

ÍNDICE

1	Introdução e Objetivo.....	2
2	Teoria do Modelo Computacional	2
2.1	Introdução	2
2.2	Considerações Gerais	3
2.3	Equações Governantes.....	7
2.4	Condições de Contorno.....	8
3	Caracterização Oceanográfica	9
3.1	Maré.....	10
3.2	Temperatura	12
3.3	Batimetria.....	16
4	Resultados.....	19
5	Referências Bibliográficas.....	26

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo a análise da dispersão térmica da usina termelétrica do porto de Barra do Açu. Prevê-se uma captação e um descarte da ordem de 83 m³/s, ambos realizados no meio marítimo, sendo este último ponto em temperatura 8°C mais elevada que o primeiro e distante cerca de 1,8 km ao sul do ponto de captação, distância superior a sugerida pela contratante (entre 0,5 e 1 km).

Na análise foram utilizados dados de maré e de temperatura local, tendo como ferramental a modelagem computacional hidrodinâmica e de qualidade de água (módulo temperatura).

Na parte hidrodinâmica foram simuladas as entradas e saídas de maré no sistema envolvendo ciclo de sizígia e quadratura, com o intuito de se obter os níveis d'água e as velocidades das correntes, incluindo os pontos de captação e descarte.

Para simulação de temperatura considerou-se um caso desfavorável no qual o mar encontra-se a 26°C, sendo a temperatura do descarte, então, de 34°C.

Descrevem-se a seguir a teoria do modelo computacional e os dados utilizados.

2 TEORIA DO MODELO COMPUTACIONAL

2.1 Introdução

A aplicação da modelagem numérica para a determinação da circulação em corpos d'água costeiros justifica-se pelo fato de determinar o padrão de circulação em todo o corpo d'água além de permitir a previsão das alterações na circulação da água devido à introdução de obras. Para o diagnóstico do padrão de circulação em todo o corpo d'água seria necessária a medição da intensidade de corrente durante vários ciclos de maré em diversos pontos no interior do corpo d'água exigindo uma equipe de campo muito grande e diversos equipamentos, sendo

portanto este método, caro e demorado. Com a utilização do modelo, basta a medição de corrente em alguns poucos pontos no corpo d'água para a sua calibração.

Modelos que possam descrever apropriadamente a hidrodinâmica em sistemas aquáticos são ferramentas poderosas, tanto no que se refere à sua contribuição na avaliação de impactos ambientais como na definição de estratégias para gerenciamento de corpos d'água. O conhecimento do padrão de circulação de um corpo d'água é portanto fundamental para diversos estudos ambientais. Temos, por exemplo, estudos de qualidade de água devido ao lançamento de poluentes no mar, em sistemas lagunares; bem como estudos de determinação de níveis de cheias e possibilidade de assoreamento em embocadura, objeto do presente estudo.

2.2 Considerações Gerais

A modelagem computacional da hidrodinâmica na região de Barra do Açu foi realizada através do SisBAHIA (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental). Trata-se de um sistema profissional em ambiente Windows, registrado pela Fundação Coppetec, (órgão gestor de convênios e contratos de pesquisa da COPPE/UFRJ), que se encontra continuamente em ampliação de capacidade de simulação e aperfeiçoamento pela COPPE/UFRJ desde 1987, através de várias teses de mestrado e doutorado, além de projetos de pesquisa. O sistema tem sido adotado em dezenas de estudos e projetos envolvendo modelagem de corpos de água naturais (para maiores detalhes sobre o SisBAHIA consulte Rosman¹ (2001) ou www.sisbahia.coppe.ufrj.br). Em linhas gerais o SisBAHIA contém:

- Modelo Hidrodinâmico: é um modelo de circulação hidrodinâmica 3D/2DH, otimizado para corpos de água naturais nos quais efeitos baroclínicos sejam pouco importantes. Resultados podem ser tanto 3D quanto 2DH, dependendo dos dados de entrada. “Otimizado” é usado no sentido de um modelo planejado para ótima representação de

¹ ROSMAN, P. C. C., 2001, “Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental”. In: *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 5*, Capítulo 1, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.

escoamentos em domínios naturais com geometria complexa. Processos de calibração são minimizados devido a: discretização espacial via elementos finitos quadráticos e transformação σ , permitindo ótimo mapeamento de corpos de água com linhas de costa e batimetrias complexas, campos de vento e atrito do fundo podendo variar dinamicamente no tempo e no espaço, e modelagem de turbulência multi-escala baseada em Simulação de Grandes Vórtices (*Large Eddy Simulation*).

- Modelo de Transporte Euleriano: é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, aplicável à camadas selecionadas de escoamentos 3D ou 2DH. O modelo é usado para transporte de substâncias dissolvidas, contaminantes, ou parâmetros de qualidade da água que se encontram bem misturados numa dada faixa ou em toda a coluna de água
- Modelos de Qualidade de Água: trata-se de um conjunto de modelos dedicados e otimizados para estudos de qualidade de água. São modelos de transporte Euleriano advectivo-difusivo para camadas selecionadas de escoamentos 3D ou 2DH, com reações cinéticas com sinergia entre diferentes componentes. Tal sistema dedicado permite simulações acopladas ou independentes de salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio (OD-DBO), compostos do nitrogênio e biomassa, compostos do fósforo e biomassa, bem como a combinação de todos estes indicadores simultaneamente.
- Modelo de Transporte Lagrangeano: é um modelo de uso geral para simulação de transporte advectivo-difusivo com reações cinéticas, em camadas selecionadas de escoamentos 3D ou 2DH. Com este modelo simula-se o transporte de escalares, tais como substâncias dissolvidas ou em suspensão, ou parâmetros de qualidade da água, que possam estar bem misturados, ocupando apenas uma camada, ou flutuando na coluna d'água. Esse tipo de modelo é, na maioria das vezes, utilizado no estudo do transporte, relativamente local, de plumas ou nuvens de contaminantes originados a partir de fontes de pequena escala em relação ao domínio do modelo hidrodinâmico. No caso de modelagem de derramamento de óleo, o modelo utiliza a dinâmica de Fay para simular as fases iniciais do espalhamento do óleo, e o óleo remanescente na água é computado de modo a seguir

exatamente as mesmas curvas de balanço de massa do ADIOS 2, padrão da indústria do petróleo.

- Facilidades: Todos os modelos são integrados em uma interface amigável. Saídas gráficas, inclusive animações, podem ser geradas com modelos rodando. Várias ferramentas de edição de malha são disponíveis na interface.

Para obtenção do padrão de circulação em Barra do Açu selecionou-se a opção de descrição bidimensional na horizontal do escoamento, também chamada 2DH, do modelo hidrodinâmico SisBAHIA. Tal opção se faz possível devido ao fato do escoamento na região ser predominantemente horizontal e não haver variação significativa de seus parâmetros (velocidade das correntes, densidade da água), ao longo da coluna d'água.

O modelo hidrodinâmico determina em cada ponto, (x, y) , do corpo d'água, os valores médios na vertical das componentes nas direções x e y , da velocidade de corrente, $u(x, y, t)$ e $v(x, y, t)$, e a elevação do nível d'água, ou posição da superfície livre, $z = \eta(x, y, t)$.

O modelo matemático empregado tem como equações governantes a equação da continuidade e as equações da conservação da quantidade de movimento nas direções x e y . A rigor, o campo de velocidades é governado pelas equações de Navier-Stokes para escoamentos turbulentos (também conhecidas como equações de Reynolds) em três dimensões (3D). Do ponto de vista prático, estas equações são promediadas na vertical, resultando em um sistema de equações bidimensionais em planta, conhecidas como equações de águas rasas. Estes escoamentos ocorrem normalmente em baías, estuários, lagos e águas costeiras (chamados corpos de águas rasos). O modelo resultante, bidimensional na horizontal (2DH), é aplicável em casos em que as escalas verticais de movimento são sensivelmente inferiores às escalas horizontais, e onde o efeito de estratificação é desprezível sendo a coluna d'água considerada bem misturada. Quando as três dimensões são significativas e/ou a estratificação acentuada, utilizam-se modelos bidimensionais em camadas. Modelos tridimensionais são empregados somente em situações específicas, devido aos elevados requisitos computacionais.

Os valores médios na vertical da velocidade da corrente são definidos por:

$$U(x,y,t) = \frac{1}{d} \int_{-h}^{\eta} u(x,y,z,t) dz \quad \text{e} \quad V(x,y,t) = \frac{1}{d} \int_{-h}^{\eta} v(x,y,z,t) dz$$

onde: u = componente da velocidade na direção x

v = componente da velocidade na direção y

h = contorno do fundo

η = superfície livre

A Figura 2-1 exibe as grandezas consideradas e os perfis de velocidade real e promediadas na vertical.

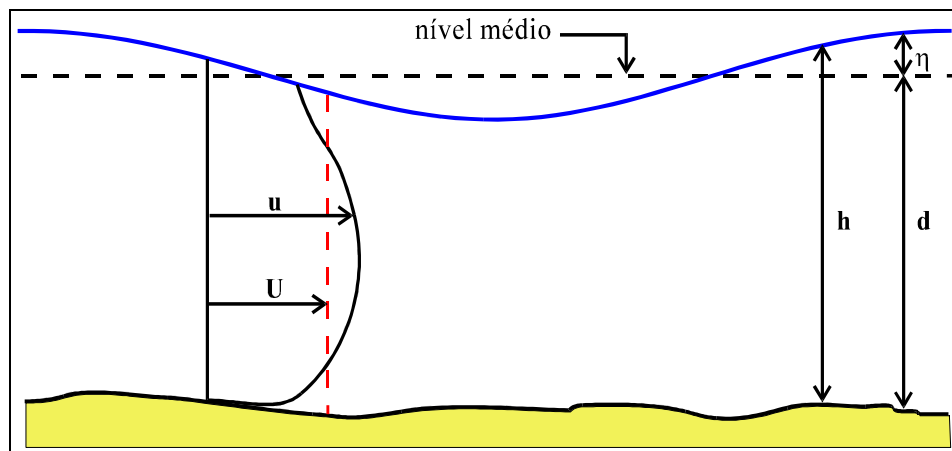


Figura 2-1: Grandezas físicas consideradas

2.3 Equações Governantes

Considerando as hipóteses de incompressibilidade, aproximação de Boussinesq, aproximação hidrostática e introduzindo o conceito de "*velocidade média ao longo da profundidade*" apresentado, é possível derivar o seguinte sistema de equações:

Equação da Conservação da Massa, ou Continuidade:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial U d}{\partial x} + \frac{\partial V d}{\partial y} = 0$$

Equação de Momentum, ou Conservação de Quantidade de Movimento, na direção x_i

$$\frac{\partial U_i d}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (d U_i U_j) = -g d \frac{\partial \eta}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} (d \tau_{ij}) + \tau_i^s - \tau_i^f \right] + f^i (1 - \delta_{ij}) U_j d$$

Nas equações anteriores η é a elevação do nível da água, d é a profundidade total ($d = \eta + h$), h é a profundidade média

O termo f é o coeficiente de Coriolis, $f = 2\Omega \sin \theta$, Ω a velocidade de rotação da Terra, θ a latitude do local considerado (positivo no hemisfério Norte e negativo no Sul).

Os termos τ_i^s e τ_i^f são os termos de atrito na superfície e no fundo, respectivamente, sendo parametrizados da forma:

$$\tau_i^s = \rho_{ar} C_D U_{10}^2 \cos \alpha_i$$

$$\tau_i^f = \rho C_f (u^2 + v^2)^{1/2} u_i$$

onde ρ_{ar} é a densidade do ar, U_{10} a velocidade do vento a dez metros da superfície da água, C_D o coeficiente de arraste do vento na superfície livre, Wu J. (1982), α_i o ângulo que o vento faz com a direção i , e C_f o coeficiente de atrito no fundo. C_f pode ser obtido via coeficiente de Chezy (C), como segue:

$$C_f = \frac{g}{C^2}; \quad \text{considerando } C = 18 \log\left(\frac{6H}{\varepsilon}\right)$$

sendo ε a amplitude da rugosidade equivalente do fundo; Abbot e Basco, (1989).

As tensões turbulentas laterais médias na vertical, τ_{ij} , são fundamentais para a obtenção de modelos com boa capacidade de previsão. No caso presente, são modeladas do seguinte modo:

$$\tau_{ij} = (K_{Hf} + K_V) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\Lambda^2}{24} \left(\left| \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right| \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \left| \frac{\partial u_j}{\partial x_k} \right| \right)$$

K_{Hf} é o coeficiente horizontal de difusão turbulenta de momentum; K_V é um coeficiente de dispersão de momentum que aparece devido à promediação na dimensão vertical. Λ é um parâmetro relativo à largura do filtro utilizado na filtragem (promediação) da turbulência, Rosman e Gobbi (1990).

2.4 Condições de Contorno

Definido o domínio de estudo, deve-se então especificar as condições de contorno do modelo, ou seja, as características do escoamento nas fronteiras entre a área modelada e a região externa a ela.

Nas fronteiras de terra sabe-se que não há fluxo de massas d'água perpendicularmente ao contorno, pois este é impermeável. Neste casos então se especifica como condição de

contorno que as velocidades perpendiculares à fronteira sejam nulas, com exceção das afluições fluviais onde se especifica a vazão. Porém, nos limites do modelo em que o lado do contorno é água, denominado fronteira aberta, o fluxo não é nulo. Na verdade não existe neste tipo de contorno nenhuma descontinuidade no escoamento que o caracterize como uma fronteira. Este é um ponto delicado dos modelos numéricos de circulação, pois nestas fronteiras precisamos especificar determinadas condições que garantam que o escoamento externo ao domínio do modelo estabeleça uma ligação harmoniosa com a parte interna da área modelada.

Usualmente especifica-se nas fronteiras abertas as velocidades de corrente ou a posição da superfície da água. Quando o contorno aberto representa o encontro de um rio com o domínio de estudo, costuma-se especificar as velocidades perpendiculares como condição de contorno, pois o escoamento nos rios é aproximadamente unidimensional e esta é uma informação relativamente simples de ser obtida.

No caso em apreço foram fornecidas as variações de maré no contorno aberto, as vazões de captação e descarte e a vazão do rio Paraíba do Sul.

3 CARACTERIZAÇÃO OCEANOGRÁFICA

O diagnóstico da região em estudo foi baseada no volume 13 do “Levantamento do Estado da Arte da Pesquisa dos Recursos Vivos Marinhos do Brasil” (FEMAR, 1996), que trata da oceanografia física do programa REVIZZE. O objetivo do programa é avaliar o potencial sustentável dos recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva (ZEE); assim, foram levantadas informações disponíveis para a caracterização dos recursos pesqueiros e do ambiente marinho, de onde se inclui a oceanografia física da costa brasileira. Os dados analisados no presente diagnóstico foram correntes marinhas, temperatura da superfície do mar, salinidade, maré e ondas.

De acordo com o relatório, os levantamentos oceanográficos na costa brasileira com ênfase nos aspectos físicos foram efetivamente iniciados em 1957, embora já houvesse registros de navios de pesquisa estrangeiros em 1911, 1925 e 1926. Nas décadas de 60, 70, 80 e 90

prosseguiram os levantamentos oceanográficos sistemáticos sazonais na costa do Brasil, havendo participação, além da marinha do Brasil, de navios estrangeiros e universidades.

Para o presente estudo, foram utilizados dados da Área Central, que abrange a região delimitada do cabo de São Tomé à Salvador, incluindo a ilha de Trindade, entre os paralelos de 12° S a 24° S e os meridianos de 043° W a 026° W.

3.1 Maré

A maré no litoral Norte Fluminense é semi-diurna, isto é, ocorrem duas preamares e duas baixa-mares ao longo de um dia. Para a análise dos níveis de maré, foram utilizados dados do Terminal Marítimo de Imbetiba, no estado do Rio de Janeiro, fornecidas pelo Departamento de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN), cujas coordenadas são de 22° 23'S e 41° 46'W e cujo nível médio é de 0,72 m. A Tabela 3-1 exhibe os máximos e mínimos previstos para o ano de 2006, ressaltando que foi considerada apenas a maré astronômica, ou seja, dados que podem ser previstos com certeza; não foi considerada a influência da maré meteorológica no nível do mar. Também são mostrados na Tabela 3-1 as alturas de marés máximas de sizígia e as mínimas de quadratura, que correspondem às maiores diferenças consecutivas nos níveis do mar na sizígia e menores na quadratura, que não necessariamente correspondem à simples diferença entre o nível máximo e mínimo da maré naquele mês.

Os níveis máximos mensais alcançam valores de 1,3 a 1,5 m, ao passo que os níveis mínimos variam de -0,3 a 0,2 m. Para 2006, a altura de maré astronômica máxima de sizígia é prevista para os meses de fevereiro, março, setembro e outubro, alcançado 1,6 m. Em relação a mínimos, na quadratura são previstos valores de 0,3 a 0,0 m, ou seja, variação nula de maré.

A Figura 3-1 apresenta a evolução temporal da maré, que foi gerada através da utilização das constantes harmônicas da Estação Maregráfica do Cabo de São Tomé, localizada em frente ao Farol de São Tomé, nas coordenadas de 22°07'S e 41°03' W (FEMAR, 2000). O nível médio do mar no local é de 0,67 m DHN. Apesar da curva da evolução não representar necessariamente um mês específico, percebe-se que os dados são condizentes com os níveis máximos e mínimos previstos na Tabela 3-1. Para o mês de janeiro, por exemplo, são

previstos pela tábua de marés da Marinha, níveis máximos e mínimos de 1,3 e -0,2 m, respectivamente, bem similares aos níveis da maré de sizígia apresentados na curva de evolução. A evolução da maré para todo o ano certamente representaria ainda os níveis máximos de até 1, m, previstos pela tábua de marés da Marinha para os meses de março, abril e maio.

Tabela 3-1 - Níveis máximos e mínimos das marés mensais e alturas máximas e mínimas de maré para o porto de Imbetiba em 2006.

Mês de 2006	Nível máximo da maré (m)	Nível mínimo da maré (m)	Altura máxima de maré de sizígia(m)	Altura mínima de maré de quadratura (m)
janeiro	1,3	-0,2	1,5	0,3
fevereiro	1,4	-0,2	1,6	0,1
março	1,5	-0,1	1,6	0,1
abril	1,5	0,1	1,3	0,1
maio	1,5	0,2	1,2	0,2
junho	1,4	0,2	1,2	0,3
julho	1,4	0,0	1,4	0,3
agosto	1,4	-0,2	1,5	0,0
setembro	1,3	-0,3	1,6	0,0
outubro	1,3	-0,3	1,6	0,0
novembro	1,3	-0,1	1,4	0,2
dezembro	1,3	0,0	1,2	0,3

Fonte: tábua das marés para 2006 – DHN - Marinha do Brasil.

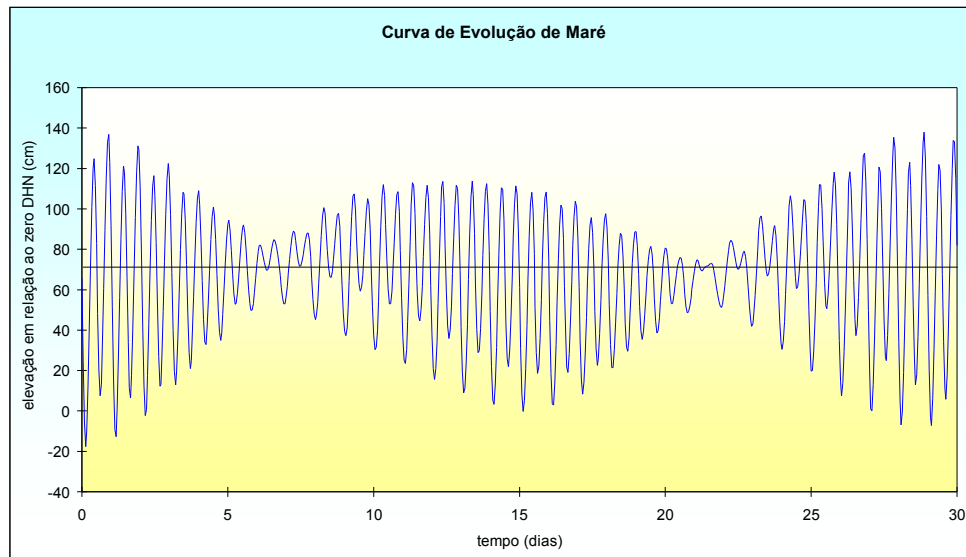


Figura 3-1: - Evolução da maré no Cabo de São Tomé.

3.2 Temperatura

A sequência da Figura 3-2 à Figura 3-5 mostra a distribuição do campo de temperatura da superfície do mar na área central da costa brasileira, para todas as estações do ano. Pode-se averiguar as variações sazonais, onde os picos máximos e mínimos nas temperaturas se encontram no verão e no inverno, respectivamente. Percebe-se também que, na área central da costa brasileira, há um decréscimo nos valores, de norte para sul.

No verão, as temperaturas variam, em média, de 24 a 27° C. Na costa sul da Bahia, verifica-se temperaturas mais elevadas, onde há um centro de 27,2° C nas coordenadas de 16° S e 34° W. Já na costa Norte Fluminense, valores de cerca de 26° C são encontrados. Próximo ao cabo de São Tomé, a temperatura média é de 25,6° C, em Barra do Açu a temperatura estaria em 26° C; regiões próximas a Cabo Frio atingem valores de até inferiores a 25° C.

No outono, as temperaturas variam de 21 a 25° C. Os valores mais altos, de até 25° C, se encontram na região próxima a Salvador, no paralelo de 13° S, enquanto Vitória, no paralelo

de 20° S, a temperatura já se encontra na faixa de 24° C. Na região próxima ao Cabo de São Tomé e em Barra do Açu, as temperaturas variam de 22 a 23° C.

Como esperado, no inverno, as temperaturas caem para valores abaixo de 21° C e máximo em torno de 24° C. Ao sul da Ilha de Trindade, encontra-se um centro com cerca de 23,4° C em seu núcleo. Próximo ao Cabo de São Tomé a temperatura mostra-se em 21,4° C, sendo ligeiramente superior (22,6° C) em Barra do Açu. Caminhando para sul, em Cabo Frio, as temperaturas são inferiores a 21° C.

Na primavera, a temperatura média da superfície do mar volta a subir, e para a região em estudo variando de 22 a 25° C. Regiões próximas a Vitória encontram valores de cerca de 24° C; já em Cabo de São Tomé e em Barra do Açu, os valores são de 22,5° C. Em Cabo Frio, a temperatura próxima à costa é de 21,5° C.

Vale ressaltar a influência do fenômeno da ressurgência na região próxima a Cabo Frio, ao sul do paralelo de 20° S, onde pôde-se perceber, para todas as estações do ano, núcleos de temperaturas mais baixas em relação aos valores médios do restante da área em estudo. As Águas Centrais do Atlântico Sul, que atingem a superfície do mar na região próxima a Cabo Frio, devido à pequena extensão da plataforma continental naquela região, trazem consigo água mais fria e rica em nutrientes, o que maximiza a diversificação da biologia marinha da região e a torna propícia à pesca e à prática do mergulho. As baixas temperaturas da superfície do mar oriundas da ressurgência influenciam a região de interesse ao presente estudo, próxima ao Cabo de São Tomé, que também presencia a ocorrência de menores temperaturas em relação às demais regiões da área central da costa brasileira. O relatório (FEMAR, 1996) sugere ainda que a camada de mistura nesta região tenha profundidade entre 50,0 e 100,0 m, enquanto na região próxima a Cabo Frio esta camada seja inferior a 50,0 m.

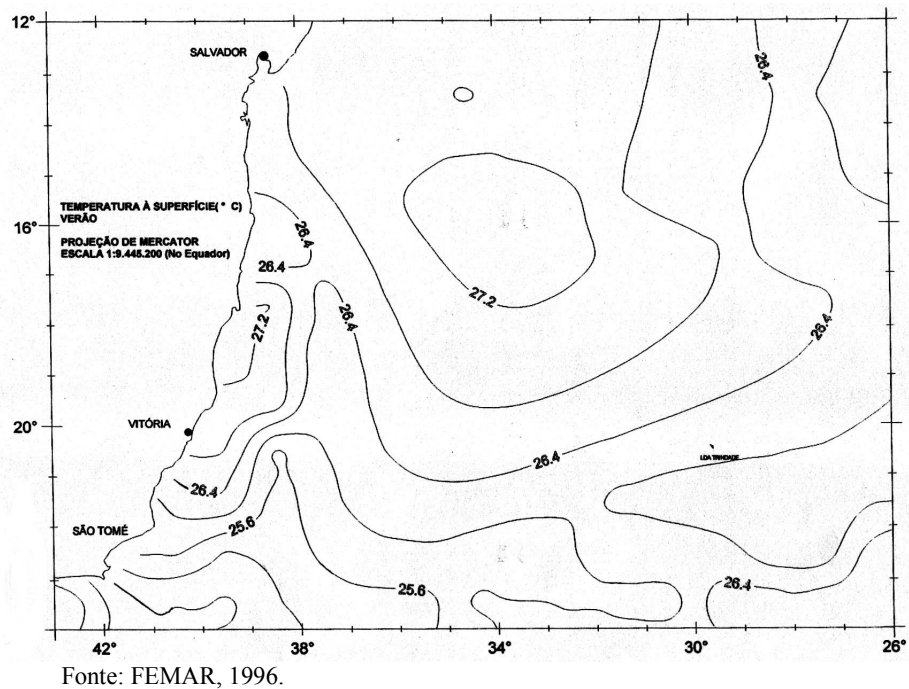


Figura 3-2: Temperatura da superfície do mar – verão.

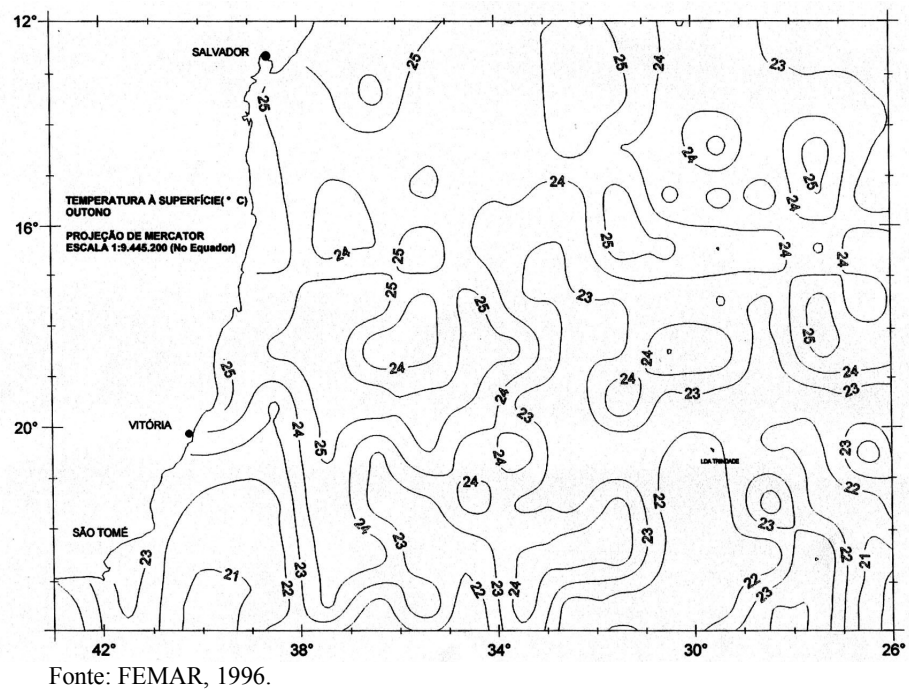


Figura 3-3: Temperatura da superfície do mar – outono

Figura 3-4: Temperatura da superfície do mar – inverno.

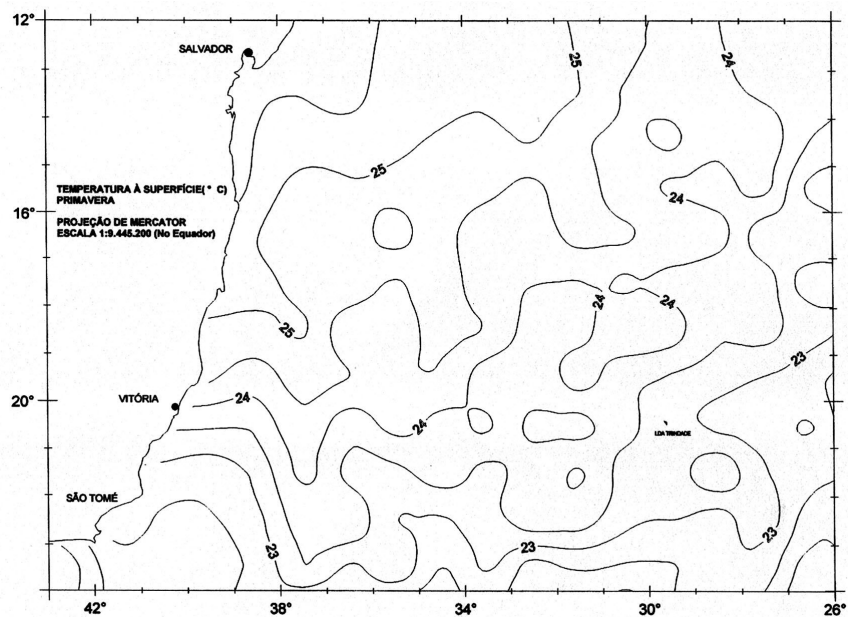


Figura 3-5: Temperatura da superfície do mar – primavera.

3.3 Batimetria

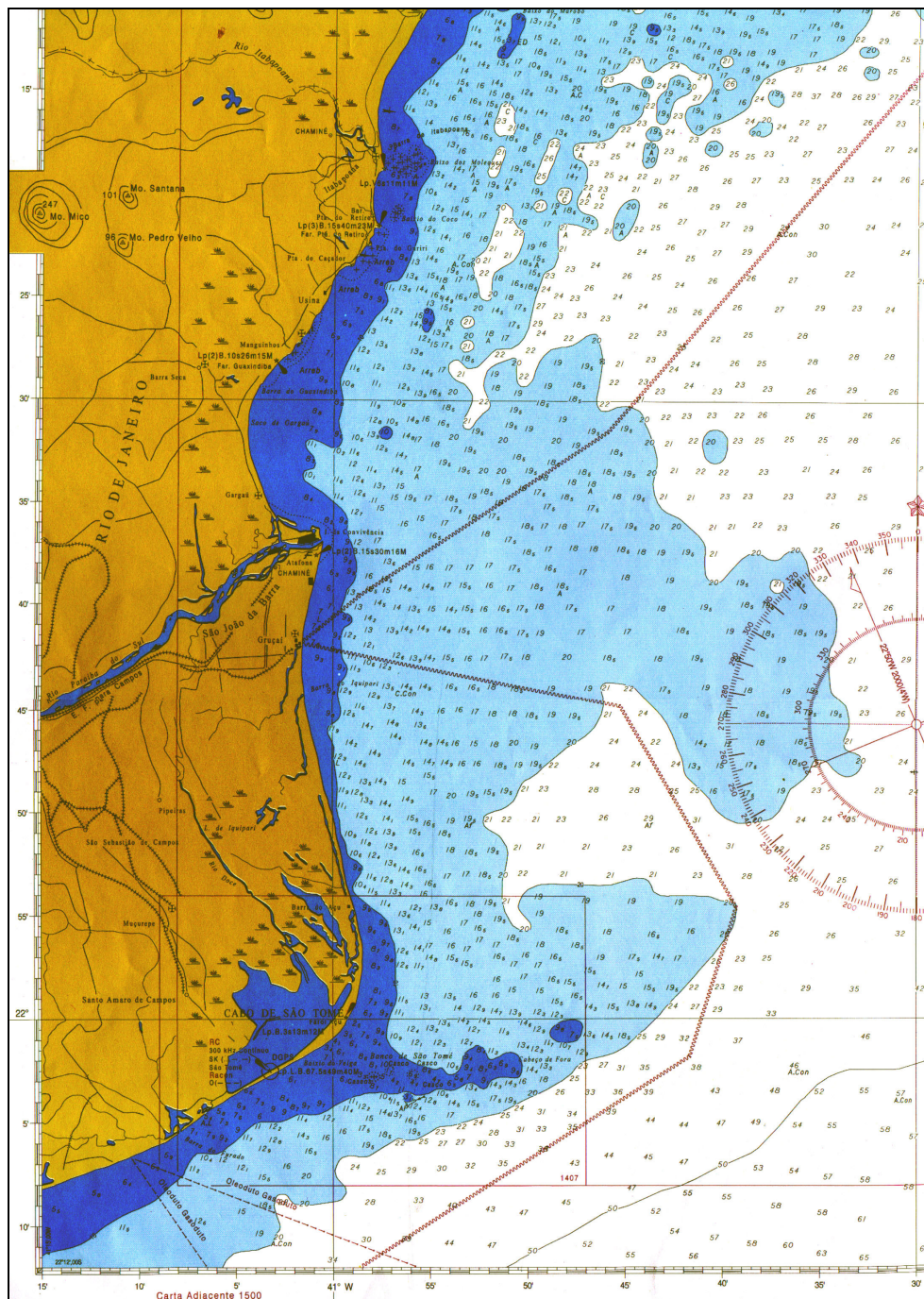
A batimetria da região próxima à costa da Barra do Açu é caracterizada por uma extensa “plataforma”, na qual a isóbata de 20,0 m alcança uma distância de 34,0 km da costa, chegando a atingir ainda distâncias de até 45,0 km em frente à estação de Gruçaí, fim da estrada de ferro para Campos que se localiza ao sul da foz do rio Paraíba do Sul. Esta feição caracterizada pela isóbata de 20,0 m, se inicia no Cabo de São Tomé, quando o alinhamento da costa muda de SW-NE para S-N, e segue até a Ponta dos Castelhanos, ao norte da foz do Rio Paraíba do Sul, nas coordenadas de 40°40'W e 20°45'S, onde a partir de então segue margeando a costa brasileira rumo a norte com distâncias inferiores a 5,0 km da costa. A Figura 3-6 mostra cópia de parte da carta náutica nº 1400 – do rio Doce ao Cabo de São Tomé – do Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil, onde tal plataforma pode ser vista.

Em frente à Barra do Açu, a isóbata de 10,0 m se distancia cerca de 4,5 km da costa; já a isóbata de 20,0 m se distancia 34,0 km; a de 50,0 m, cerca de 65,0 km. Neste trecho, a plataforma continental, caracterizada pelo início da brusca declividade do fundo do mar, tem largura de cerca de 100,0 km, pois isóbata de 100,0 e 1000,0 m se distanciam, respectivamente, a 92,0 e 112,0 km da costa.

No trecho próximo ao Cabo de São Tomé, também se encontra o banco de areia de São Tomé, caracterizado pela extensão da isóbata de 10,0 m até a uma distância de cerca de 16,0 km da costa, no trecho em frente ao Farol do Açu. Tal banco de areia tem alinhamento oeste-leste e, em média, uma largura de 3,0 km, e se estende do Baixio do Veiga, na costa, até o Cabeço de Fora, cujas coordenadas são 40°48'W e 22° S, onde também se encontra um pequeno banco de areia com diâmetro de 3,0 km. A isóbata de 10,0 m tem, na altura da Barra do Furado, uma largura de cerca de 4,5 km, passando, a partir daí, a exibir uma distância maior da costa, caracterizando o início do banco de areia. Ao norte do banco de São Tomé, a isóbata de 10,0 m volta a se aproximar da costa, distando apenas 600,0 m da mesma, no trecho próximo à Barra do Açu, onde isóbata tem cerca de 1,5 km de distância da costa. A partir de a isóbata de

10,0 m volta a se afastar, mantendo este aspecto até a foz do rio Paraíba do Sul, onde tem uma largura de 3,0 km.

Profundidades ainda mais rasas são encontradas no interior do banco de São Tomé (carta náutica nº 1407 da DHN). Tal banco, fino e extenso, se caracteriza pela isóbata de 5,0 m, tem cerca de 8,0 km de comprimento e 200,0 m de largura. Devido à presença deste banco de areia, alguns naufrágios ocorreram no passado, onde se encontram pelo menos três cascos de navios afundados nesta localidade, nas coordenadas de 40°57'W e 22°3'S, 40°56'W e 22°3'S, e 40°56'W e 22°4'S.



Fonte: DHN - Marinha do Brasil, 1941

Figura 3-6: - Cópia parcial da carta náutica nº 1400 – do rio Doce ao Cabo de São Tomé.

4 RESULTADOS

Conforme descrito na introdução, em primeiro lugar foram simulados a hidrodinâmica decorrente da atuação da maré no sistema envolvendo ciclo de sizígia e quadratura, com o intuito de se obter os níveis d'água e as velocidades das correntes, incluindo os pontos de captação e descarte, exibidos pela Figura 4-1.

De posse dos resultados hidrodinâmicos, pôde-se simular a dispersão de temperatura na região, considerando-se um caso desfavorável no qual o mar encontra-se a 26°C, mais condizente com o observado na superfície do mar no verão (FEMAR, 1996), sendo o descarte então a 34°C.

A Figura 4-2 exibe o resultado da modelagem hidrodinâmica no instante de vazante, no qual as velocidades não apresentam uma direção bem definida, ou uniforme, estando voltadas para sul a partir do cabo de de São Tomé. Enquanto que no trecho norte as velocidades se dirigem para nordeste. Neste instante se verificam baixas magnitudes: entre 5cm/s -junto à costa- e de cerca de 30 cm/s próximo ao cabo de São Tomé. Em detalhe (Figura 4-3) percebe-se os diferentes direcionamentos dos vetores de velocidade conforme se aproximam do ponto de captação ou de descarga.

Já no instante de enchente (Figura 4-4) as velocidades apresentam um padrão mais uniforme, direcionadas para o sul. As magnitudes obtidas nesta situação foram maiores, girando entre 30 cm/s até cerca de 60 cm/s, estas próximo ao cabo de São Tomé.

O leitor deve notar uma maior concentração de vetores (daí a coloração mais escura) nos arredores dos pontos de captação e descarga da água da usina, necessários a melhor descrição da hidrodinâmica local.

O resultado da modelagem de qualidade de água (módulo temperatura) indica que há influência da descarga da usina na temperatura do meio circundante. Nas proximidades do ponto de descarga a temperatura encontra-se a cerca de 31° C, sendo que no ponto de lançamento a temperatura chega a 37° C. Nos arredores da captação a temperatura obtida pela



simulação foi de 29° C, chegando a 30° C no ponto de captação propriamente dito. Em geral se observa um aumento de temperatura de de 1° C em um raio de cerca de 40 km do ponto de descarga, enquanto que aumentos superiores a 3° C (limite estabelecido pela resolução Conama 357), estariam restritos a região entre 1 a 5 km do ponto de descarga.

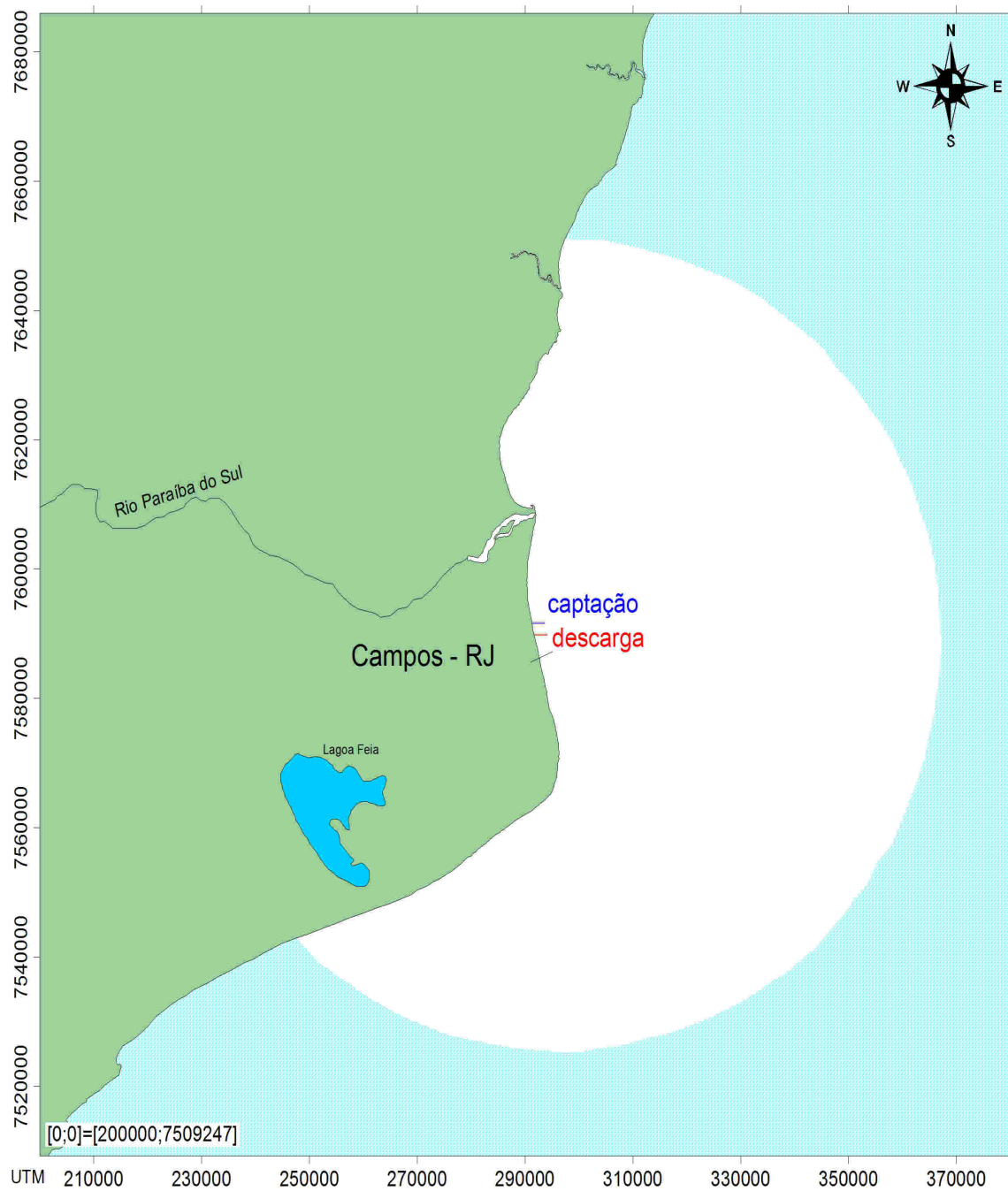


Figura 4-1: Pontos de captação e descarga da usina

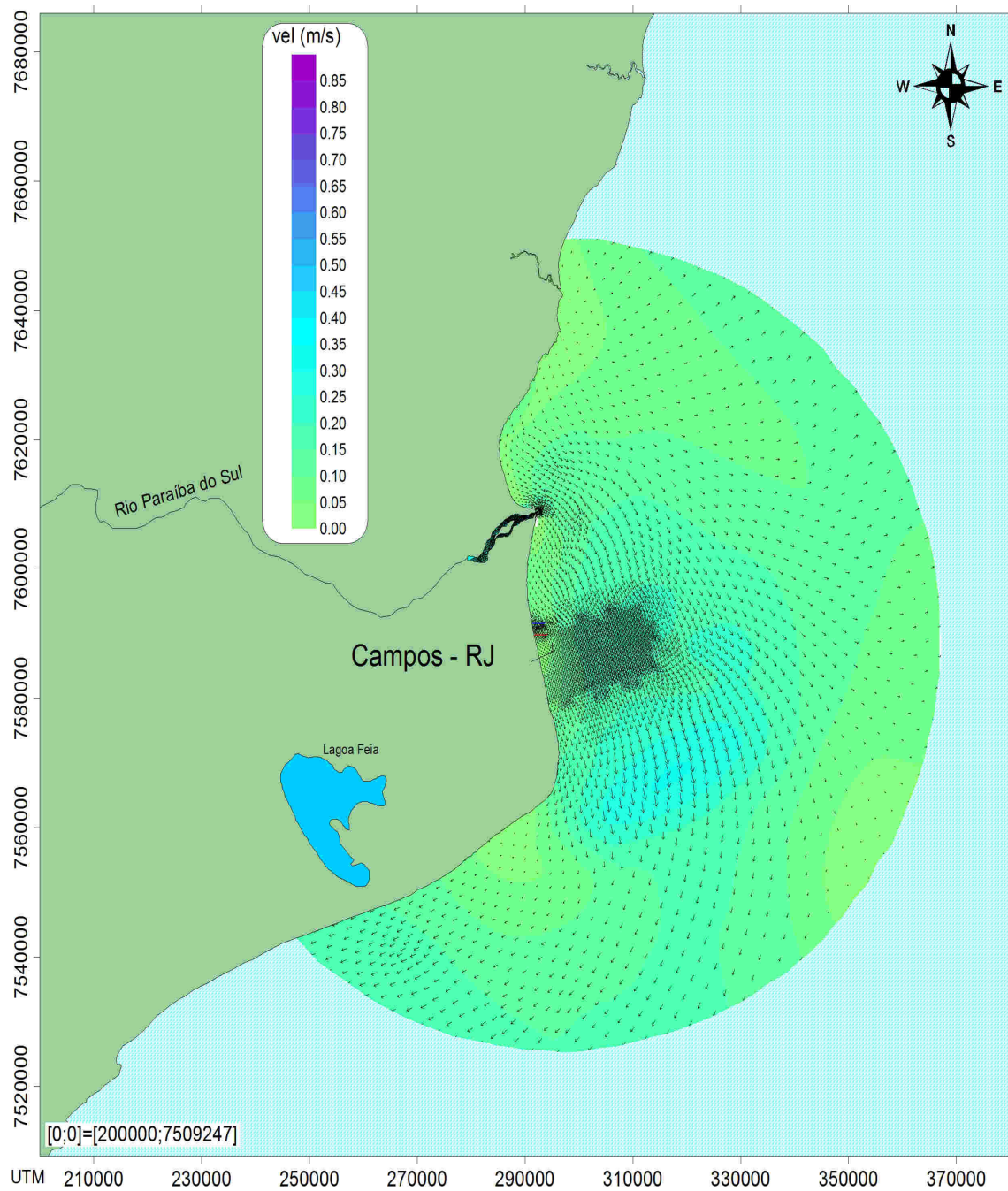


Figura 4-2: Resultado do modelo hidrodinâmico para vazante

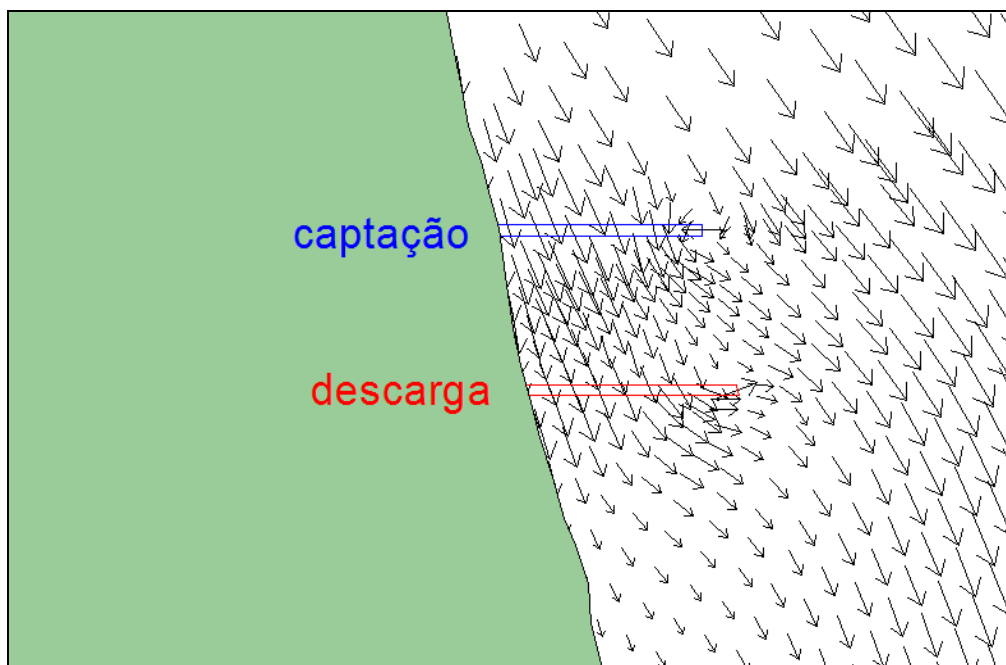


Figura 4-3: Resultado do modelo hidrodinâmico para vazante- em detalhe

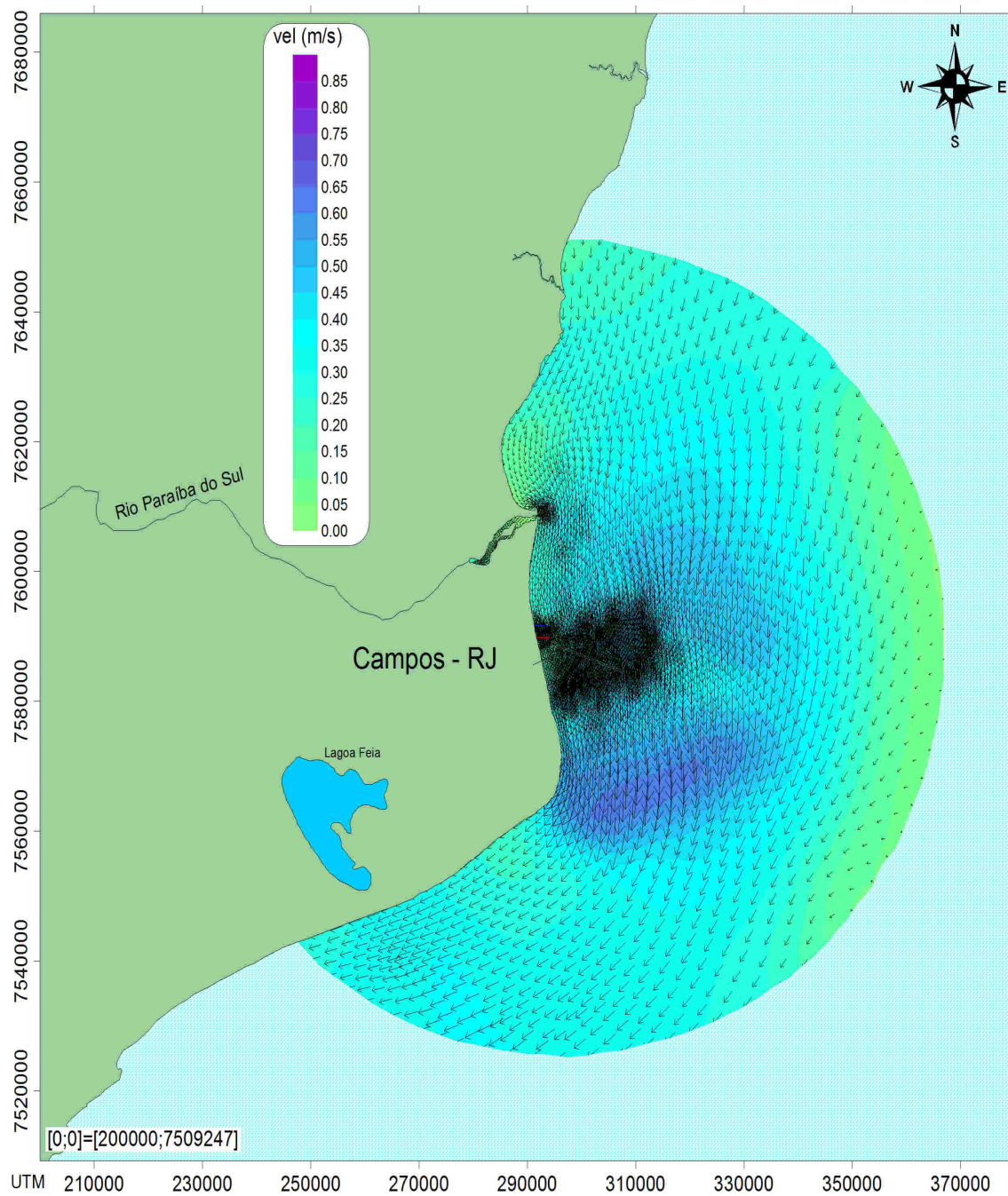


Figura 4-4: Resultado do modelo hidrodinâmico para enchente

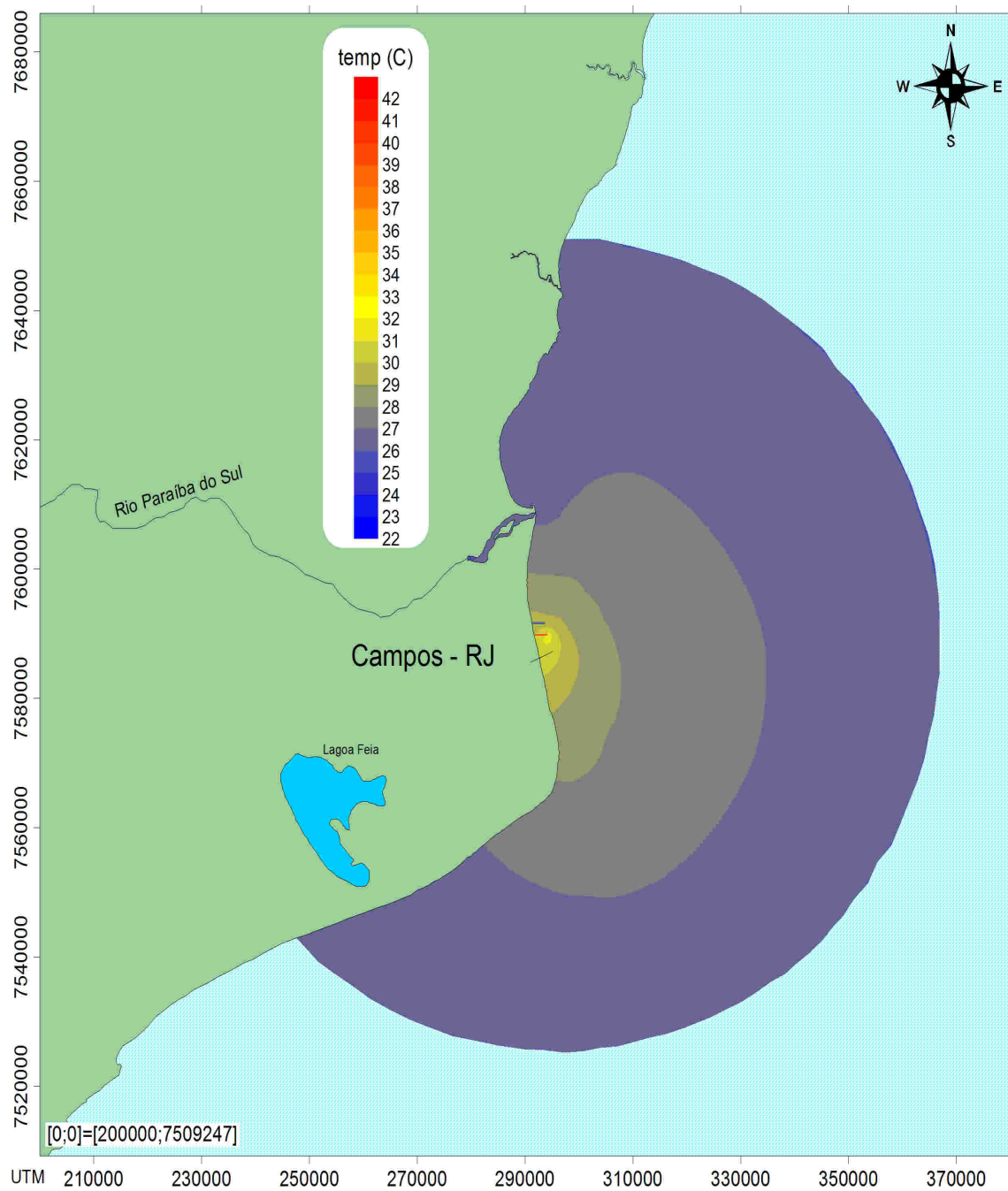


Figura 4-5: Resultado do modelo de qualidade de água (temperatura)

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOT, M. B., BASCO, D. R., 1989, *Computational Fluid Dynamics, an Introduction for Engineers*. Logan Group, UK Limited.

FEMAR, 1996. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil – Volume 13. Rio de Janeiro.

FEMAR, 2000. Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. 1ª Edição. Rio de Janeiro.

MARINHA DO BRASIL. Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN). Carta Náutica Nº 1400 – do Rio Doce ao Cabo de São Tomé. 1941.

MARINHA DO BRASIL. Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN), 2006. Tábua das marés para 2006.

ROSMAN, P. C. C. & GOBBI, E. F., 1990. “A Self-Adjusting Subgrid “Turbulence” Model for Shallow Water Flow”. *XI Congresso Latino Ibero Americano sobre Métodos Computacionais para Engenharia*, Rio de Janeiro, Out/1990.

ROSMAN, P. C. C., 2001, “Um Sistema Computacional de Hidrodinâmica Ambiental”. In: *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos 5*, Capítulo 1, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.

WU, J., 1982, “Wind Stress Over Sea Surface from Breeze to Hurricane”, *Journal of Geophysical Research*, 87 (C12), pp. 9704-9706.