



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA**

**PRINCIPAIS FORÇANTES DA EVOLUÇÃO E DISPERSÃO DA PLUMA DO RIO
DOCE – ES – BRASIL**

MARCUS VINICIUS ALVES PINHEIRO

FORTALEZA

2014

MARCUS VINICIUS ALVES PINHEIRO

**PRINCIPAIS FORÇANTES DA EVOLUÇÃO E DISPERSÃO DA PLUMA DO RIO
DOCE – ES – BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres
Teixeira

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Rui Simões de Menezes

P721p Pinheiro, Marcus Vinicius Alves.

Principais forçantes da evolução e dispersão da pluma do Rio Doce - ES - Brasil /
Marcus Vinicius Alves Pinheiro – 2014.

42 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso Bacharelado em Oceanografia, 2014.

Orientação: Prof^o. Dr^o. Carlos Eduardo Peres Teixeira.

1. Marés. 2. Ventos. I. Título.

CDD 551.464

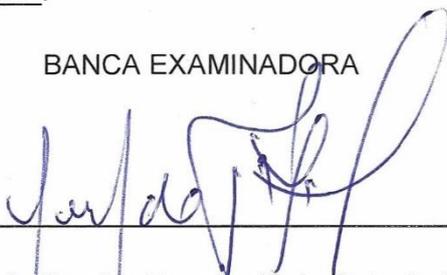
MARCUS VINICIUS ALVES PINHEIRO

**PRINCIPAIS FORÇANTES DA EVOLUÇÃO E DISPERSÃO DA PLUMA DO
RIO DOCE – ES – BRASIL**

Monografia submetida ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: 26/11/2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira (Substituto do Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Drª Maria Ozilea Bezerra Menezes

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Msc. Samuel Soares Valentim

Universidade Federal do Ceará (UFC)

FORTALEZA

2014

“Ao vinho, que molha e tempera os espíritos e acalma as preocupações da mente, que reaviva nossas alegrias e é o óleo para a chama da vida que se apaga. Ao bebê-lo moderadamente em pequenos goles de cada vez, o vinho gotejará em nossos pulmões como o mais doce orvalho da manhã. Assim, então, o vinho não viola a razão, mas sim nos convida gentilmente a uma agradável alegria.”

(Adaptado de Sócrates)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família que a cada pequeno gesto me permitiu construir o caminho no qual sigo e espero continuar trilhando durante a minha vida.

Agradeço a minha vó, Miramar Batista Alves, que com seu sacrifício diário ao longo dos seus árduos anos de vida se tornou a rocha que sustenta meu lar e minha vida e serviu como um licor de inspiração para minhas realizações.

A minha mãe, Regina, e minha irmã, Mary, que me auxiliam de forma imprescindível, ajudando-me a seguir construindo meu futuro.

Agradeço aos meus amigos do PET/Oceanografia-UFC ao longo desses intercalados, porém agradáveis, 2 anos de experiências através dos quais pude amadurecer profissionalmente e pessoalmente, especialmente aos colegas PP, Gabi, Analu, Matheus, Edie, Camenis e Victor.

Aos meus colegas Andrey, Daysi e Rhayan que nos últimos momentos de produção desse trabalho foram de vital importância através do apoio moral e companhia que me ofereceram.

As minhas amigas Lia e Mika que tanto estimo e tenho como inspiração para mostrar ao mundo o que sou em todas minhas camadas humanas e que nada ou ninguém nos prenda a esse padrão normativo, limitado e opressor que se observa na nossa contemporaneidade.

Aos meus amigos que adquiri durante esses longos e instantâneos anos de Oceanografia: Madson, Jota, Prih, Vanessa, MP, Larinha, Nathy, Ilana, Sália, Suricato, Ítalo e Augusto que me proporcionaram bons e agradáveis momentos com o passar desse tempo.

As minhas colegas Rios, Thaysa, Nay, Gabrielle, Andressa e Carol que participaram de forma tão memorável em um ótimo momento da minha vida contribuindo com sua amizade, carinho e companheirismo.

A nossa Exm.^a Sr.^a Presidenta Dilma Rousseff, que particularmente me refiro como “Dilmãe”, por permitir que ocorra a mudança das classes sociais menos abastadas da nossa população através do acesso à educação e que possamos cada vez mais ter a oportunidade de caminhar para um país igualitário.

À Prof. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes, tutora do PET/Oceanografia-UFC, pelos conselhos e colaborações ao longo da minha vida acadêmica.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Peres Teixeira, meu orientador, pela amizade, paciência e conselhos durante minha graduação.

“Science is a differential equation.
Religion is a boundary condition.”

(Alan Turing)

RESUMO

O transporte de materiais no sentido continente/oceano é representado principalmente por ação de plumas que se diferenciam por características de densidade, influenciada pela salinidade e temperatura de suas águas. Visando identificar o efeito de forçantes como maré, vento e vazão sobre a dispersão da pluma do Rio Doce foram desenvolvidos cenários com diferentes padrões de combinação dessas variáveis. A utilização do modelo Delft3D permitiu a simulação de cenários idealizados de vazão média, vazão média do verão e com episódios de vazão com a atuação de ventos de verão, e outros dois com vazões médias, havendo em um a atuação de ventos de inverno e outro onde não há ocorre o efeito dos ventos. Identificou-se que o vento tem um importante papel no condicionamento da direção da pluma, favorecendo a um aprisionamento da mesma sobre a plataforma adjacente a área de descarga do rio, durante o período do inverno, e dispersando a pluma na direção oceânica, em condições de verão, em concordância com o transporte descrito na Teoria de Ekman, além de ser a forçante mais importante na mistura vertical da pluma. A vazão demonstrou-se responsável pela extensão da pluma gerada pelo rio fazendo com que a distância onde se percebem os efeitos do Rio Doce, estivesse diretamente relacionada com a sua variação. Com o modelo Delft3D foi possível caracterizar os padrões de dispersão da pluma do rio sob condições idealizadas de vento, maré e descarga fluvial de forma a subsidiar informações para futuros processos de gestão ambiental.

Palavras-chave: Plumias. Modelagem Numérica. Rio Doce. Delft3D

ABSTRACT

Buoyancy plumes represent the major mechanism of continent/ocean materials transport. These plumes affect the adjacent areas by their density, which is determined by salinity and temperature. In order to identify the effect of tides, wind and discharge on the dispersion of Doce River different scenarios were simulated with configuration of distinct patterns of these forcings. Delft3D Model developed the simulations used in this study. Were used a range of scenarios in which the wind direction and intensity changes between summer and winter although the discharge is maintained., a scenario where there is no effect of the winds and another two that consider the summer wind effect on situations of summer mean discharge and a condition affected by a maximum discharge. The wind has major role on the dispersion direction of the plume. During the winter was observed a constriction of the plume against the continent, but in the summer the plume presents an *offshore* transport, these results agree with Ekman's Theory in the change direction of fluid transport. Besides the wind shows an important role in the vertical mixing of the water column. The discharge present a major role in the extension of the plume, the increasing of your values causes a larger plume over the continental shelf. The Delft3D was capable of describe dispersion patterns to the plume of Doce River under distinct conditions of forcings as tides, winds and river discharge. This study could be helpful to future environmental management directions to the region.

Keywords: Plumes. Numerical Modelling. Doce River. Delft3D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da grade desenvolvida para a modelagem da dispersão da pluma do Rio Doce.....	19
Figura 2 – Localização dos pontos de observação. Ponto Vermelho – Porto de Regência. Ponto Azul – Porto de Tubarão.....	21
Figura 3 – Localização dos perfis verticais. Ponto Vermelho – Ponto inicial do perfil da desembocadura (19° 59' W; 39° 83' S); Ponto Azul – Origem do ponto ao sul da desembocadura (19° 71' S; 39° 83' W)	25
Figura 4 – Previsões do Nível do Mar obtidas pelo modelo e dados do Porto de Regência.....	26
Figura 5 – Previsões do Nível do Mar obtidas pelo modelo e dados do Porto de Tubarão.....	27
Figura 6 – Representação da dispersão da pluma do Rio Doce em diferentes condições de vento. (a) Esquerda – Não há presença de ventos. (b) Centro – Ventos de Inverno (Direção de Sudeste). (c) Direita – Ventos de Verão (Direção de Nordeste).	28
Figura 7 – Perfil de Salinidade na seção sul para as seguintes condições. (a) Esquerda – Vazão média sem ventos. (b). Centro – Vazão média e ventos de inverno (Direção de Sudeste). (c) Direita – Vazão média e ventos de verão (Direção de Nordeste). ..	29
Figura 8 – Dispersão Horizontal para 3 cenários de descarga fluvial em condições de ventos de verão (Direção de Nordeste). (a) Esquerda - Vazão Média. (b) Centro - Vazão característica do Verão. (c) Direita - Ocorrência de Vazões Máximas.	31
Figura 9 – Seções verticais de salinidade localizados no ponto (lat, lon) ao sul da região de desembocadura do Rio Doce. (a) Esquerda - Vazão média. (b) Centro - Vazão característica de verão (c) Direita - Ocorrência de vazões máximas.	32
Figura 10 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vazão média e ventos de verão.	34
Figura 11 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vento e vazão característicos do verão.	34
Figura 12 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vento e vazão característicos do verão com ocorrência de evento de vazões máximas.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Área de estudo.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Geral	15
2.2 Específicos.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Delft Dashboard	16
3.2 O Modelo Delf3D.....	16
3.3 Bancos de Dados.....	17
3.3.1 Batimetria.....	17
3.3.2 Maré.....	17
3.3.3 Vazão.....	18
3.3.4 Ventos.....	18
3.4 Configurações do Modelo	18
3.4.1 A Grade	18
3.4.2 Condições Iniciais	19
3.4.3 Condições de Contorno	20
3.4.4 Configurações Temporais.....	20
3.4.5 Pontos de Observação	21
3.4.6 Pontos de Descarga	22
3.5 Cenários.....	22
3.5.1 Cenário 1 – Vazão Média + Maré (Q_m+m)	22
3.5.2 Cenário 2 – Vazão Média + Ventos de Inverno (Q_m+V_i)	22
3.5.3 Cenário 3 – Vazão Média + Ventos de Verão (Q_m+V_v)	23
3.5.4 Cenário 4 – Vazão de Verão + Ventos de Verão (Q_v+V_v).....	23
3.5.5 Cenário 5 – Descarga Máxima + Ventos de Verão ($Q_{max}+V_v$).....	23

3.6 Análises das Forçantes.....	24
3.6.1 Efeitos dos Ventos e das Marés	24
3.6.2. Efeito da Vazão.....	24
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1 Validação	26
4.2 Análises das Forçantes.....	28
4.2.1 Efeito dos Ventos e da Maré.....	28
4.2.2 Efeito da Vazão.....	31
5. CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

Estuários são zonas de transição crítica que conectam continentes, sistemas de água doce, salgada e organismos apresentando uma alta complexidade espacial e temporal devido sua mistura de águas doces e salinas, além de serem sistemas de alta produtividade, utilizados por uma gama variada de organismos (BECK *et al.* 2001). Em contrapartida à sua importância ecológica, é um dos habitats da Terra que mais sofrem com a degradação humana (EDGAR *et al.*, 2000; BLABER, 2002).

Através dos processos de circulação na zona estuarina é que se transporta o material continental às zonas costeiras. Geralmente este processo de troca ocorre com a formação de plumas que se diferenciam em razão das suas características de densidade, com um fluido mais leve se deslocando sobre um mais denso (LIU *et al.*, 2008). Essas plumas transportam sedimentos, nutrientes, materiais orgânicos e poluentes entre essas duas zonas, enquanto que no sentido oposto a esse transporte forçantes, como maré e vento, transportam suas águas em direção ao continente, afetando os processos naturais e as intervenções antrópicas nos estuários (STACEY, 1999).

No Brasil, a promulgação da Lei nº. 9.433/1997, p.2, que preconiza a gestão das bacias hidrográficas aliada aos dos sistemas estuarinos e costeiros, enfatiza o reconhecimento da importância que há entre a conectividade dos recursos hídricos continentais e costeiros.

Segundo Rosman (2001), a utilização de técnicas de modelos computacionais para estudos, projetos de pesquisa e auxílio à gestão dos recursos hídricos é imprescindível, uma vez que no estudo de plumas e estuários ocorre uma interação mútua de variáveis físicas, biológicas, químicas e geológicas que tornam o funcionamento desses sistemas muito complexo.

Pedruzzi (2011) comenta sobre vários fatores que caracterizam a forma de uma pluma, o tamanho, e a sua dispersão ao longo da coluna d'água. Dentre esses fatores podemos citar a importância local da força de Coriolis, descarga fluvial, correntes costeiras, marés e vento. No presente trabalho o modelo Delft3D será utilizado para buscar a compreensão e a importância destes fatores sobre a dispersão da pluma do Rio Doce na plataforma continental do estado do Espírito Santo.

1.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na Região Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES), localizando-se entre 17° 45' a 21° 15' S e 39° 45' a 43° 45' W, com uma bacia de drenagem com 86.715 km² de extensão, sendo 14% deste valor total, 12.140 km², pertencentes ao estado de ES (PIRH, 2010).

O regime hidrológico/fluvial dessa bacia é perene e bem definido acompanhando a pluviosidade. A estação chuvosa da bacia do Rio Doce normalmente se inicia em novembro prolongando-se até o mês de maio, caracterizando um período de cheia, enquanto durante o período de junho a setembro, é observado um período de seca (COELHO, 2007).

Sua desembocadura está localizada na plataforma continental sudeste brasileira no estado do Espírito Santo. Possui um regime subequatorial, com vazões máximas entre o período de novembro a abril (~1244 m³.seg⁻¹) e mínimas entre o período de maio a outubro (~460 m³.seg⁻¹) em concordância com a pluviosidade da bacia (COELHO, 2007).

Bonni (2010) comenta sobre trabalhos realizados anteriormente no estado do Espírito Santo (BANDEIRA, *et al.* 1975; EMCAPA, 1981), nos quais são caracterizadas duas condições predominantes de ventos para a região capixaba, com uma situação onde ocorre a forte influência dos ventos alísios na área, nas direções NE-ENE, ao longo de todo o ano, e outra, na qual percebe-se uma influência forte de frentes frias soprando principalmente na direção SE.

Utilizando a classificação de Davies (1964) que caracteriza as marés de acordo com a variação entre as elevações do nível entre uma baixamar e uma preamar, podemos definir o regime de maré da região como micromaré, ou seja, percebem-se variações menores que 2 m durante os fluxos de vazante e enchente (DHN, 2014), do tipo semi-diurna e com predominância da componente harmônica semi-diurna lunar, M₂, (BONI, 2010).

A intervenção antrópica sobre a bacia data desde o período colonial, impulsionado pela mineração, sendo intensificada após o século XX, com a modernização das vias de transporte, que possibilitou o aumento e diversificação de atividades extratoras ao longo de seu curso, devido à facilidade no escoamento da produção, resultando em impactos como desmatamento, erosão dos solos e

assoreamento de rios e córregos (COELHO, 2007), sendo toda essa problemática mais intensa na região do baixo curso do Rio Doce (PIRH, 2010).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- Compreender as principais forçantes da dispersão da pluma gerada pelo Rio Doce na sua região de desague.

2.2 Específicos

- Analisar o efeito da descarga fluvial no desenvolvimento da pluma ao longo da plataforma continental adjacente a área de desague do rio;
- Observar o efeito da direção do vento e do regime de marés da região estudada sobre a dispersão horizontal da pluma e sua mistura na coluna d'água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delft Dashboard

É um programa autônomo que trabalha em conjunto com o software Matlab através de uma interface gráfica que objetiva auxiliar no desenvolvimento de novos modelos ou até mesmo na reconfiguração de modelos pré-existentes.

O *Delft Dashboard* está acoplado ao *Deltares (Delf3D Modelling Suite)*, permitindo que dados obtidos através da sua utilização sejam empregados em outros modelos, como por exemplo, o Delft3D-FLOW.

3.2 O Modelo Delft3D

O modelo Delft3D, é uma criação conjunta entre a empresa *WLjDelft Hydraulics* em parceria com a *Delft University of Technology*, que se utiliza de artifícios numéricos hidrodinâmicos tridimensionais para simular situações de fluxo dinâmico, qualidade de água, geração e propagação de ondas curtas, transporte de sedimento, sal e calor (PARENTE, 2013).

Esse modelo é composto por um conjunto de módulos, os quais estão agrupados e possuem uma interface mútua facilitando a integração entre seus diversos componentes através do seu uso simultâneo. Dentre esses módulos podemos citar o Delft3D-FLOW. O Delft3D-FLOW é um programa de simulação hidrodinâmica ou transporte multi-dimensional, nas dimensões 2D e 3D, que calcula fluxos não-estacionários e fenômenos de transporte resultantes das forçantes meteorológicas e marés em uma grade, retilínea ou curvilínea, de limites definidos. Dentre algumas áreas de aplicação do Delft3D-FLOW podem ser citados a simulação de fluxos de rios, fluxos forçados por ventos e marés, fluxos forçados por densidade e estratificação, descarga de água doce em baías, transporte de materiais dissolvidos e poluentes (DELFT3D, 2013).

O Delft3D-FLOW funciona com os sistemas de equações de momento horizontal, equação da continuidade e equações de transporte para constituintes conservativos. Sua representação espacial pode ser do tipo ortogonal ou esférica,

sendo seus limites abertos para marés, em superfície para o estresse do vento, e gradientes de pressão gerado tanto por condições barotrópicas como baroclínicas. Levando em consideração as características hidrodinâmicas, o modelo Delft3D-FLOW resolve a equação de Navier-Stolkes para um fluido incompressível, sobre águas rasas e assumindo a aproximação de Boussinesq (DELFT3D, 2013).

3.3 Bancos de Dados

3.3.1 Batimetria

A aquisição dos dados de batimetria utilizados para o desenvolvimento do seguinte trabalho foi adquirida a partir do programa Delft Dashboard. Nesse programa é possível baixar dados de profundidade para sua área de estudo. A base de dados utilizada é da GEBCO 08 (*General Bathymetric Chart of the Oceans*), uma organização sem fins lucrativos que funciona sob o comando da IOC (*Intergovernmental Oceanographic Commission*) da UNESCO e IHO (*International Hydrographic Organization*), que disponibiliza dados de batimetria ao longo do globo terrestre.

3.3.2 Maré

Utilizou-se o programa *Delft Dashboard* na aquisição dos dados de maré. A base de dados utilizada por esse programa é da IHO (*International Hydrographic Organization*), uma organização intergovernamental técnica e consultiva que objetiva desenvolver e organizar uma série de atividades relacionadas ao aperfeiçoamento do conhecimento hidrográfico dos oceanos, garantindo a segurança na navegação e a proteção do meio ambiente marinho.

Foram utilizados os dados de maré dos Portos de Regência e Tubarão para aplicação do modelo. Também foram utilizados esses dois pontos para a validação do modelo.

3.3.3 Vazão

Os valores de vazão utilizados para configurar a descarga fluvial da região do modelo estão de acordo com os dados apresentados por Coelho (2007) para a estação de Colatina. A escolha dos dados de uma estação um pouco afastada da zona de real desague do rio foi influenciada pela falta de uma longa série temporal dos dados na área de estudo. Para a configuração dos diferentes cenários modelados foram utilizados os valores de vazão média do rio na estação, assim como valores médios dos períodos em que foram simulados os cenários e valores máximos de descarga do rio, dentro do período de 1939 a 2005.

3.3.4 Ventos

Para configurar as situações, nas quais existe a atuação do vento como um forçante do modelo, foram utilizados os dados obtidos por Mattiuzzi (2012) para uma região próxima a zona de estudo, no Município de Vitória – ES, onde se descreve a predominância de duas situações de intensidade e direção do vento.

A primeira é característica de inverno com velocidades médias de 4 m/s e direção predominante de 130°, e um segundo padrão associado ao verão, com valores médios de velocidade e direção de 4,35 m/s e 55°, respectivamente.

Um ponto importante da utilização dos dados de vento nos cenários desenvolvidos no seguinte estudo, é que esses dados são considerados constantes durante todo o período de modelagem, não havendo variação em sua direção ou velocidade.

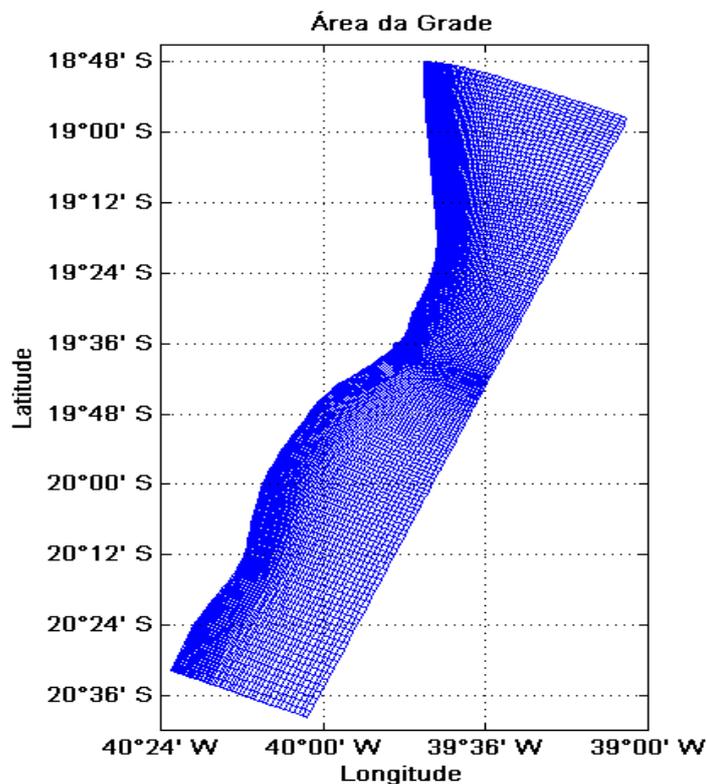
3.4 Configurações do Modelo

3.4.1 A Grade

Foi construída através de um programa que trabalha em conjunto com o Delft3D-FLOW, o RGFGRID, já que não é possível construir grades curvilíneas

através do *Delft Dashboard*. A figura 1 representa a grade utilizada para o desenvolvimento do estudo da dispersão da pluma.

Figura 1 – Localização da grade desenvolvida para a modelagem da dispersão da pluma do Rio Doce.



A utilização de uma grade ordenada curvilíneamente permite gerar uma zona com menor resolução espacial, normalmente a área de interesse do estudo, e outra com uma resolução espacial maior, geralmente localizada numa zona mais afastada da sua região de interesse.

No presente trabalho o gradiente da resolução espacial da área modelada é de 100m, na região próxima a desembocadura do Rio Doce, até valores de 1000m, na porção mais oceânica do modelo, com coordenadas esféricas e distribuída em dez níveis verticais.

3.4.2 Condições Iniciais

Em todos os cenários propostos se iniciaram com um nível do mar de zero metro e uma distribuição ao longo de toda a área modelada com uma salinidade

equivalente a 33, dessa forma valores diferentes do que foi definido para as condições iniciais tendem a ser facilmente monitorados.

3.4.3 Condições de Contorno

A grade possui 3 limites laterais, localizados na porção norte, sul e leste do modelo e um limite fechado situado na porção oeste.

Para melhor dividir esses limites e evitar erros durante o processo de modelagem esses limites foram separados em trechos menores ao longo da sua extensão total. Nas porções norte e sul foram definidos 3 trechos de extensão seguindo a batimetria da região de forma a ser limites situados na porção mais costeira, uma de profundidade média e outra na porção mais oceânica.

No limite leste foram definidos 7 trechos de extensão semelhante, sem se preocupar com o gradiente de profundidade que poderia haver entre os limites, devido estarem localizados na porção mais *offshore* do modelo.

De acordo com Parente (2013) ao longo do contorno fechado os componentes de velocidade perpendiculares são considerados zero, condição de *free slip*, e as componentes de paralelas de velocidade possuem velocidades tangenciais nulas quando estão a meio elemento de contorno, caracterizando uma condição *half-slip*.

Já as condições de contorno abertas necessitam de algum parâmetro para se tomado como parâmetro de fronteira, entre a região modelada e a zona exterior, nesse trabalho adotou-se o nível do mar como parâmetro, com valor de zero. Esse valor foi obtido através do modelo TPXO 7.2 *Global Inverse Tide Model*, que é um modelo global para definição de dados de maré.

3.4.4 Configurações Temporais

O passo de tempo estabelecido para todas as situações propostas no trabalho foi de 1 minuto, esse valor foi definido devido problemas que ocorriam entre os fluxos consecutivos em alguns pontos do grid, dessa forma necessitou-se utilizar um passo de tempo bastante reduzido para o desenvolvimento desse estudo.

A saída de arquivos de mapa foi configurada para salvar seus dados a cada 1 hora, com o volume arquivos sendo reiniciados a cada dia, dessa forma evitou-se

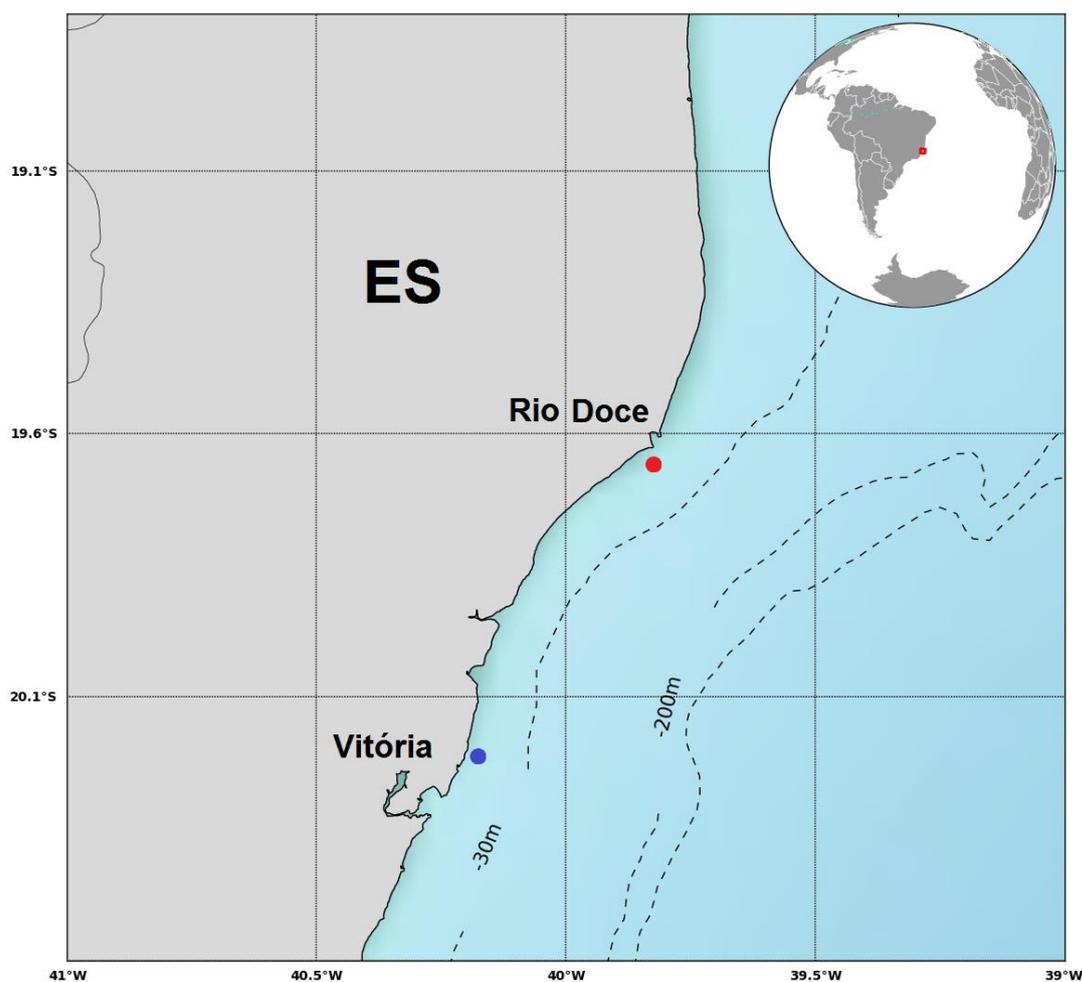
problemas com o sobrecarregamento da memória utilizada pela infraestrutura computacional oferecida pelo laboratório.

3.4.5 Pontos de Observação

No intuito de se verificar os resultados gerados pelo modelo desenvolvido escolheram-se dois pontos de observação na zona modelada para posteriormente ser feita a validação. Os pontos escolhidos são apresentados na figura 2.

Foram denominados OBS1, $19^{\circ} 64' S$ e $39^{\circ} 81' W$, o Porto de Regência representando em vermelho, e OBS2, $20^{\circ} 28' S$ e $40^{\circ} 23' W$, o Porto de Tubarão representado em azul.

Figura 2 – Localização dos pontos de observação. Ponto Vermelho – Porto de Regência. Ponto Azul – Porto de Tubarão.



Fonte: O autor.

3.4.6 Pontos de Descarga

Todos os pontos estão localizados no ponto 19° 6' S e 39° 83' E da grade do modelo, devido à proximidade entre os pontos na região de estudo. Os valores de descarga desses pontos foram configurados de maneira que da zona mais central do rio até as suas margens os seus valores de vazão associados representassem 15%, 20% e 30% da descarga total característica dos diferentes cenários que serão apresentados no próximo tópico deste trabalho.

Foi escolhido um valor idealizado de salinidade equivalente a 3 para os pontos de descarga. Esse valor de salinidade se manteve constante durante todo o período de atuação da vazão do rio.

3.5 Cenários

Foram simuladas quatro situações distintas para a dispersão da pluma gerada pelo Rio Doce. Nesses cenários foram estabelecidos diferentes valores de ventos, descarga fluvial e regime de marés.

3.5.1 Cenário 1 – Vazão Média + Maré (Q_m+m)

Nesse cenário simularam-se 31 dias submetidos a uma vazão de 920 m³/s juntamente com os dados de maré obtidos pelo *Delft Dashboard*. A vazão utilizada nesse cenário representa uma média histórica para a estação de Colatina.

3.5.2 Cenário 2 – Vazão Média + Ventos de Inverno (Q_m+V_i)

Assim como na situação anterior foram simulados 31 dias juntamente com os dados de maré obtidos pelo *Delft Dashboard* submetidos a uma vazão de 920 m³/s, com ventos de intensidade de 4 m/s e direção de 130°, esses valores de intensidade e direção dos ventos são constantes durante toda simulação.

3.5.3 Cenário 3 – Vazão Média + Ventos de Verão (Q_m+V_v)

Simularam-se 31 dias submetidos a uma vazão de 920 m³/s juntamente com os dados de maré obtidos pelo *Delft Dashboard*, e ventos com uma intensidade de 4,35 m/s e direção de 55°, ressaltando que esses valores de intensidade e direção do vento são constantes durante todo o período de simulação.

3.5.4 Cenário 4 – Vazão de Verão + Ventos de Verão (Q_v+V_v)

Simularam-se 31 dias submetidos a uma vazão de 1643 m³/s em conjunto com os dados de maré obtidos pelo *Delft Dashboard* e ventos com uma intensidade de 4,35 m/s e direção de 55°, ressaltando que esses valores de intensidade e direção do vento são constantes durante todo o período de simulação.

3.5.5 Cenário 5 – Descarga Máxima + Ventos de Verão ($Q_{max}+V_v$)

Nessa situação foram simulados 31 dias, sendo 30 dias do período de modelagem submetidos a uma vazão, característica do verão, de 1643 m³/s, e um dia com uma configuração de descarga máxima histórica de 8.678 m³/s, juntamente com os dados de maré obtidos pelo *Delft Dashboard*, e ventos característicos de verão. A escolha da condição de verão para esse cenário foi condicionada pela maior frequência de ocorrência desses valores de vazão máxima no dito período. Essa vazão máxima foi configurada para ocorrer um dia antes dos tempos utilizados nos perfis verticais de salinidade da desembocadura, tanto em período de quadratura como de sizígia. Espera-se avaliar o efeito dessa descarga máxima sobre o perfil de salinidade ao longo da desembocadura em diferentes condições de energia de maré

3.6 Análises das Forçantes

3.6.1 Efeitos dos Ventos e das Marés

Visando identificar a importância de forçantes como vento e maré na dispersão da pluma do Rio Doce foram criados mapas da dispersão horizontal da pluma nos Cenários 1, 2 e 3.

Nesses cenários existem condições em que não há o efeito do vento sobre a dispersão da pluma e outras duas simulações, nas quais ocorrem direções e intensidades características de inverno e verão.

Também foram realizadas seções verticais para todos os cenários descritos nesta seção a partir do ponto, 19° 71' S e 39° 83' W.

3.6.2. Efeito da Vazão

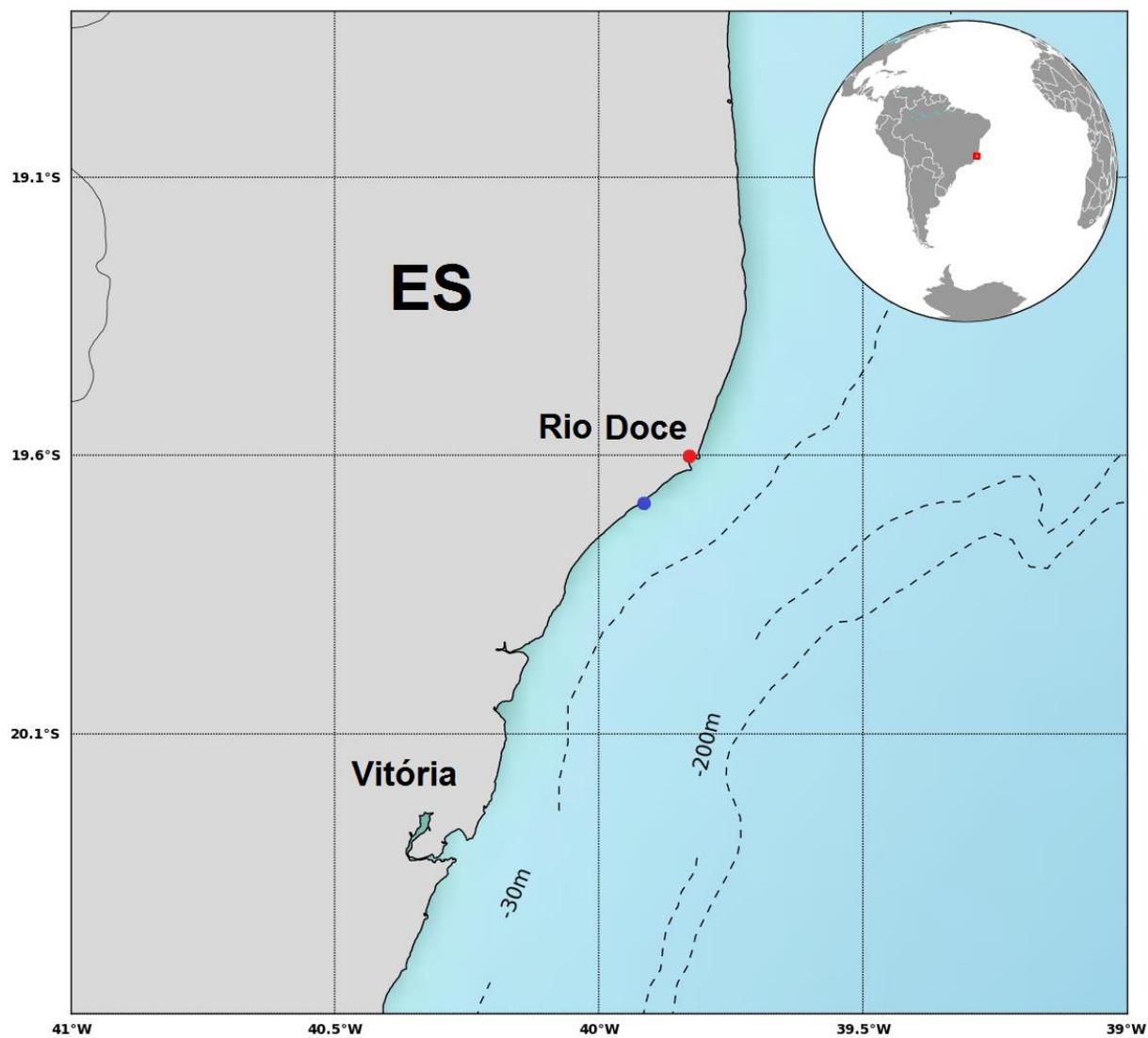
Para se avaliar o efeito da vazão sobre a dispersão da pluma do Rio Doce foram criados mapas de superficiais de salinidade para os Cenários 3, 4 e 5.

Também foram realizadas seções verticais para a região da desembocadura, iniciando no ponto 19° 59' S e 39° 83' W, nas 3 situações em condições de sizígia e quadratura. Além de seções verticais para uma seção localizada mais ao sul da região de deságue do rio, originada a partir do 19° 71' S e 39° 83' W.

Nesses cenários ocorre uma variação dos valores de vazão do Rio Doce com valores de vazão média, valores característicos do verão e uma situação onde se adicionou uma descarga máxima do rio durante 3 dias do período total modelado, para se observar comportamento da pluma.

Na figura 3 são representados os pontos de origem para as seções verticais que seguem o padrão de orientação da grade de 30° em relação à costa.

Figura 3 – Localização dos perfis verticais. Ponto Vermelho – Ponto inicial do perfil da desembocadura (19° 59' W; 39° 83' S); Ponto Azul – Origem do ponto ao sul da desembocadura (19° 71' S; 39° 83' W).



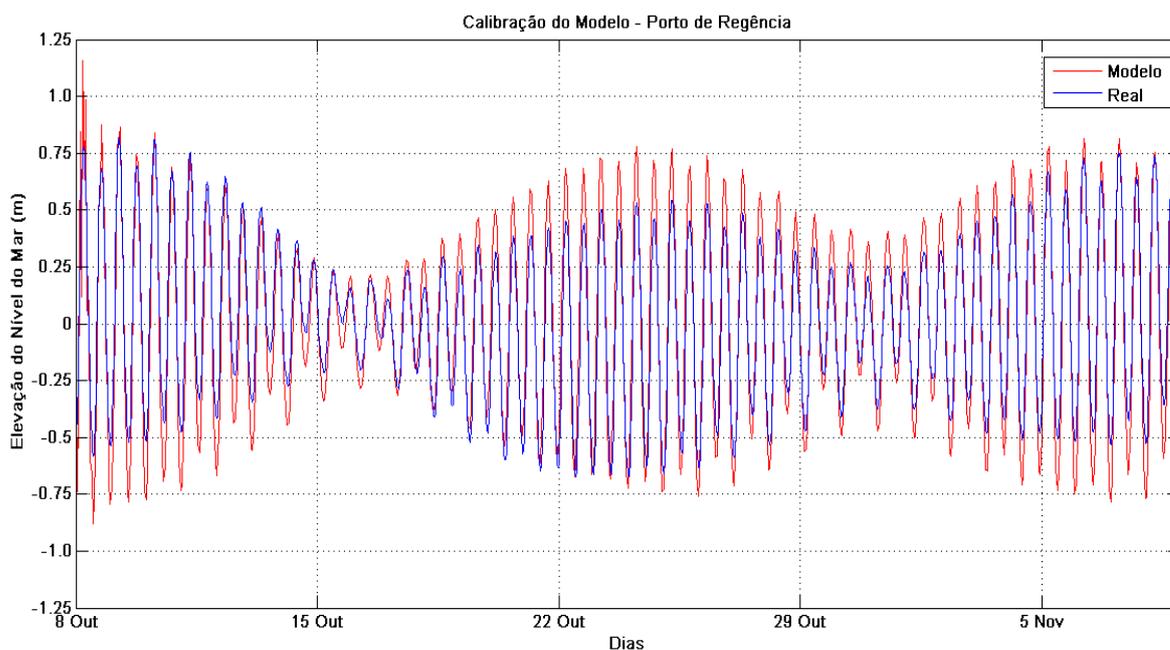
Fonte: O autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Validação

Para a validação do modelo foram utilizados os dados de nível do mar obtidos através do programa *Delft Dashboard*. O resultado é apresentado na figura 4, logo abaixo, onde temos a representação dos dados de nível do mar gerados pelo modelo Delft3D e dos pontos de observação da grade, localizados em Porto de Regência e Porto de Tubarão.

Figura 4 – Previsões do Nível do Mar obtidas pelo modelo e dados do Porto de Regência.



Fonte: O autor.

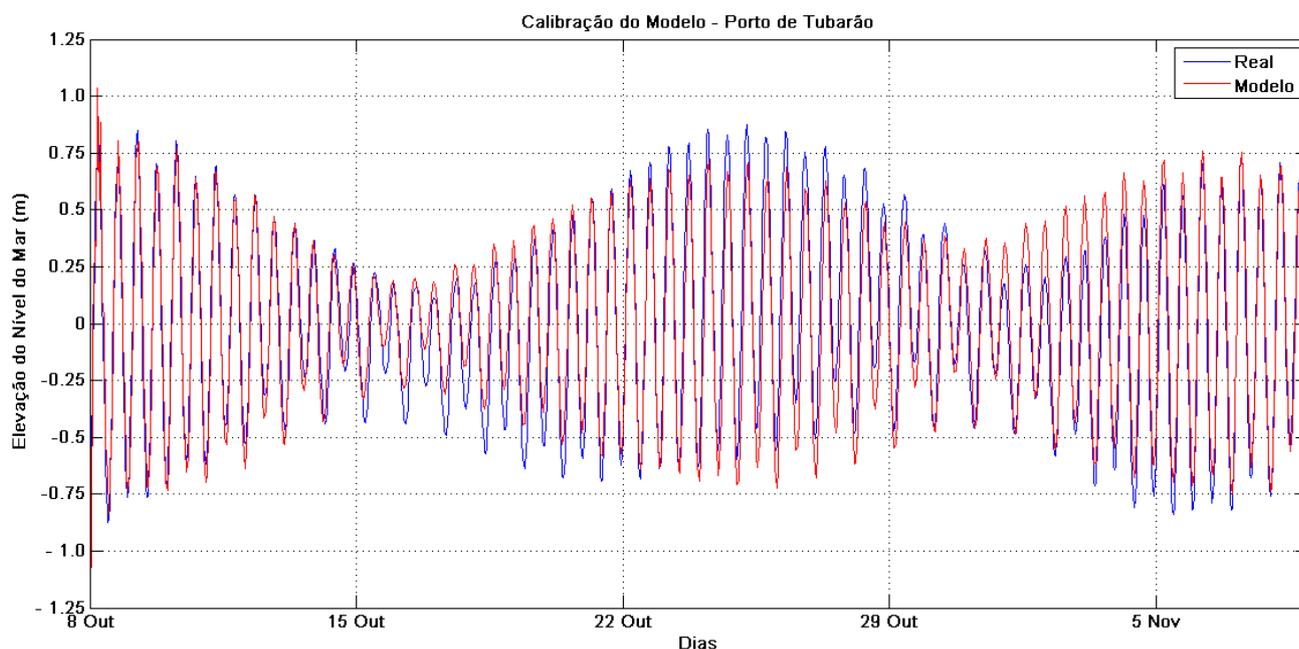
Para o Porto de Regência percebe-se que os valores de nível do mar obtidos através da modelagem para região entram em consonância com a tendência geral apresentada pela situação real, embora sejam percebidas incoerências relacionadas aos valores obtidos entre as duas situações.

São percebidas subestimações/superestimações ao longo do período de modelagem com valores máximos de 0,2 m. Ao comparar esses valores com a

variação do nível do mar identificada na imagem, com um valor de aproximadamente de 1,25 m, temos um equívoco associado à previsão do modelo de 16%.

Na figura 5 é representada a comparação entre os dados da variação do nível do mar obtidos para a região do Porto de Tubarão e o previsto pelo modelo.

Figura 5 – Previsões do Nível do Mar obtidas pelo modelo e dados do Porto de Tubarão.



Fonte: O autor.

Assim como na situação anterior os dados obtidos pelo modelo concordaram com a tendência geral apresentada pelo nível do mar da zona local, embora sejam percebidas algumas discrepâncias entre o dado real e o simulado.

Através do gráfico identifica-se uma variação por volta de 1,35 m e se observa diferença entre o dado real e o modelado de 0,2 m, resultando em um erro percentual de 14,8%.

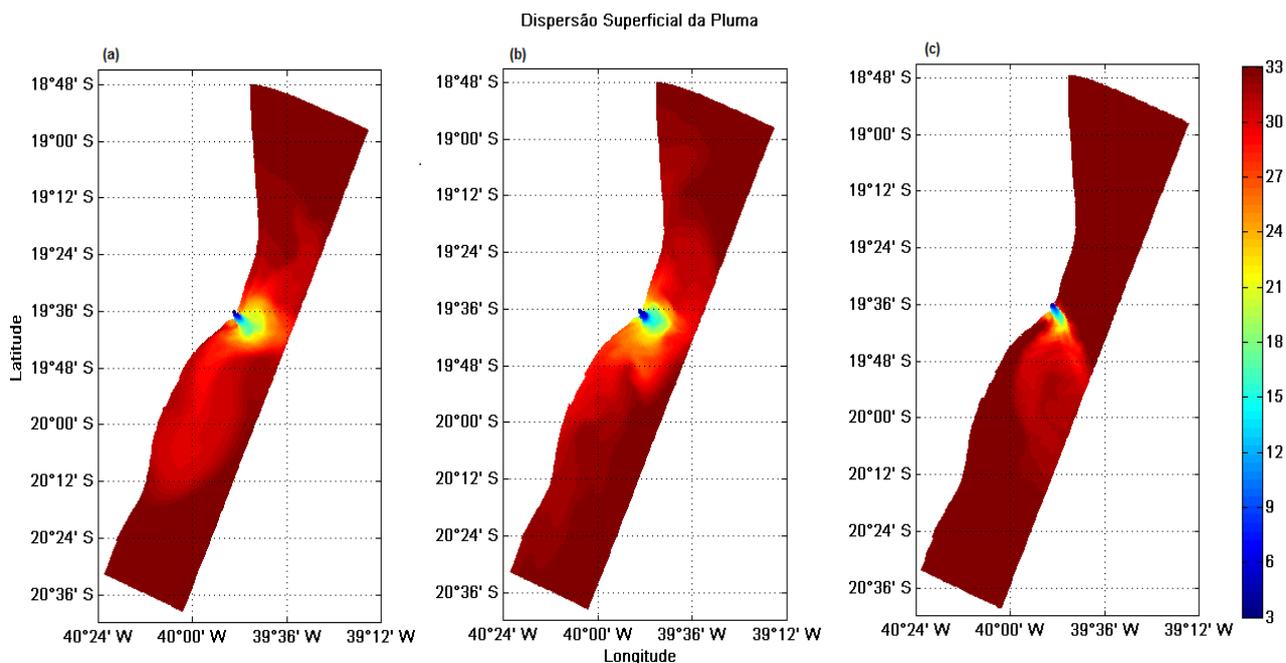
A utilização de bancos de dados globais pode ser um fator que colaborou na obtenção de valores de erro significativo para a previsão do nível do mar para os dois pontos de observação apresentados nessa seção.

4.2 Análises das Forçantes

4.2.1 Efeito dos Ventos e da Maré

Na figura 6 é representada a dispersão horizontal da pluma do Rio Doce para diferentes situações de intensidade e direção do vento de inverno, verão e um caso onde não há influência dessas forçantes sobre o cenário simulado.

Figura 6 – Representação da dispersão da pluma do Rio Doce em diferentes condições de vento. (a) Esquerda – Não há presença de ventos. (b) Centro – Ventos de Inverno (Direção de Sudeste). (c) Direita – Ventos de Verão (Direção de Nordeste).



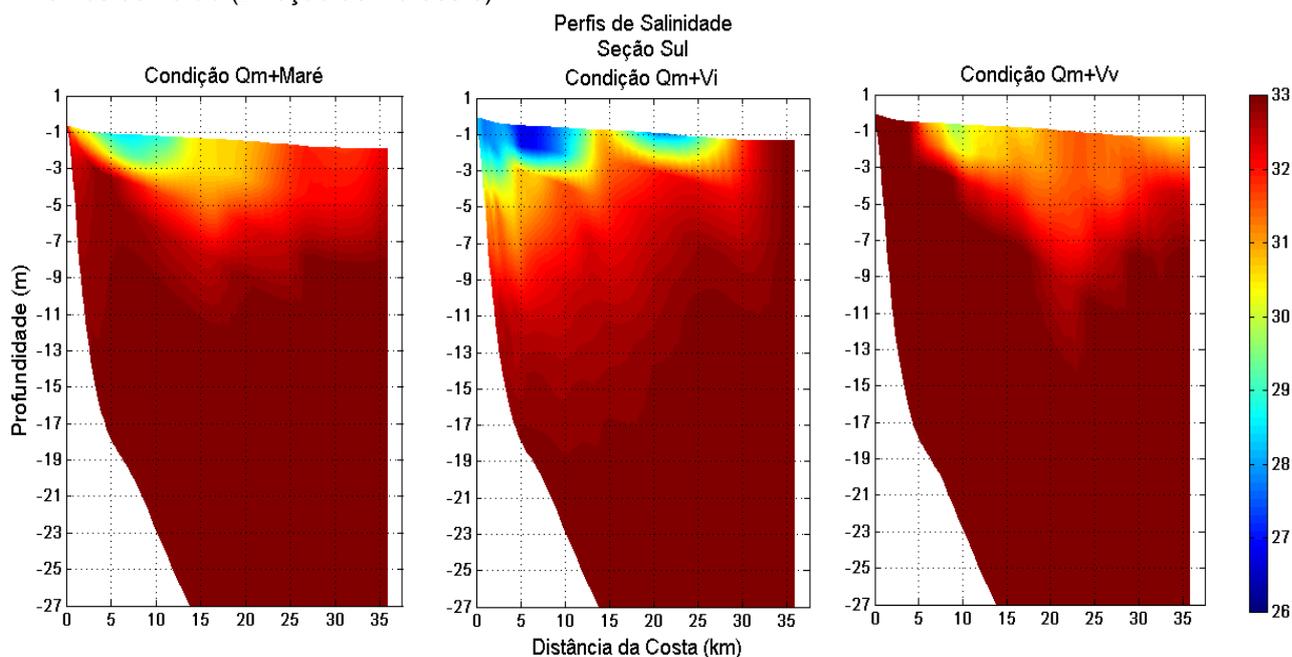
Fonte: O autor.

Ao analisar a figura acima é possível perceber que o vento possui maior importância na determinação da direção de propagação da pluma que a maré. Ao comparar a situação de propagação da pluma onde não há ação dos ventos sobre o cenário modelado e a situação em que ocorre a presença de ventos de verão identifica-se uma tendência de afastamento do volume d'água da plataforma, esse afastamento gerado por esses ventos característicos de NE, direção de 55°, é resultado da ação do transporte de Ekman que gera um transporte líquido de 90°, causando um transporte superficial da pluma de aproximadamente 145°, fato que

explica os valores de menor de salinidade associados a esse cenário estar distante da costa no sentido sudeste.

Já na situação em que temos ventos de inverno, provenientes de SE e com direção de aproximadamente de 130° , temos um padrão semelhante ao da maré, porém com o efeito da pluma gerada pelo rio aprisionada próxima a zona de descarga fluvial. Nesse padrão também se percebe o efeito do transporte de Ekman sobre a direção de dispersão da água despejada pelo rio na área de estudo. Se considerarmos a alteração da direção em noventa 90° do vento causador da direção do vento temos a pluma sendo direcionada a 220° aprisionando-a junto à costa principalmente na região sul.

Figura 7 – Perfil de Salinidade na seção sul para as seguintes condições. (a) Esquerda – Vazão média sem ventos. (b). Centro – Vazão média e ventos de inverno (Direção de Sudeste). (c) Direita – Vazão média e ventos de verão (Direção de Nordeste).



Fonte: O autor.

Ao visualizar os perfis verticais de uma seção ao sul da região desague do rio (FIGURA 7) submetidas às mesmas condições utilizadas para produção dos mapas de dispersão horizontal apresentados anteriormente, percebemos que as tendências do transporte causado pelas marés e os ventos de inverno e verão se repetem até mesmo em zonas mais afastadas daquela onde há ocorre a descarga do rio.

Os resultados obtidos nesse trabalho estão de acordo com os descritos por Pimenta (2014) durante a análise da dispersão da pluma do Rio da Prata. Nele é descrito a condição de pluma sazonal, na qual a ação da dinâmica de Ekman faz com que sejam percebidos diferentes padrões de dispersão de uma pluma sobre a plataforma continental devido alteração das características do vento predominante ao longo do ano. Möller (2008) detalha sobre as causas dessa sazonalidade e caracteriza as diferentes configurações geradas pelas forçantes atuantes sobre a pluma gerada pelo Rio da Prata.

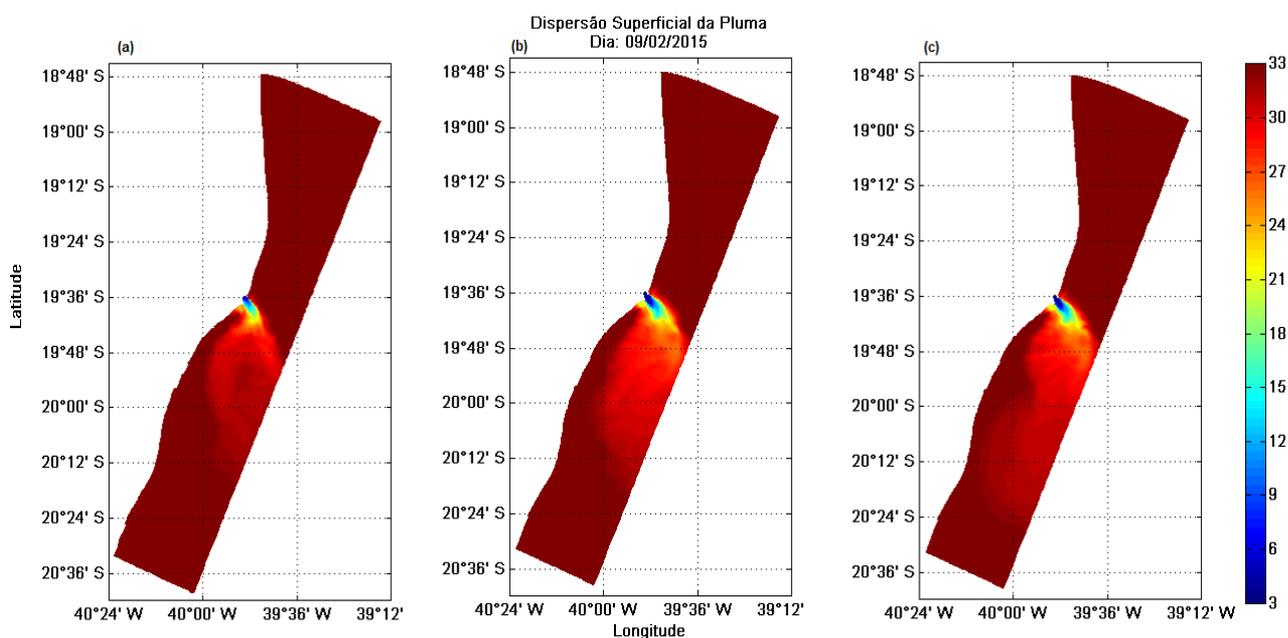
Essa sazonalidade da pluma do Rio Doce é facilmente percebida ao compararmos o padrão de distribuição entre a dispersão inverno/verão sobre a plataforma com uma tendência de aprisionamento/afastamento da pluma para as respectivas estações.

Pimenta (2014) fala que a maré tende a gerar plumas profundas e pouco estratificadas com propagação limitada a zonas mais internas e da plataforma baseados nos trabalhos de (GARVINE, 1999; ISOBE, 2005; SOARES *et al.* 2007 a, b). Ao compararmos com a situação de inverno que também possui uma pluma aprisionada junto à costa contate-se o transporte gerado pelo vento propaga a pluma ao longo da plataforma antes que as marés misturem completamente a descarga despejado pelo no oceano. Contrastando com o anteriormente descrito na situação de verão experimenta-se uma situação de afastamento da pluma na direção oceânica fazendo com que a pluma se torne cada vez mais estreita, devido a sua forte dispersão no sentido leste resultando em um perfil de salinidade mais misturado na figura 7.

4.2.2 Efeito da Vazão

A figura 8 representa os mapas da dispersão horizontal da pluma em diferentes situações de vazão do Rio Doce, submetidos a ventos de intensidade e direção característicos de verão.

Figura 8 – Dispersão Horizontal para 3 cenários de descarga fluvial em condições de ventos de verão (Direção de Nordeste). (a) Esquerda – Vazão Média. (b) Centro – Vazão característica do Verão. (c) Direita – Ocorrência de Vazões Máximas.

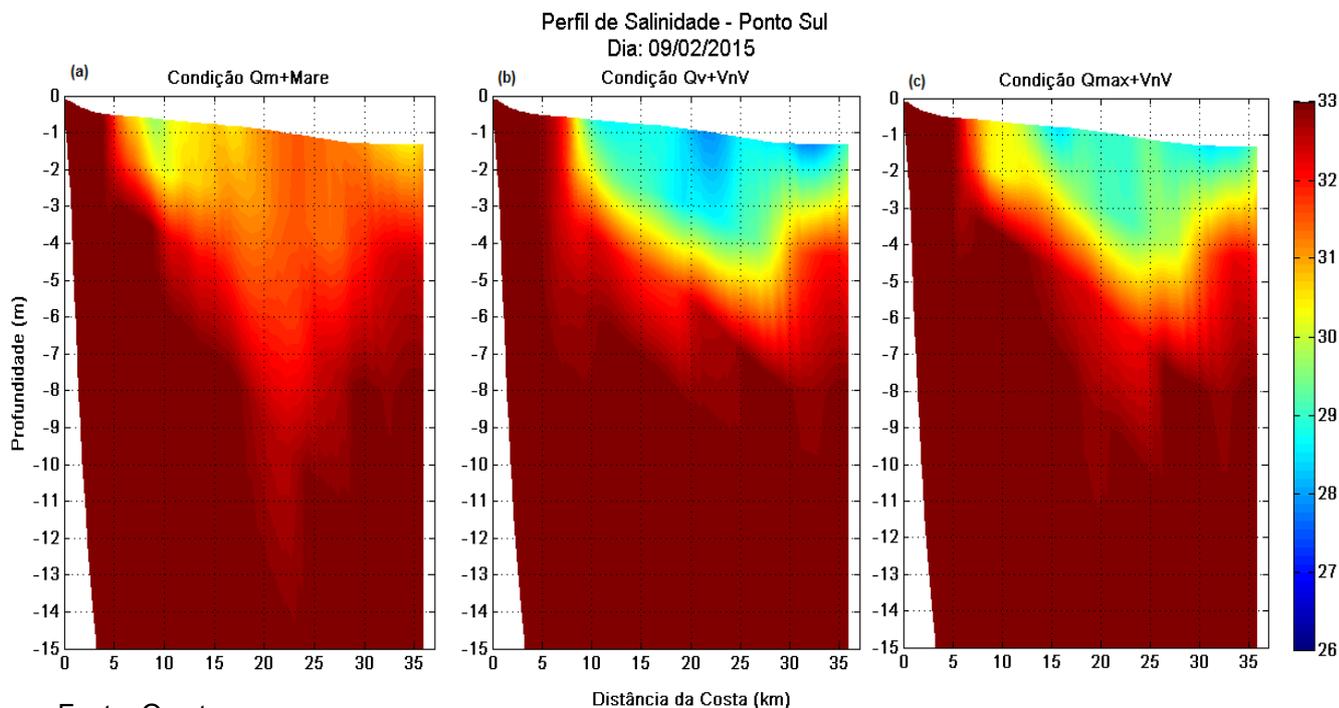


Fonte: O autor.

Ao analisarmos a figura infere-se que a sua distribuição horizontal sofre uma grande influência da vazão, uma vez que à medida que se aumenta os valores de vazão percebe-se um maior efeito da salinidade gerada pelo desague do Rio Doce sobre a plataforma da zona modelada.

Para auxiliar na compreensão do efeito da vazão na extensão da pluma ao longo da plataforma da área de estudo foram confeccionadas imagens representando seções verticais localizadas ao sul da zona de descarga do rio, $19^{\circ} 59' W$ e $39^{\circ} 83' S$. Os dados são apresentados na figura 9.

Figura 9 – Seções verticais de salinidade localizados no ponto (19° 71' S, 39° 83' W) ao sul da região de desembocadura do Rio Doce. (a) Esquerda – Vazão média. (b) Centro – Vazão característica de verão (c) Direita – Ocorrência de vazões máximas.



É possível identificar uma concordância entre os resultados observados nas seções verticais e nas imagens de distribuição horizontal apresentadas anteriormente nesta mesma seção, embora uma incoerência seja percebida durante a interpretação desses resultados ao analisarmos o perfil de salinidade das condições de vazão real e o cenário com a ocorrência de vazão máxima. Percebe-se que há uma maior influência sobre a salinidade da coluna d'água na condição de vazão real e não na situação onde ocorre o episódio de vazão máxima.

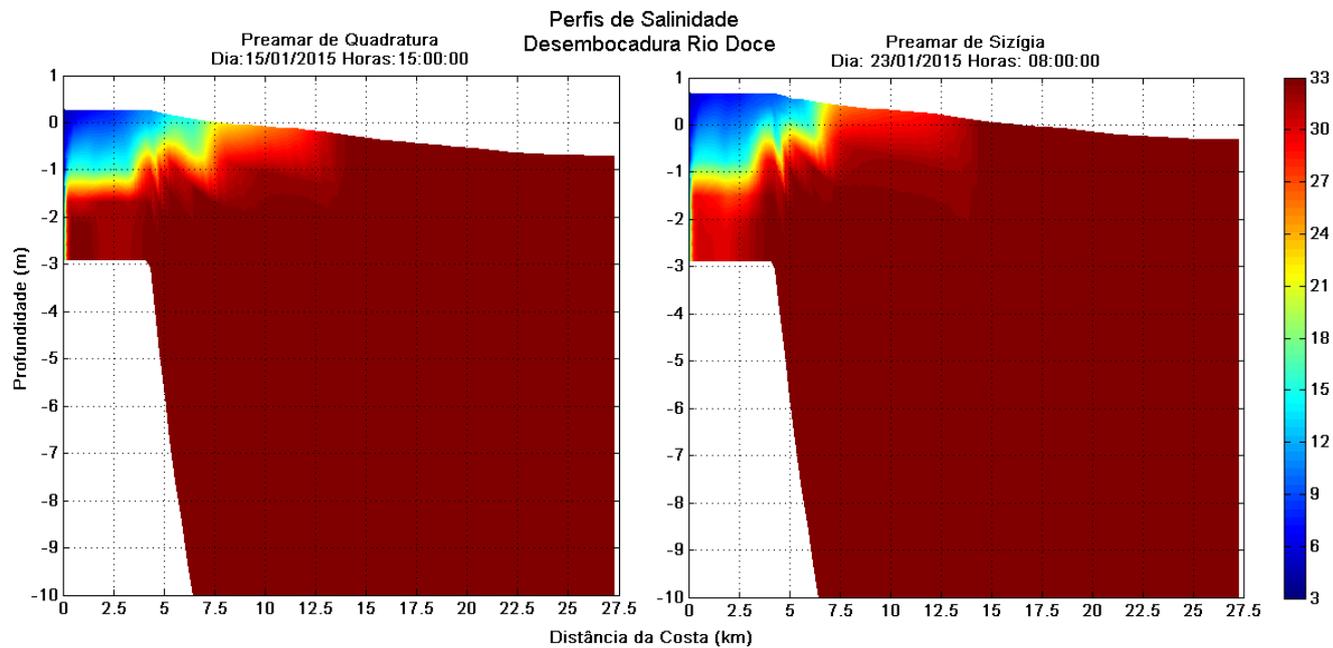
A explicação proposta para essa diferença entre a configuração vertical das salinidades das seções, mesmo em uma situação onde há um maior aporte de água com uma menor salinidade sobre a região é concordante com o transporte de Ekman que tende a atuar fortemente nas situações onde ocorrem plumas mais extensas, resultando em um transporte na direção *offshore* da área de estudo do material descarregado pelo rio em direção a uma zona que não está incorporada na área da grade utilizada pelo presente estudo.

Como dito na seção 4.2.1, em situações em que o vento gera um transporte *offshore* da pluma observa-se uma pluma mais estreita e misturada na coluna d'água, porém Pimenta (2014), observou que quanto maior o volume de água descarregado sobre a plataforma, mais resistente será uma pluma, ou seja, levará mais tempo para se observar a redução do efeito da salinidade causado por essa descarga sobre a área pela qual está se deslocando. Essa resistência da pluma faz com que ela seja transportada a regiões mais distante da zona onde foi gerada e resulte em uma maior dispersão em direção a região oceânica.

Já que os perfis foram produzidos sempre ao período final de cada cenário desenvolvido temos que na seção de vazão máxima o perfil de salinidade obtido não representa o efeito da pluma resultante dessa descarga máxima ao longo do perfil vertical para o ponto, os valores observados são característicos apenas do efeito da passagem da pluma sobre a salinidade local, com a pluma localizada sobre uma região não contida na área determinada pela grade, como tinha sido proposto anteriormente.

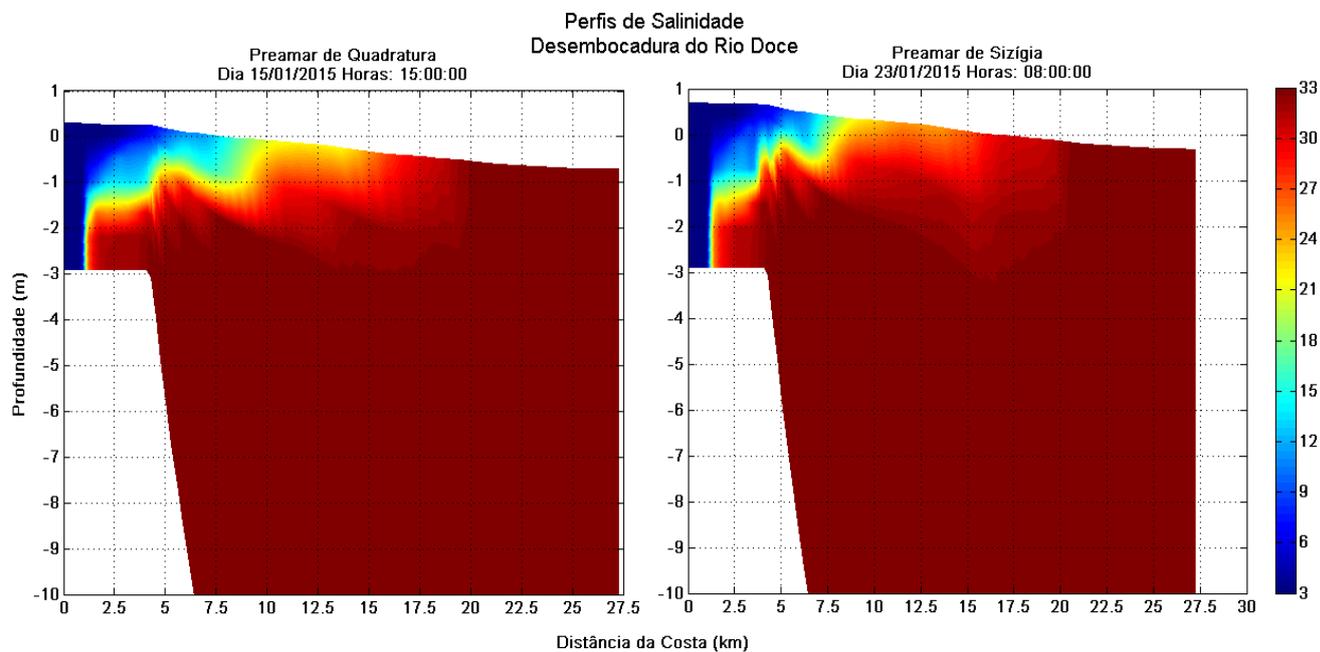
As figuras 10, 11 e 12 representam os perfis verticais em condições de sizígia e quadratura para a região de desembocadura, 19° 71' S e 39° 83' W, do Rio Doce com os ventos de verão condicionados a diferentes descargas fluviais

Figura 10 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vazão média e ventos de verão.



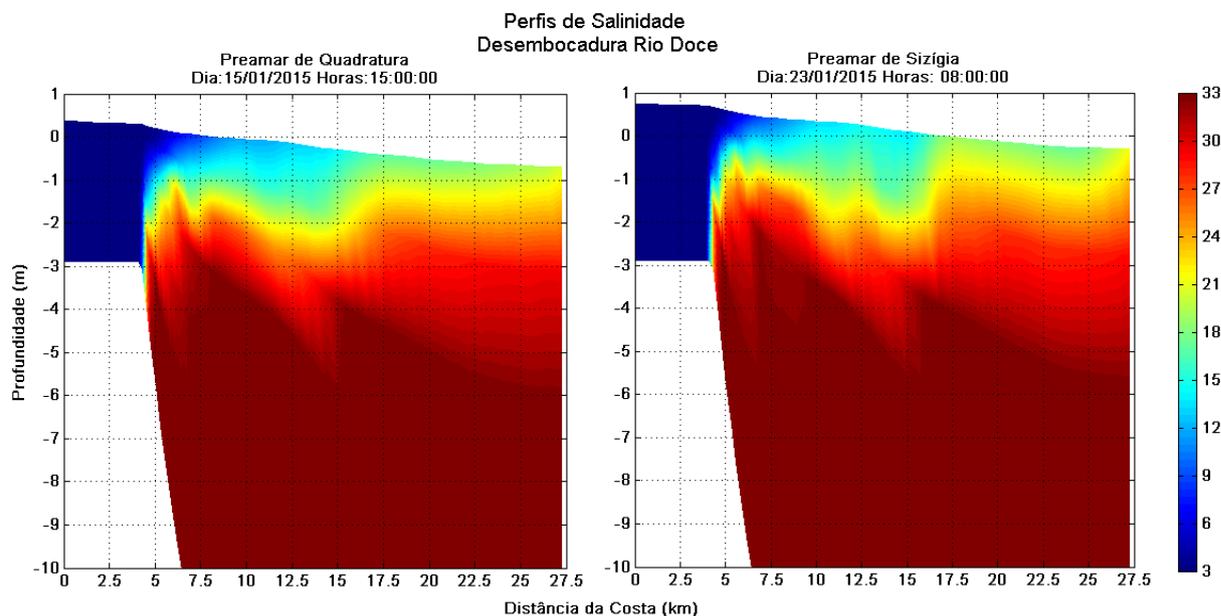
Fonte: O autor.

Figura 11 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vento e vazão característicos do verão.



Fonte: O autor.

Figura 12 – Seções verticais de salinidade sob as condições de vento e vazão característicos do verão com ocorrência de evento de vazões máximas.



Fonte: O autor.

Nas imagens apresentadas acima temos os perfis de salinidade em condição de vazão média, real e máxima para o verão. Percebe-se que ao ocorrer um incremento da vazão entre uma situação e outra ocorre um aumento na distância percorrida pela pluma antes de ser deslocada pelo vento, em concordância com o transporte de Ekman, para regiões mais distantes da costa, e não seja mais observado o seu efeito ao longo do perfil desenhado ao longo da área de descarga do Rio Doce, com exceção da situação de descarga máxima, na qual observamos que a pluma se prolonga por todo o perfil contido na grade do modelo.

Através da sua visualização é possível identificar o padrão de resistência da pluma à mistura gerada pelos ventos de verão e pelas marés sob diferentes valores de vazão, com o efeito da pluma deslocado para regiões mais *offshore* à medida que se incrementa a vazão do rio. O resultado observado nesse estudo corrobora o proposto por Pimenta (2014) para o comportamento da pluma do Rio da Prata em diferentes condições de vazão, já que o padrão percebido pela pluma do Rio Doce é bastante semelhante, ao identificado por ele no seu trabalho.

Dessa forma espera-se que o comportamento identificado na região da desembocadura para a dispersão da pluma também ocorra nas zonas mais oceânicas ratificando a teoria para a divergência entre os valores de salinidade nos perfis verticais de salinidade apresentados nesta seção.

5. CONCLUSÃO

A vazão do Rio Doce é o principal fator relacionado com a extensão da sua pluma sobre a plataforma continental da área analisada.

O regime de ventos atua como principal forçante da direção de dispersão da pluma do rio, em consonância com o transporte descrito pela Teoria de Ekman, resultando em uma pluma aprisionada na região costeira, durante o inverno, e uma pluma direcionada às regiões mais oceânicas durante o verão.

A diferença entre a direção de dispersão da pluma ao longo da plataforma em condições de inverno e verão sugere que mesmo em condições de menores vazões a influência da pluma do Rio Doce na região costeira é maior, enquanto que o incremento da vazão do rio, característico do verão, normalmente tende a afetar regiões mais distantes da costa.

Quando comparados os efeitos do vento e das marés no transporte do volume descarregado pelo rio, percebe-se uma tendência da maré atuar no transporte horizontal, enquanto que o vento tende a causar mistura da coluna d'água.

Propõe-se uma reconfiguração da grade criada para o presente estudo, permitindo uma melhor visualização dos processos de dispersão da pluma ao longo da plataforma, principalmente nas situações de descarga máxima, onde o vento tende a transportar ao volume d'água descarregado no oceano pelo rio às regiões mais oceânicas.

Julga-se necessário o aperfeiçoamento do processo de calibração do modelo através da utilização de bancos de dados que caracterizem a região analisada de forma mais específica evitando-se a adoção de fontes que caracterizem de forma generalizadas como realizado para os dados de batimetria e maré.

Através do proposto anteriormente espera-se que se obtenham melhores respostas durante o processo de validação do modelo, já que em alguns momentos ocorreram problemas com subestimação ou superestimação dos dados de nível do mar para os pontos de observação do estudo.

O modelo desenvolvido para o estudo da resposta da pluma do Rio Doce à forçantes como maré, ventos e vazão demonstrou-se satisfatório aos objetivos do estudo, e apresentou padrão semelhante em trabalhos localizados em zonas temperadas, como no caso do Rio da Prata.

Espera-se que os resultados obtidos possam subsidiar futuros trabalhos desenvolvidos para a região, assim como o desenvolvimento de metodologias que auxiliem na compreensão do comportamento da descarga das principais bacias hidrográficas ao longo do país sobre áreas costeiras e oceânicas, de maneira a cooperar para o desenvolvimento de políticas de gestão dessas bacias e do seu efeito sobre a região de influência de sua descarga.

REFERÊNCIAS

BANDEIRA JR., A. N.; PETRI, S.; SUGUIO, K. **Projeto rio Doce**. 1975. Rio de Janeiro, Petrobrás/Cenpes, p. 203, Relatório Final, 1975.

BECK, M. W.; HECK, K. L.; ABLE, K. W.; CHILDERS, D. L.; EGGLESTON, D. B.; GILLANDERS, B. M.; HALPERN, B.; HAYS, C. G.; HOSHINO, K.; MINELLO, T. J.; ORTH, R. J.; SHERIDAN, P. F.; AND WEINSTEIN, M. R. 2001. ***The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates***. *Bioscience* 51, 633–641, 2001.

BLABER, S. J. M. ***'Fish in hot water': the challenges facing fish and fisheries research in tropical estuaries***. 2002. *Journal of Fish Biology* 61, 1–20. 2002.

BONI, G. C. **Padrão de transporte de sedimentos da desembocadura do sistema estuarino dos rios Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, Aracruz (ES)**. 2010. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

BRASIL, Lei nº9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. In: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acessado em 14 de Abril, 2014.

COELHO, A. L. N. **Alterações Hidrogeomorfológicas do Médio-Baixo rio Doce / ES**. 2007. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

DAVIES, J. L. **A morphogenic approach to world shorelines**. 1964. *Z-Geomorph.*8, 127-142, 1964.

DELFT3D. **Manual do usuário**, v. 3.15.26466, Holanda, 2013.

EDGAR, G. J.; BARRETT, N. S.; GRADDON, D. J.; LAST, P. R. **The conservation significance of estuaries: a classification of Tasmanian estuaries using ecological, physical and demographic attributes as a case study**. *Biological Conservation*, v. 92, p. 383–397, 2000.

EMCAPA. **Representação gráfica da frequência, direção e velocidade do vento em Vitória, Conceição da Barra e Regência, no Estado do Espírito Santo**, p.23. Relatório. 1981.

GARVINE, R.W. **Penetration of buoyant coastal discharge onto the continental shelf: a numerical model experiment**. *Journal of Physical Oceanography*, v. 29, p. 1892–1909, 1999.

GEBCO. In: <http://www.gebco.net/about_us/overview/>. Acessado em 18 de Novembro, 2014.

GILLANDERS, B. M.; ELSDON, T. S.; HALLIDAY, I. A.; JENKINS, G. P.; ROBINS J. B.; VALESINI, F. J. **Potential effects of climate change on Australian estuaries and fish utilising estuaries: a review**. *Marine and Freshwater Research*, v. 62, p. 1115–1131, 2011.

IHO, In: <http://www.iho.int/srv1/index.php?option=com_content&view=article&id=298&Itemid=297&lang=en>. Acessado em 21 de Novembro, 2014.

ISOBE, A. **Ballooning of river-plume bulge and its stabilization by tidal currents.** *Journal of Physical.Oceanography*, v.35, p. 2337–2351, 2005

LEMOS, A.T. **Modelagem numérica da maré barotrópica na costa do Espírito Santo.** 2006. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

LIU, W. B.; CHEN, W. B.; CHENG, R. T.; HSU, M. H. **Modelling the impact of wind stress and river discharge on Danshuei River Plume.** 2008. *Applied Mathematical Modelling*, v.32, p.1255-1280, 2008.

MÖLLER, O.O. ; PIOLA, A. R. ;FREITAS, A. C.**The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America.** *Continental Shelf Research*, v. 28(13), p.1607–1624, 2008.

PARENTE, F. T. F. **Dispersão de materiais na região costeira de Fortaleza, CE – Brasil.** 2013. Monografia (Bacharelado em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2013.

PEDRUZZI, C. V. **Interação de simulação computacional e imagem de satélite para a avaliação da dinâmica da pluma do Rio Doce/ES.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

PIMENTA, F. M.; KIRWAN Jr. A.D. **The response of large outflows to windforcing.** 2014. *Continental Shelf Research*, v. 89, p. 24–37, 2014.

PIRH. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do Rio Doce,** 2010.

ROSMAN, P. C. C. **Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental in Métodos Numéricos em Recursos Hídricos**. 2001. ABRH, capítulo 1, p. 05, Rio de Janeiro- RJ, PP. 1-166, 2001.

SOARES, I.D.; KOURAFALOU, V.; LEE, T.N. **Circulation on the western South Atlantic continental shelf: 1.numerical process studies on buoyancy**. *Journal of Geophysical Research*, 112(C04002), 2007 (a).

SOARES, I.D.; KOURAFALOU, V.; LEE, T.N. **Circulation on the western South Atlantic continental shelf: 2. Spring and autumn realistic simulations**. *Journal of Geophysical Research*, 112(C04003), 2007 (b).

STACEY, M. T. **Plume dispersion in a stratified, near-coastal flow: measurements and modeling**. *Continental Shelf Research*, n.20, p.637-663, 1999.