em casos de dispersão de poluentes como os derivados do petróleo, torna-se indispensável saber dentre os processos dispersivo e advectivo qual é o dominante, ou qual a combinação aplicável desses processos na hidrodinâmica estuarina.

Como o Estuário Potengi foi classificado como parcialmente misturado ou do Tipo 2, de acordo com o diagrama estratificação-circulação, o processo de mistura das águas do rio Potengi com poluentes derramados como o óleo, ocorre através do entranhamento, advecção e difusão turbulenta. Assim, em casos de derramamento de óleo no Estuário Potengi e áreas adjacentes, um fator agravante na mistura do óleo ao longo da coluna d'água seria o efeito da difusão turbulenta gerada pela maré que desempenharia um papel importante nos processos de mistura da massa de água estuarina com o efluente derramado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a ANP, pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor, através do Programa de Recursos Humanos-PRH-22; aos Projetos (TRANSPETRO-CENPES/PETROBRAS) e PETRORISCO (FINEP/REDE05/CTPETRO/CNPq) pelo suporte financeiro

e a Marinha do Brasil (CPRN) por ter cedido os meios flutuantes para elaboração deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DYER, K.R. (1986). *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics*. New York, Wiley, 342 p.
- DYER, K.R. (1997). *Estuaries: A Physical Introduction*. 2 ed., Chichester, Wiley, 195 p.
- COSTA, K.M.D. (1991). Hidrobiologia e Biomassa Primária da Região Nordeste do Brasil entre as latitudes de 8°00'00'' e 2°44'30'' S e as longitudes de 35°56'30'' e 31°48'00'' W. Dissertação Mestrado a Oceanografia Biológica da UFPE. Recife, 217p.
- FISHER, H.B. (1972). Mass Transport Mechanisms in Partially Stratified Estuaries. *J. Fluid Mech.*, 53:672-687
- FRAZÃO, E.P.; SANTOS, M.L.S. & EL-ROBRINI, M. (2001). Estudo da Temperatura, Salinidade e Massas D'Água na Plataforma Continental do Maranhão e Área Oceânica Adjacente. In: SBG / Núcleo Nordeste, Simpósio de Geologia do Nordeste, 17, Natal, Atas, 31-32.
- HANSEN, D.V. & RATTRAY, JR M. (1966). New Dimensions in Estuary Classification. *Limnol. Oceanogr.*, 11(3):319-325
- OFFICER, C.B. (1976). *Physical Oceanography of Estuaries (and Associated Coastal Waters)*. New York, Wiley, 465 p.
- PRANDLE, D. (1985). On Salinity Regimes and the Vertical Structure of Residual Flows in Narrow Tidal Estuaries. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 20:615-635
- PRITCHARD, D.W. (1989). Estuarine Classification - A Help or a Hindrance. In: Neilson B.J., Kuo A. & Brukaka J. (eds.). *Estuarine Circulation*. Clifton, Humana, 1-38 p.
- SCOTT, C.F. (1993). Canonical Parameters for Estuarine Classification. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 36:529-540