



PROJETO BÁSICO COM DETALHAMENTO CONSTRUTIVO DOS MOLHES DE FIXAÇÃO DA BARRA DO RIO ARARANGUÁ, MUNICÍPIO DE ARARANGUÁ (SC)

MODELAGEM NUMÉRICA DE ALTERNATIVAS - ANÁLISE DOS EFEITOS NOS PADRÕES DE INUNDAÇÃO DAS ÁREAS ADJACENTES (PRODUTO ADICIONAL)

1. INTRODUÇÃO

De acordo com CPE (2011), após as obras de dragagem do novo canal e implementação das estruturas de fixação da desembocadura do Rio Araranguá, o canal atual será naturalmente fechado. No presente documento são descritos os procedimentos de implementação da modelagem numérica de inundação associada a eventos de vazão fluvial extrema no Rio Araranguá, localizado no litoral sul do Estado de Santa Catarina (SC). As simulações numéricas foram conduzidas considerando 3 diferentes cenários batimétricos/estruturais: condição atual, Alternativa 1 (abertura e fixação do canal do Rio Araranguá) e Alternativa 1 considerando a embocadura atual fechada. As forçantes físicas e demais parâmetros de entrada do modelo numérico foram mantidos os mesmos entre os cenários simulados.

2. MODELAGEM NUMÉRICA

A modelagem numérica foi executada utilizando o modelo *Delft3D*, desenvolvido pela *Deltares*, em Delft, Holanda e utilizou os mesmos parâmetros descritos previamente em CPE (2011a).

1. DADOS DE ENTRADA

A fim de analisar o sobrenível d'água associados aos diferentes cenários batimétricos/estruturais, foram considerados nas simulações os efeitos conjuntos de vazões extremas do Rio Araranguá e das variações de marés (astronômica e meteorológica).

O regime de maré para a região de Araranguá é de micromaré. No entanto, aumentos significativos em sua amplitude podem ocorrer em consequência das marés meteorológicas associadas principalmente à entrada de frentes frias (BARRETO, 2008). Portanto, condições críticas de escoamento das águas do Rio Araranguá estariam relacionadas à coincidência de eventos de maré meteorológica positiva eventos de vazão extrema (alta pluviosidade na bacia



hidrográfica).

Para inserir o efeito de marés meteorológicas positivas nas simulações numéricas, dados de marés meteorológicas foram extraídos de uma série temporal de maré medida pela Companhia Docas de Imbituba – CDI ($28^{\circ} 14' S / 48^{\circ} 39' W$) durante o período compreendido entre 05/2008 a 02/2009. Um evento de maré meteorológica positiva intensa foi selecionado e adicionado à maré astronômica reconstruída a partir das constantes harmônicas da FEMAR obtidas para a localidade de Araranguá.

A vazão do Rio Araranguá selecionada para estas simulações reproduz um evento série de vazão da enchente de 1995 (do período de 21/12/1995 a 05/01/1996).

As forçantes de nível foram ajustadas de modo que o pico da maré meteorológica coincidissem com o momento instantâneo do pico da vazão do Rio Araranguá, como demonstrado na Figura 1. Tal procedimento torna o evento simulado hipotético, representando condições extremas que induzem enchentes na área de estudo, mas não diretamente associado ao evento de enchente ocorrido anteriormente.

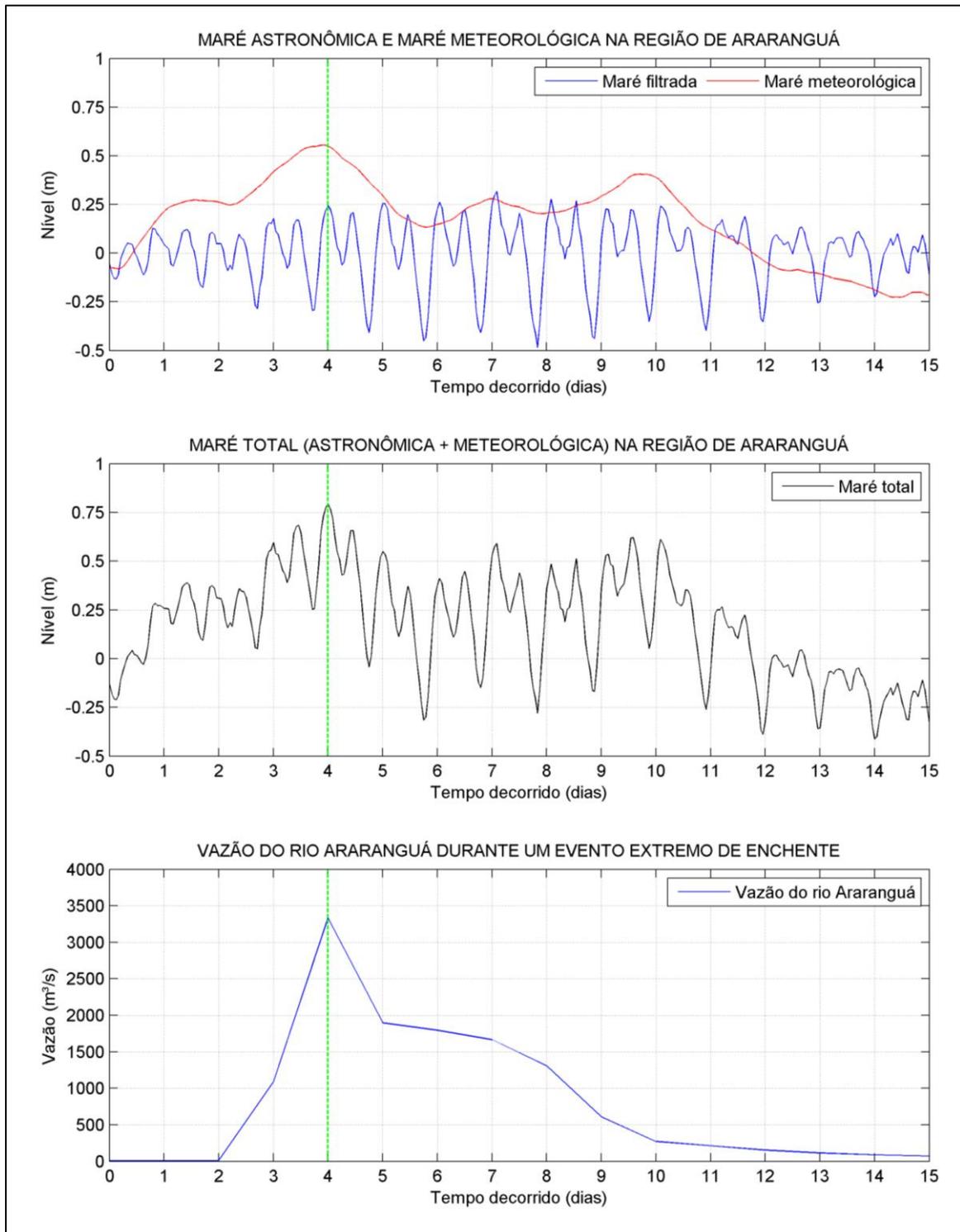


Figura 1 – Gráfico demonstrando a maré astronômica prevista para a região, em azul (quadro superior), o sinal meteorológico extraído da série medida pela CDI, em vermelho, a maré total composta, em preto, e a série temporal de vazão em azul (quadro inferior). Uma linha verde tracejada foi adicionada a todos os quadros para demonstrar que os picos de maré e vazão foram alinhados de forma a reproduzirem condições críticas ao escoamento do Rio Araranguá.

3. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

CENÁRIO ATUAL

No cenário atual, a posição da desembocadura do Rio Araranguá está situada na extremidade nordeste, com o canal paralelo à linha de costa. O mapa batimétrico associado ao cenário atual é apresentado na Figura 2.

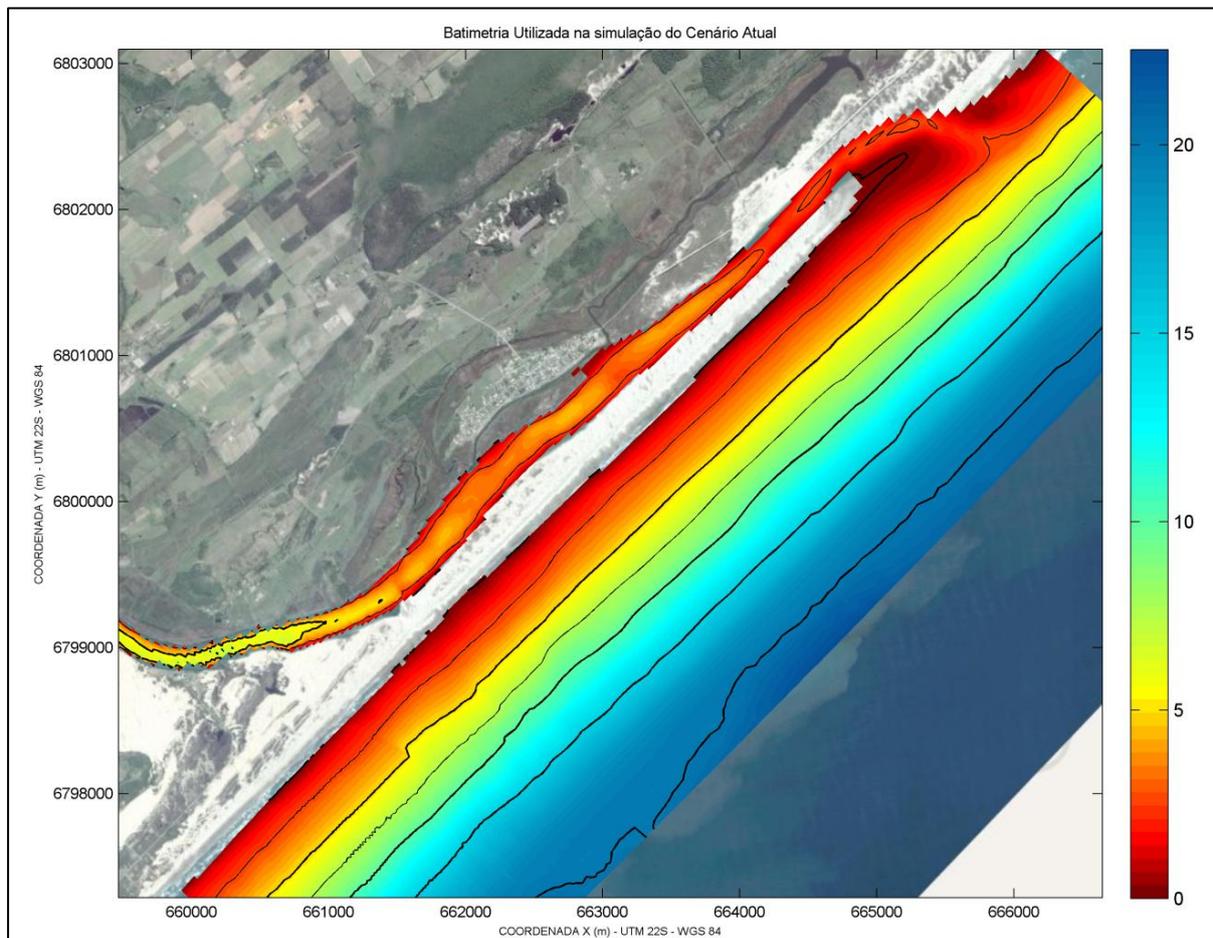


Figura 2: Cenário Atual. Batimetria em metros (MSL).

ALTERNATIVA 1 - PROJETO CPE (Com o canal da antiga desembocadura ainda aberto)

O cenário 2 corresponde ao arranjo estrutural do projeto desenvolvido pela Coastal Planning e Engineering do Brasil (CPE-2011b) apresentado na Figura 3. O canal de navegação possui profundidade de 5 m. Nas demais áreas, a batimetria é idêntica à utilizada no cenário atual. Nota-se neste cenário a presença de duas embocaduras conectando o Rio Araranguá ao Oceano Atlântico.

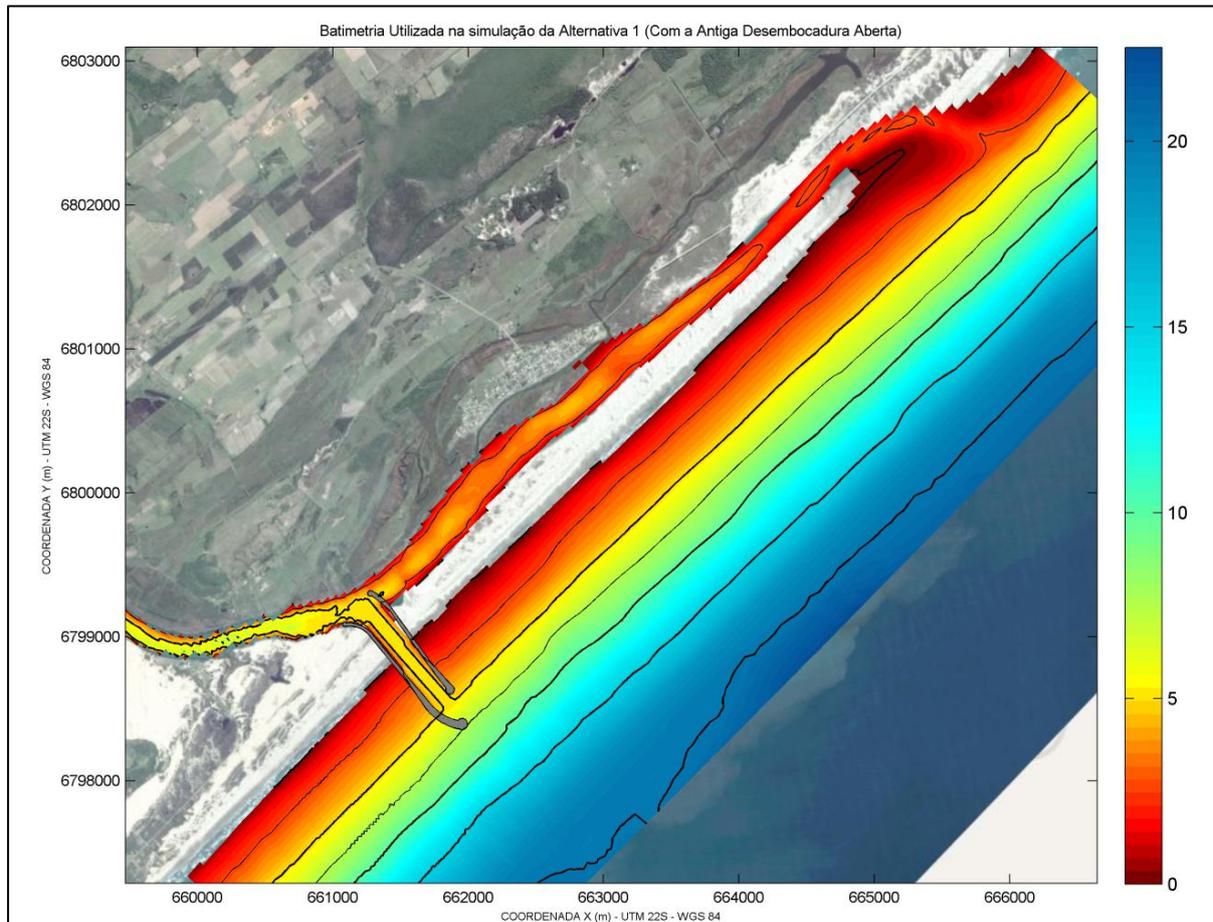


Figura 3: Alternativa 1. Estruturas de fixação representadas pelos polígonos em cinza. Batimetria em metros (MSL).

ALTERNATIVA 1 - PROJETO CPE (Com o canal da antiga desembocadura fechado)

De acordo com CPE (2011b), o canal antigo será naturalmente fechado após a abertura do novo canal proposto. Este cenário batimétrico (apresentado na Figura 4) é idêntico ao anterior, porém uma estrutura impermeável foi adicionada na configuração do modelo para reproduzir o efeito do fechamento do canal, impedindo o fluxo hidrodinâmico através da antiga desembocadura.

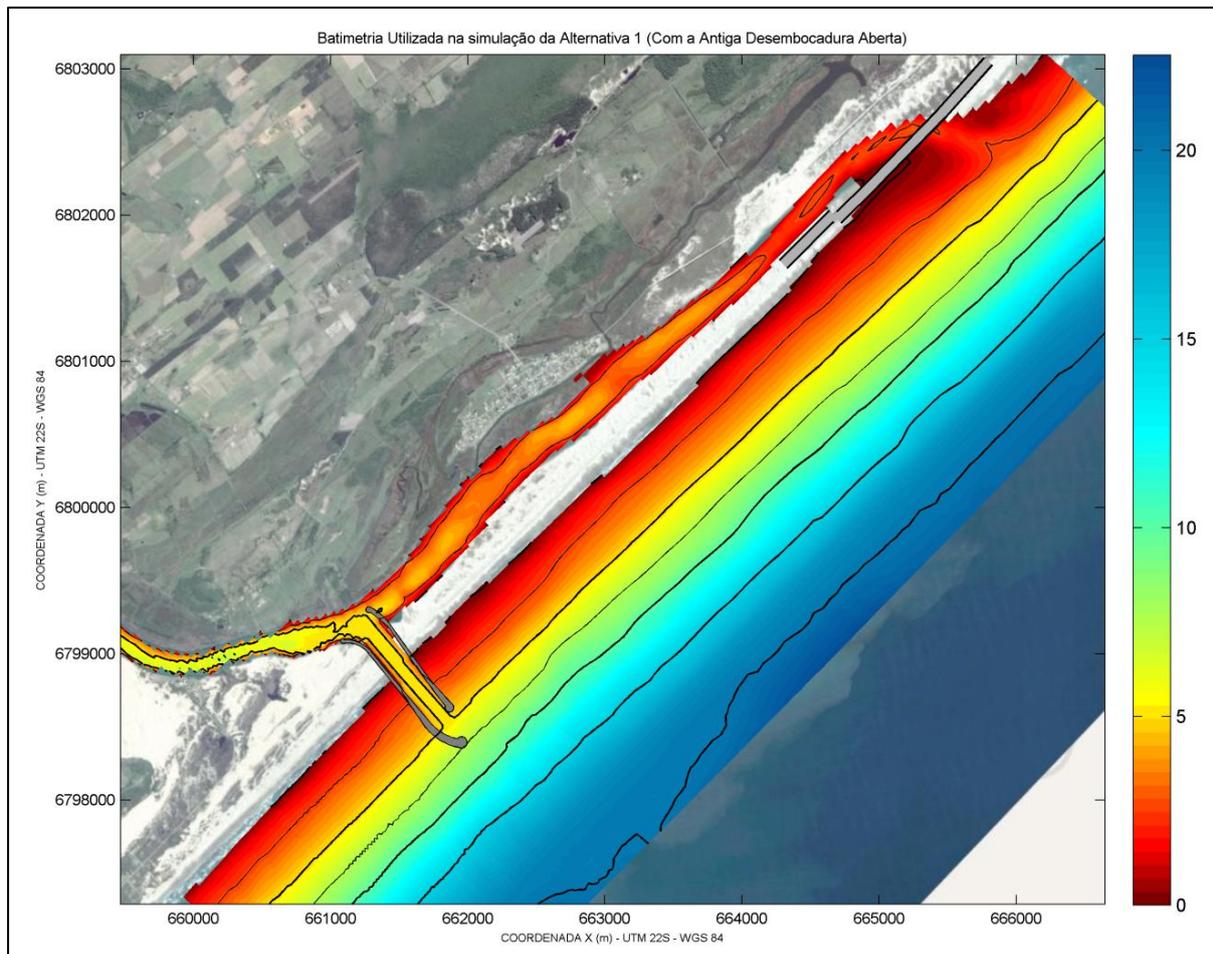


Figura 4: Alternativa 1. Estruturas de fixação, e barreira hidrodinâmica representadas pelos polígonos em cinza. Batimetria em metros (MSL).

4. RESULTADOS

Entre os resultados das simulações apresentados neste documento estão incluídos gráficos de velocidade de correntes próximo à desembocadura e mapas de elevação da superfície da água associado a cada cenário batimétrico/estrutural proposto; bem como comparações de séries temporais de nível da água em pontos de controle pré-definidos.

Os resultados de velocidades de correntes na região da embocadura do Rio Araranguá são apresentados na Figura 5 a Figura 7, e representam o fluxo de água na região da desembocadura durante o evento de vazão fluvial extrema. Percebe-se que no cenário anterior atual as correntes atingem velocidades superiores a 4 m/s na região da desembocadura, e cerca de 2,5 m/s nas proximidades da Comunidade de Ilhas.

Nos resultados associados a Alternativa 1 (aberta), nota-se que o fluxo d'água ocorre preferencialmente pela nova desembocadura, com velocidades máximas de 3,5 m/s. Uma menor fração da vazão é direcionada à embocadura atual, onde as correntes atingem velocidade máxima de 1,5 m/s. Em frente à Comunidade de Ilhas observam-se velocidades de correntes de aproximadamente a 0,5 m/s.

Por fim, durante a simulação da Alternativa 1 com a embocadura atual fechada, observa-se que o fluxo ocorre exclusivamente pela nova desembocadura. As correntes atingem velocidades próximas a 4 m/s entre as estruturas de fixação propostas. Os fluxos em frente à Comunidade de Ilhas são irrelevantes.

Velocidade Máxima de Correntes (m/s) - Cenário Atual

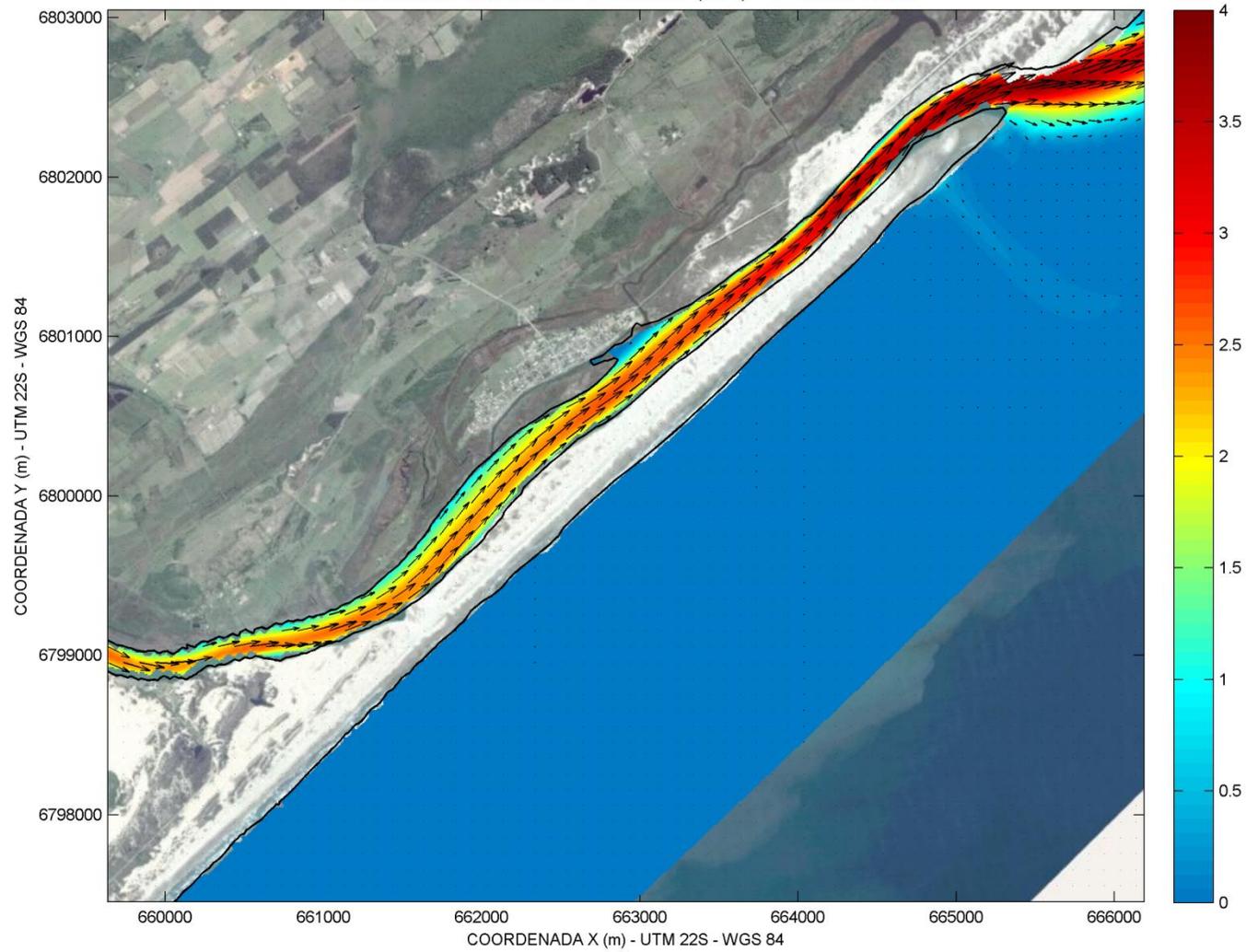


Figura 5: Velocidade de correntes no pico máximo de velocidade durante a simulação do Cenário Atual.

Velocidade Máxima de Correntes (m/s) - Alternativa 1

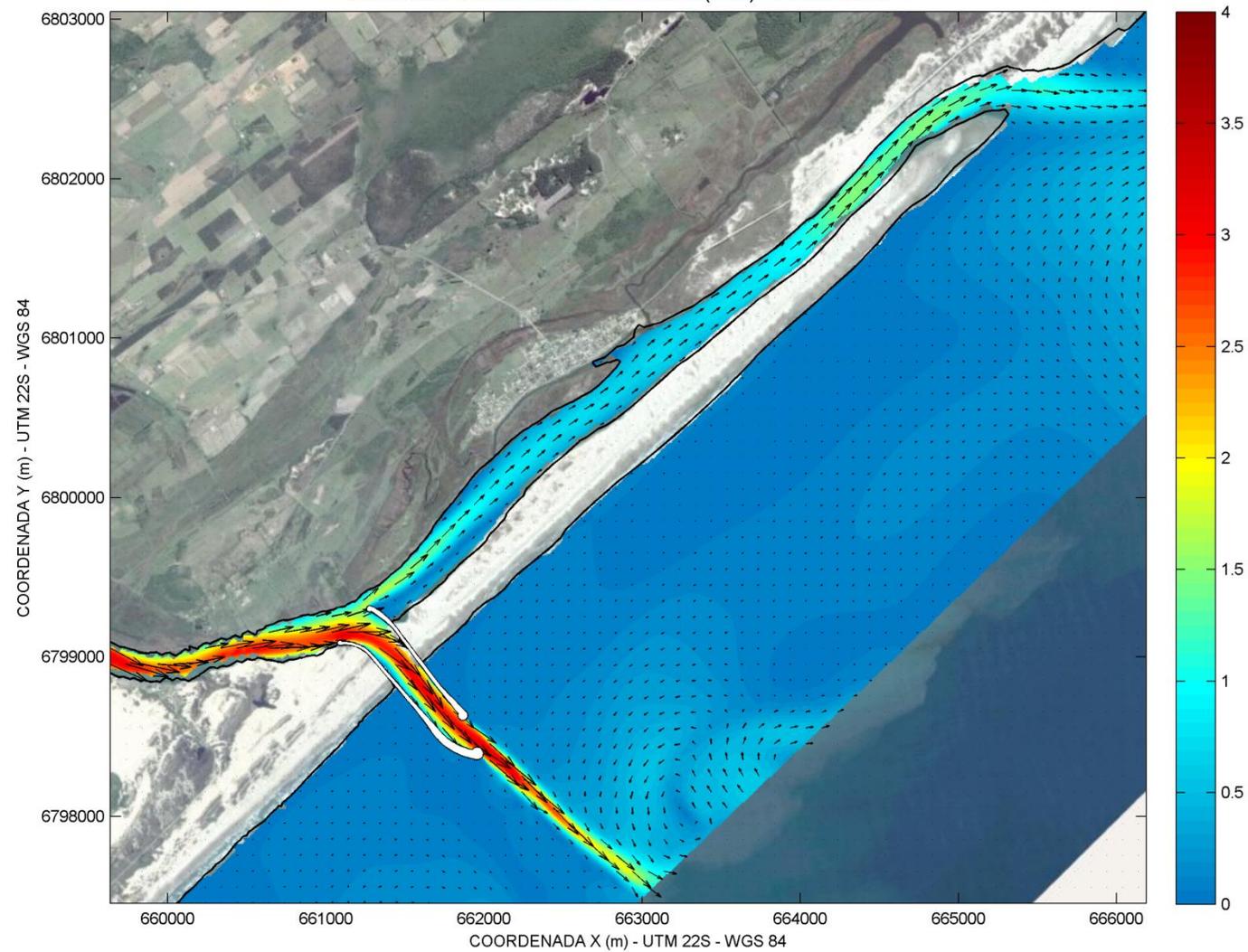


Figura 6: Velocidade de correntes no pico máximo de velocidade durante a simulação da Alternativa 1 (aberta).

Velocidade Máxima de Correntes (m/s) - Alternativa 1 (fechada)



Figura 7: Velocidade de correntes no pico máximo de velocidade durante a simulação da Alternativa 1 (fechada).

Os resultados de inundação são apresentados na forma de mapas de inundação e gráficos de nível d'água. Os mapas associados a cada cenário são apresentados para 3 diferentes momentos indicados na Figura 8. O primeiro momento representa o início do evento extremo de vazão (anterior à enchente); o segundo momento está associado ao pico máximo de vazão fluvial e o terceiro momento representa a condição após a enchente, durante a descida do nível de água (Figura 10 a Figura 18). As séries temporais de nível da água obtidas no decorrer de toda a simulação são apresentadas para os pontos de controle apresentados na Figura 9.

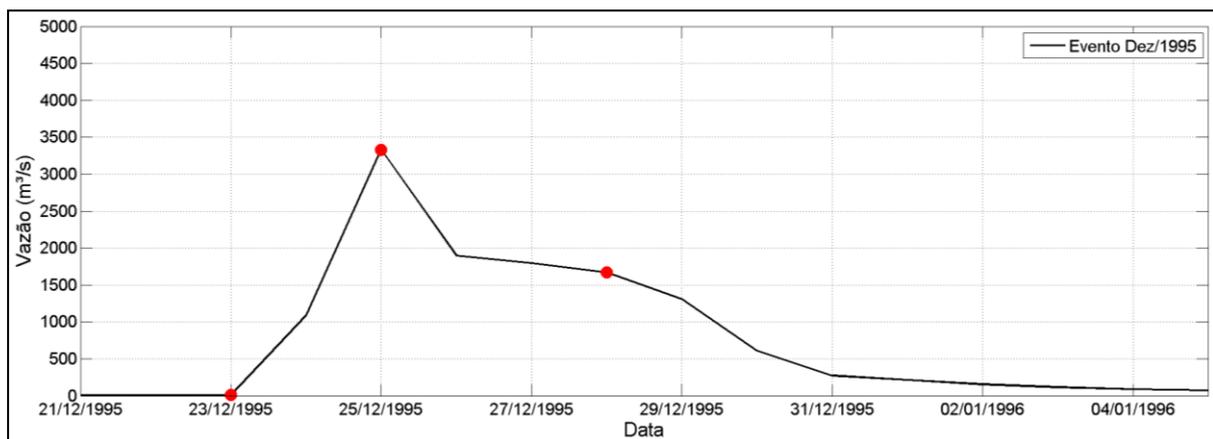


Figura 8: Série temporal de vazão do Evento 2 e os tempos selecionados (pontos em vermelho) para gerar os mapas de nível de água.



Figura 9: Pontos de controle pré-definidos para análise da variação do nível da água ao longo do tempo de simulação.

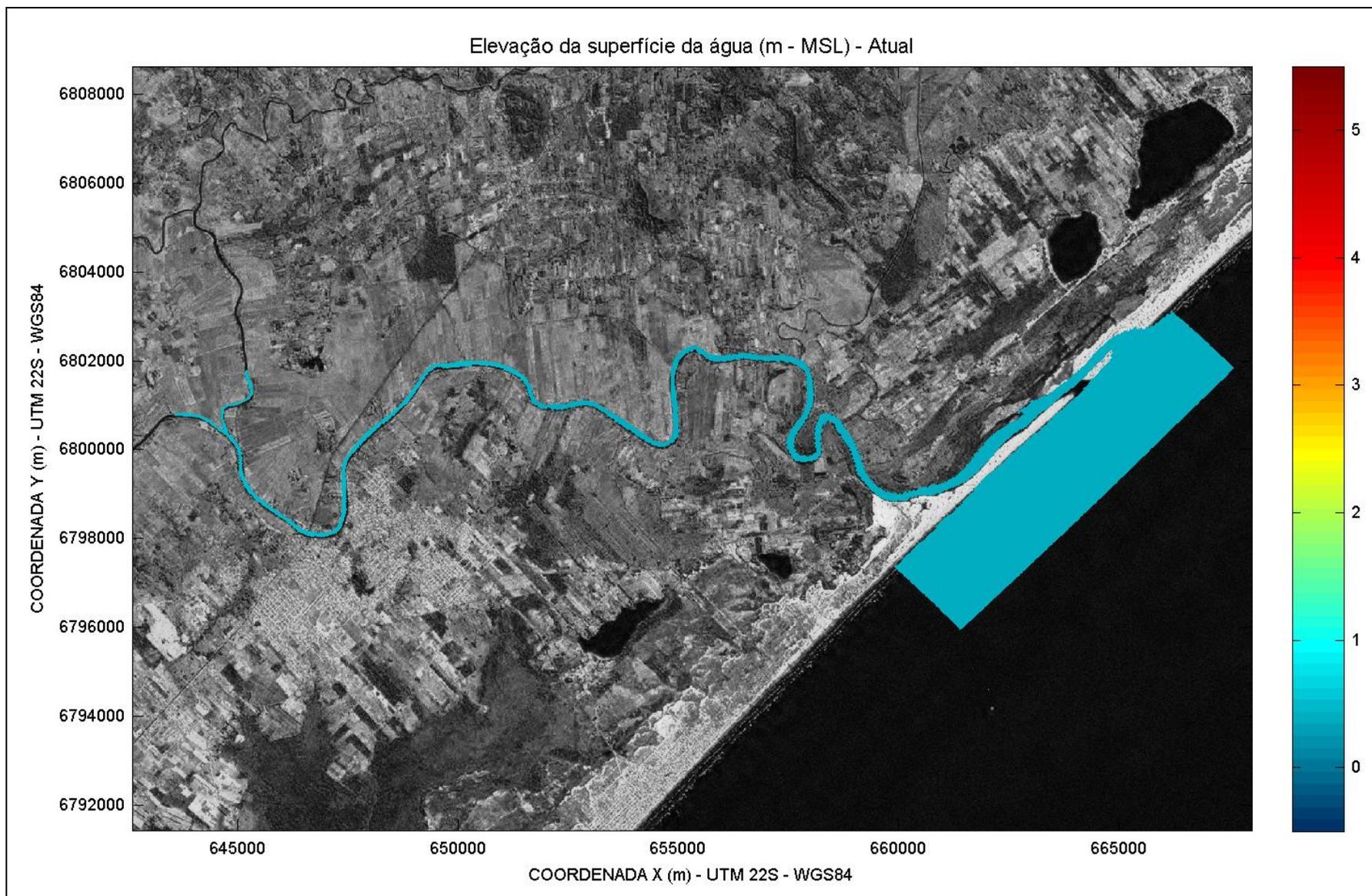


Figura 10: Nível da água no momento 1, para o Cenário A tual.

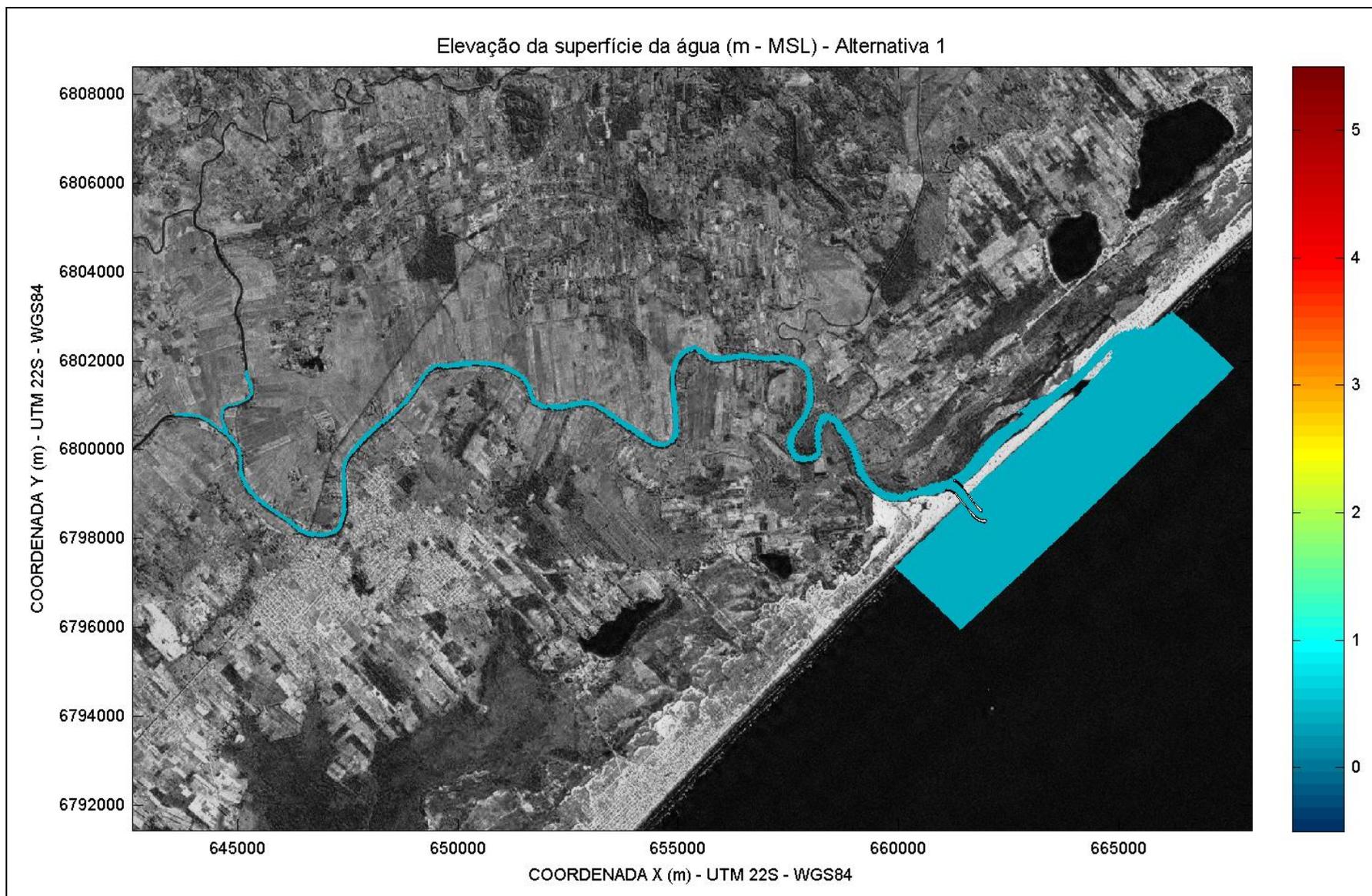


Figura 11: Nível da água no momento 1, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga aberta.

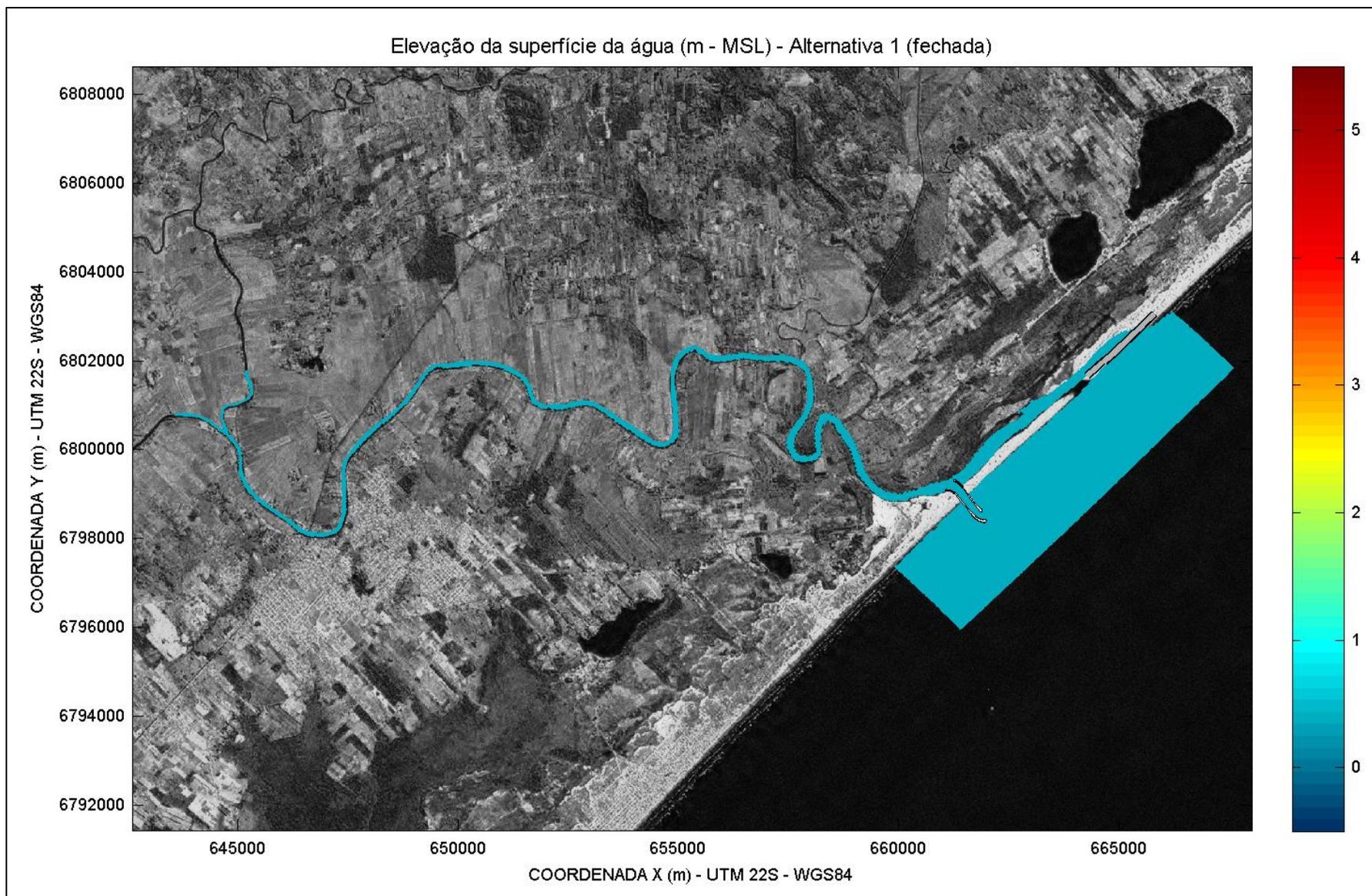


Figura 12: Nível da água no momento 1, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga fechada.

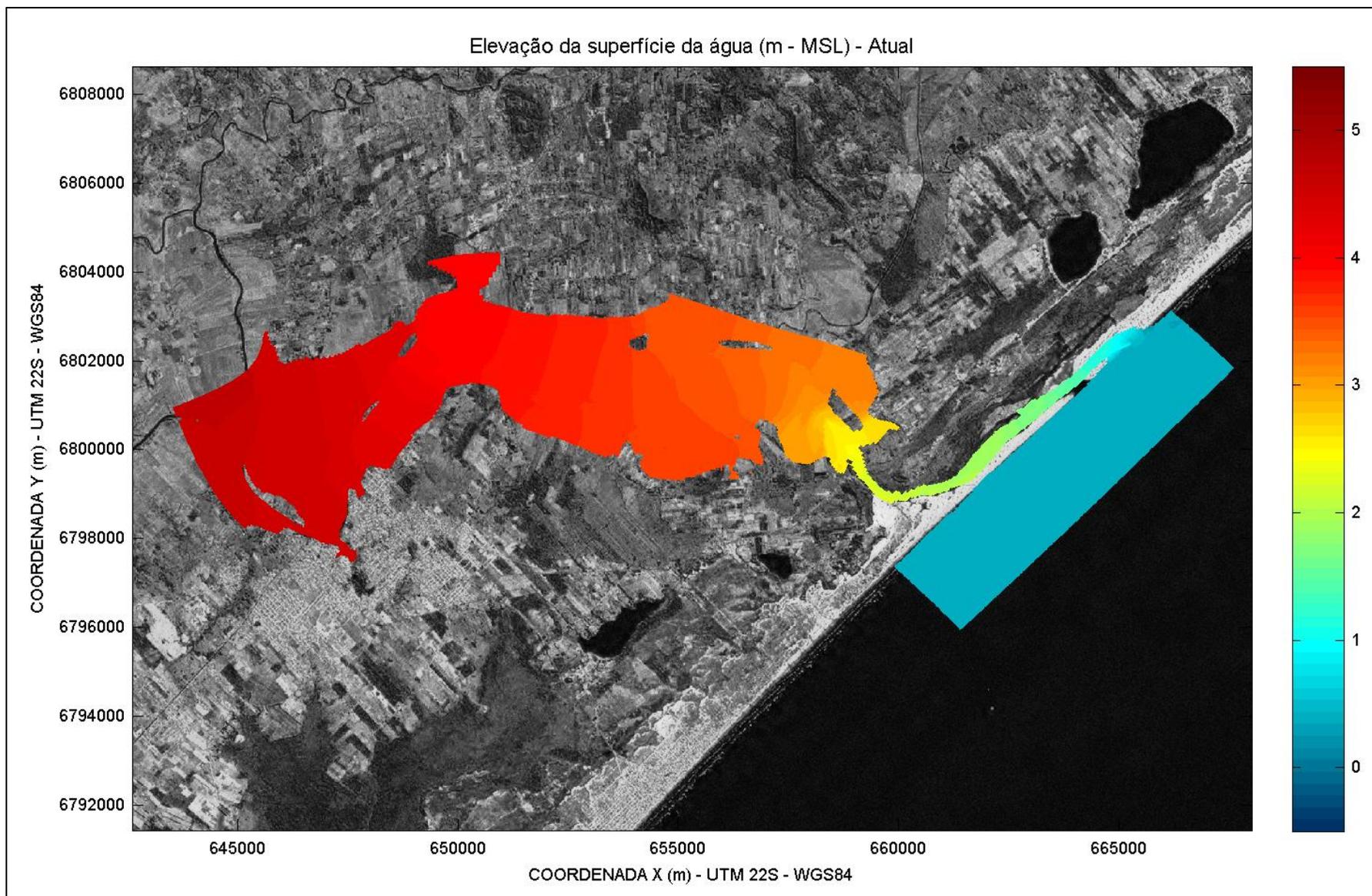


Figura 13: Nível da água no momento 2, para o Cenário Atual.

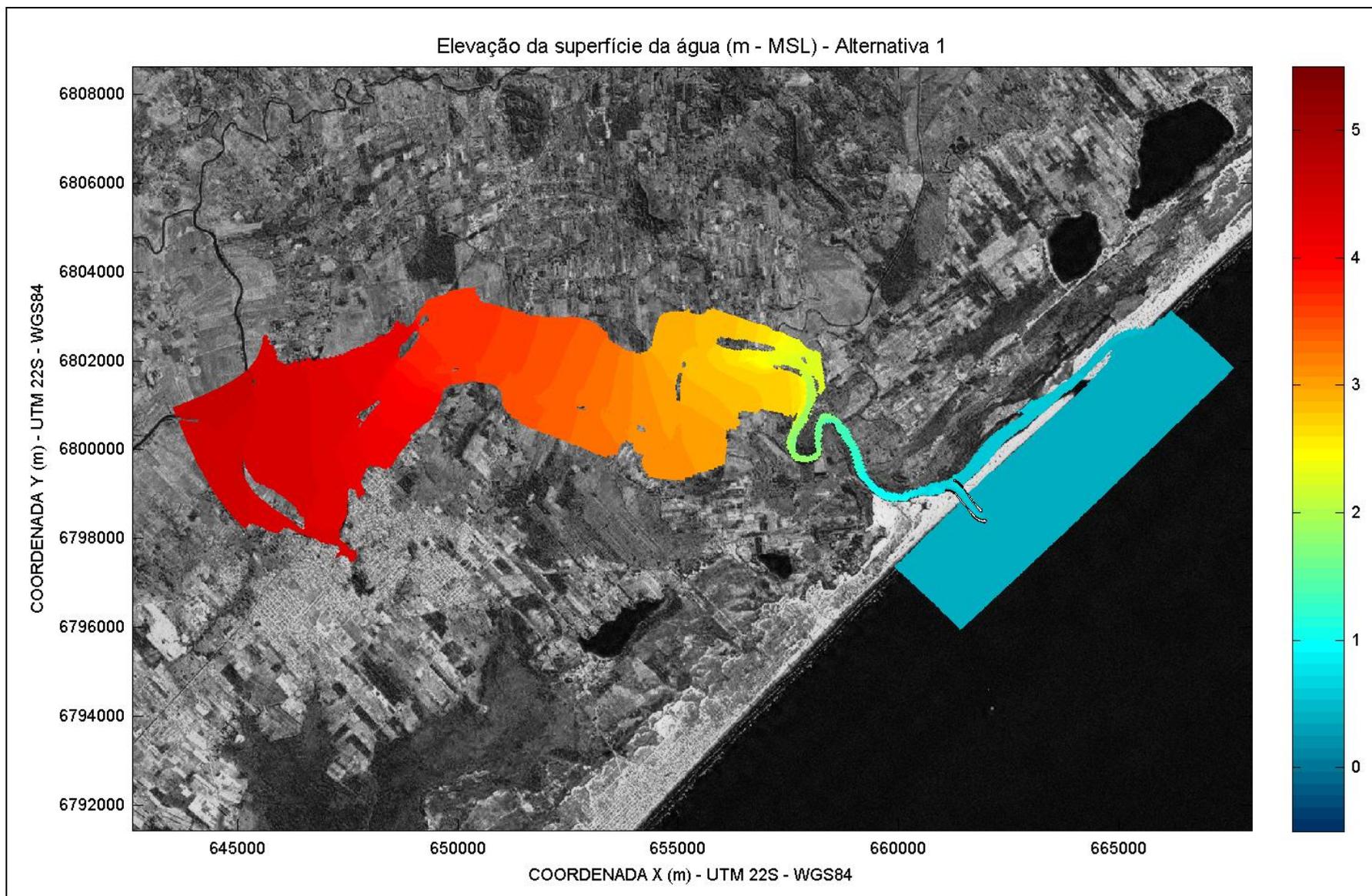


Figura 14: Nível da água no momento 2, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga aberta.

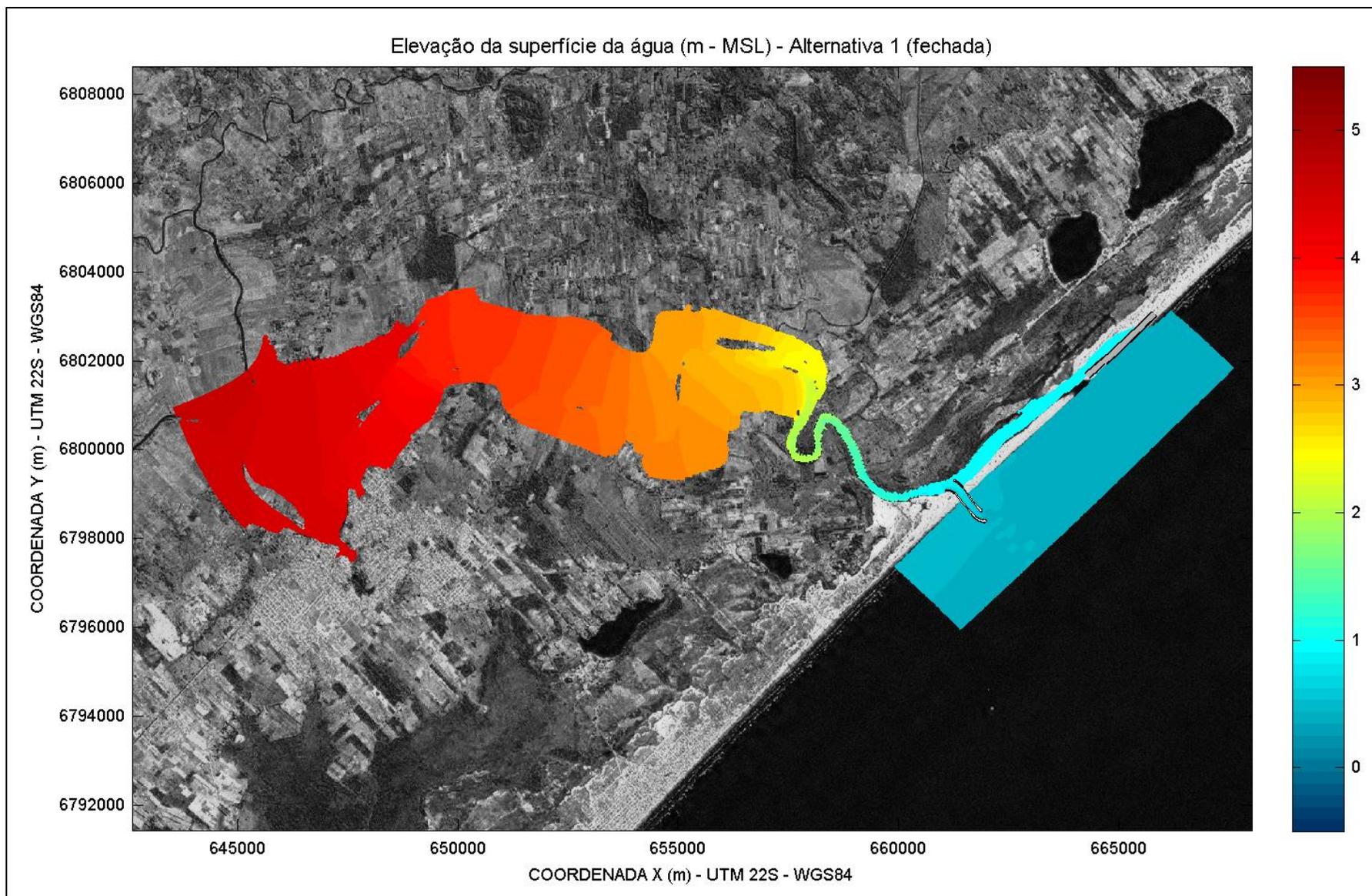


Figura 15: Nível da água no momento 2, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga fechada.

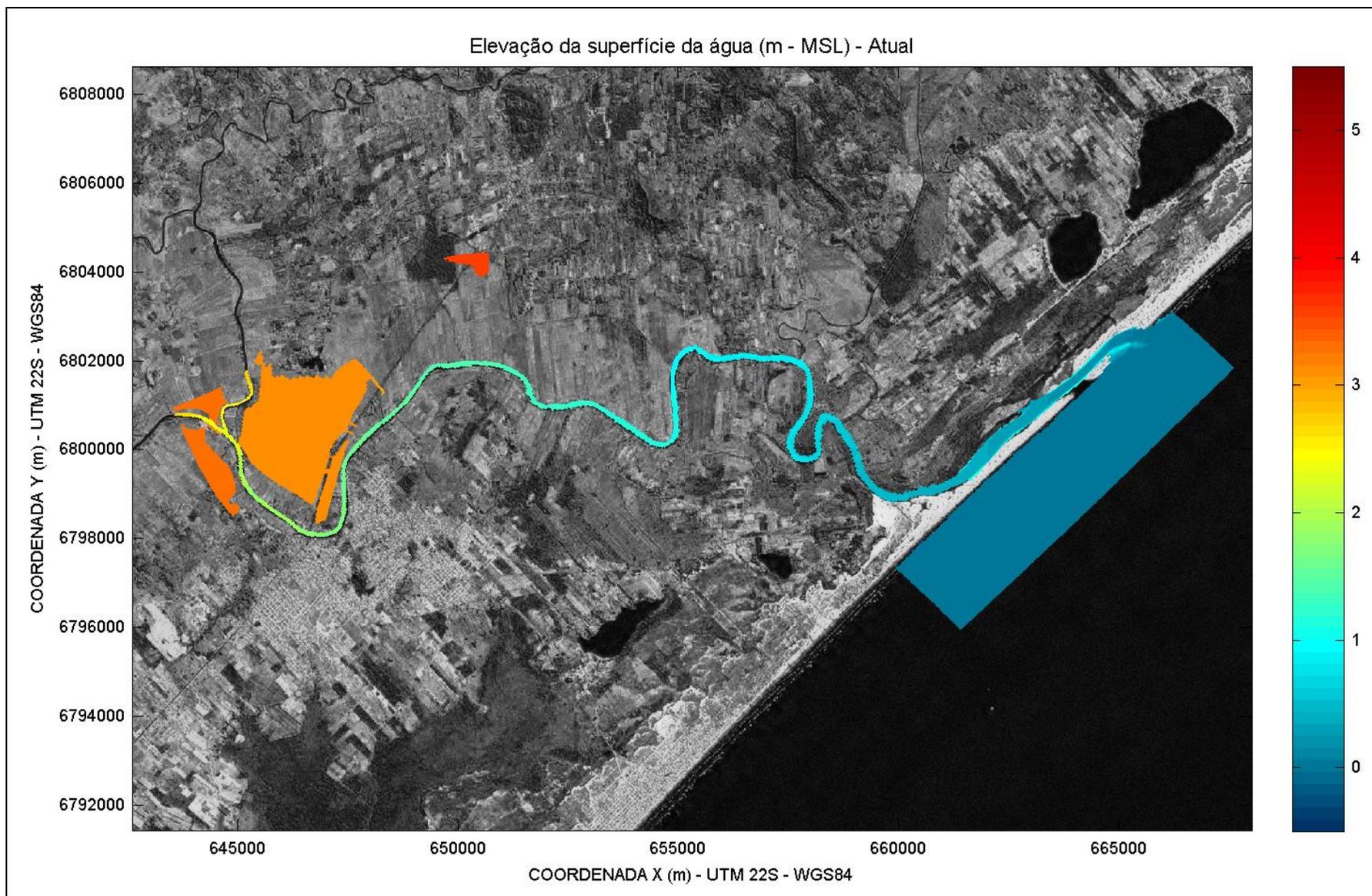


Figura 16: Nível da água no momento 1, para o Cenário Atual.

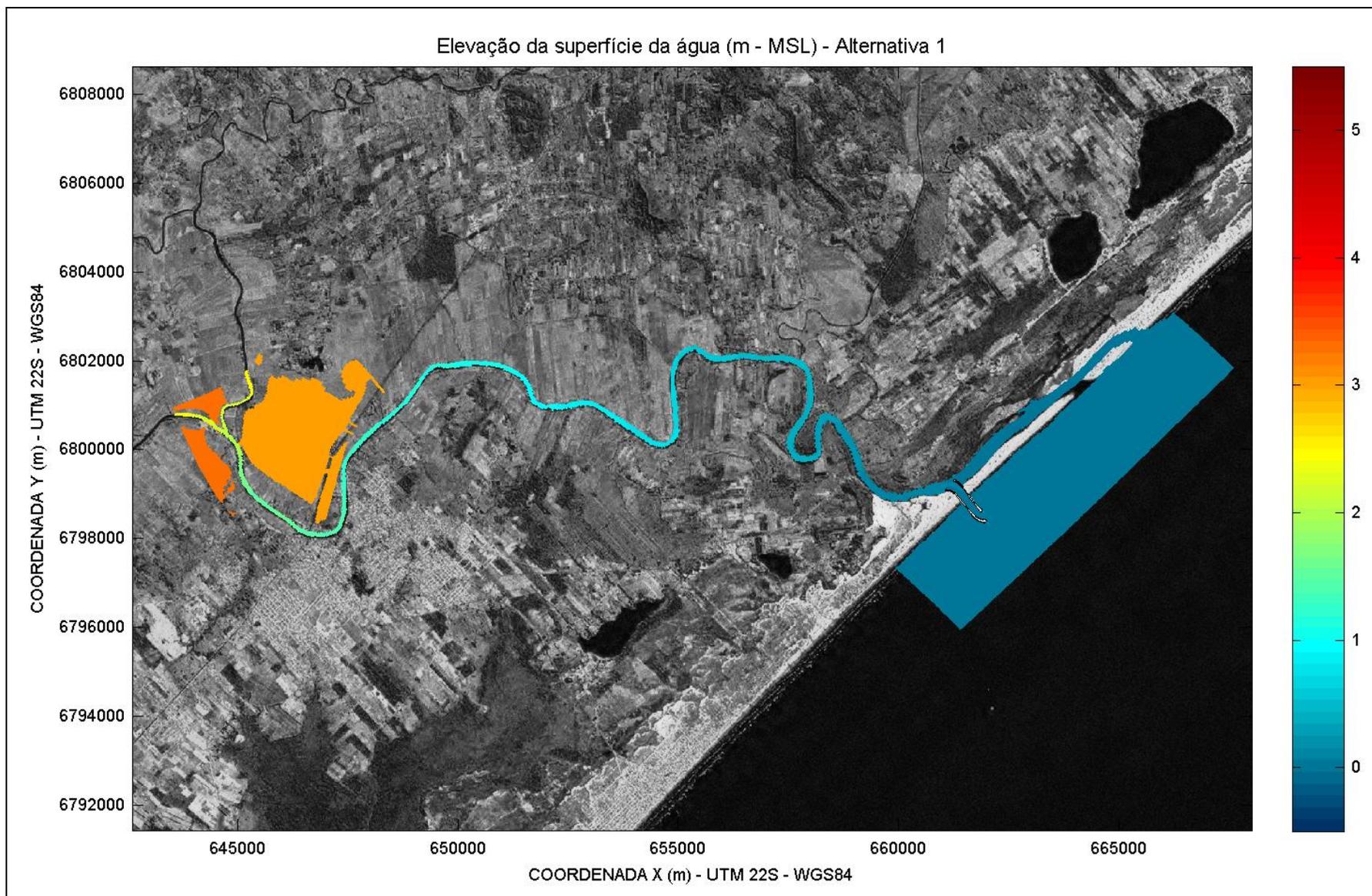


Figura 17: Nível da água no momento 3, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga aberta.



Figura 18: Nível da água no momento 3, para a Alternativa 1, com a desembocadura antiga fechada.

Na Figura 19 a Figura 26 são apresentadas as séries temporais de elevação da superfície da água associadas aos pontos de controle e considerando os diferentes cenários batimétricos/estruturais definidos anteriormente.

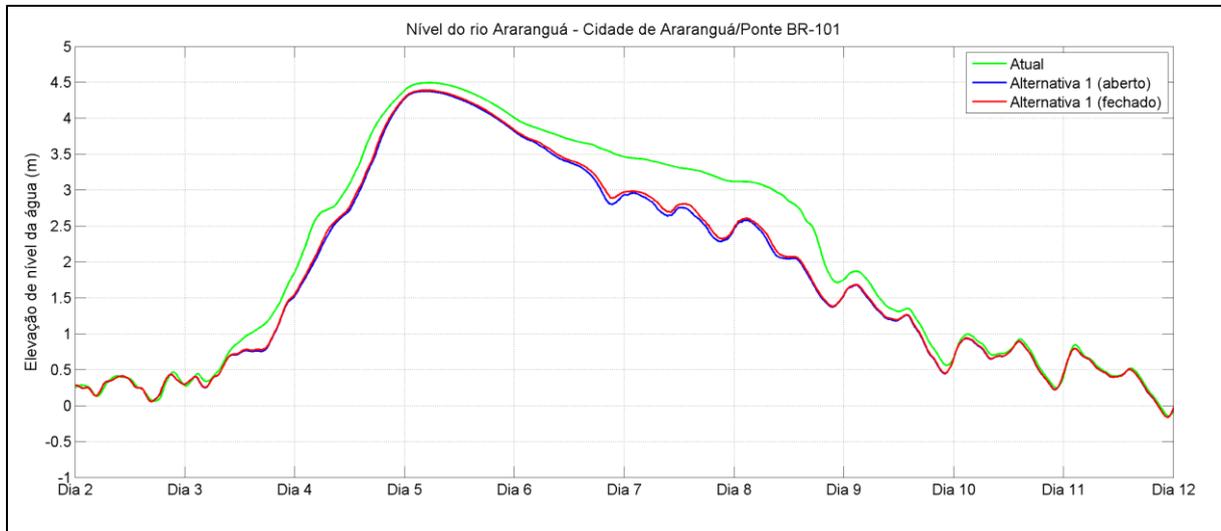


Figura 19: Série de nível d'água para todos os cenários simulados no Ponto de Controle 1: Cidade de Araranguá, ao longo da simulação.

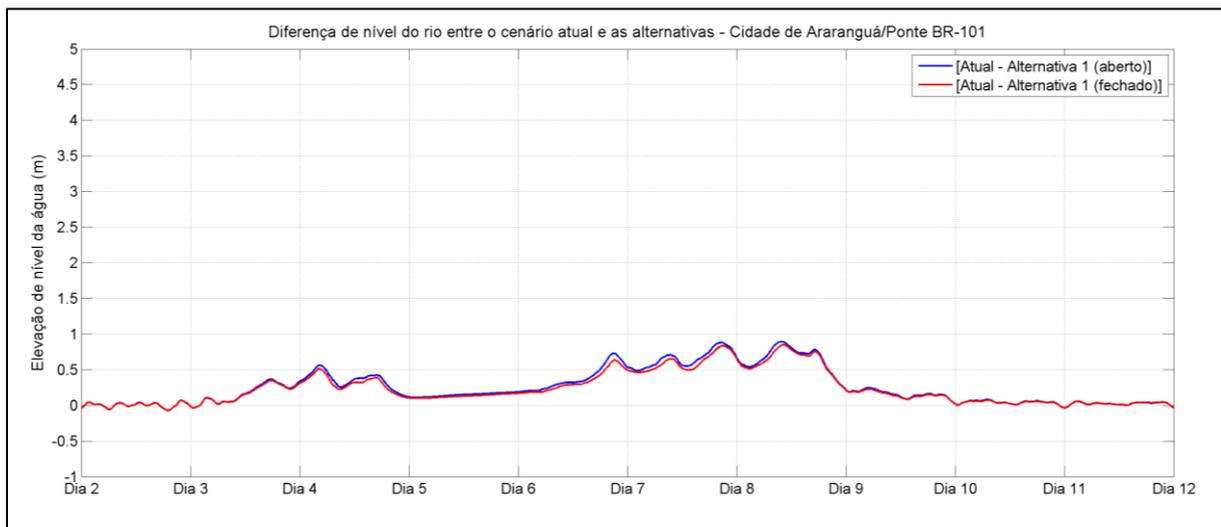


Figura 20: Comparação entre o desempenho da Alternativa 1 com a desembocadura antiga aberta ou fechada, em relação ao Cenário Atual. Ponto de Controle 1: Cidade de Araranguá.

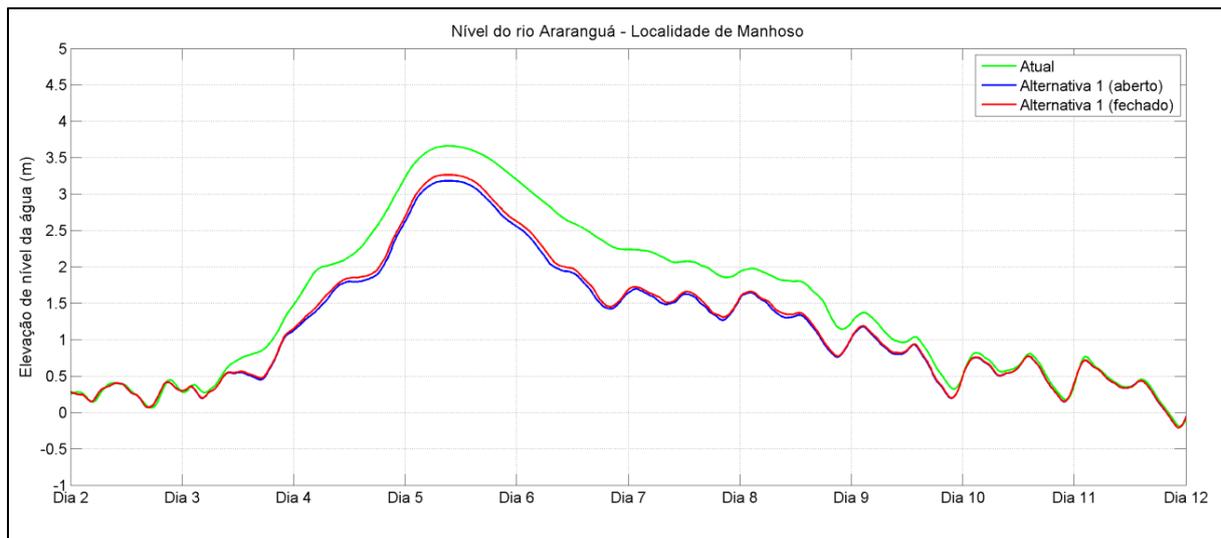


Figura 21: Série de nível d'água para todos os cenários simulados no Ponto de Controle 2: Localidade de Manhoso, ao longo da simulação.

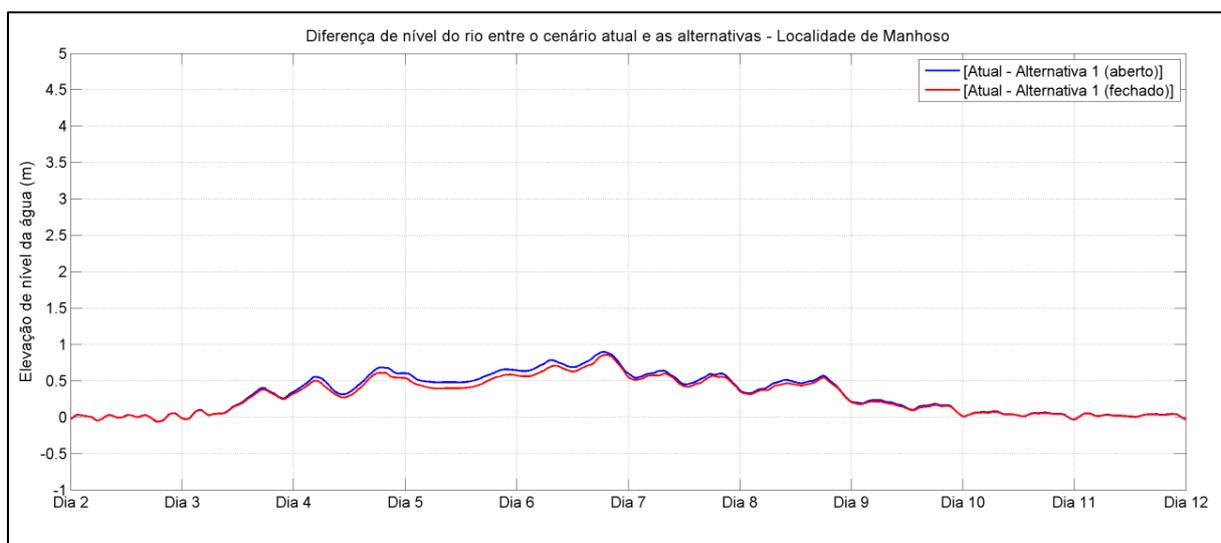


Figura 22: Comparação entre o desempenho da Alternativa 1 com a desembocadura antiga aberta ou fechada, em relação ao Cenário Atual. Ponto de Controle 2: Localidade de Manhoso.

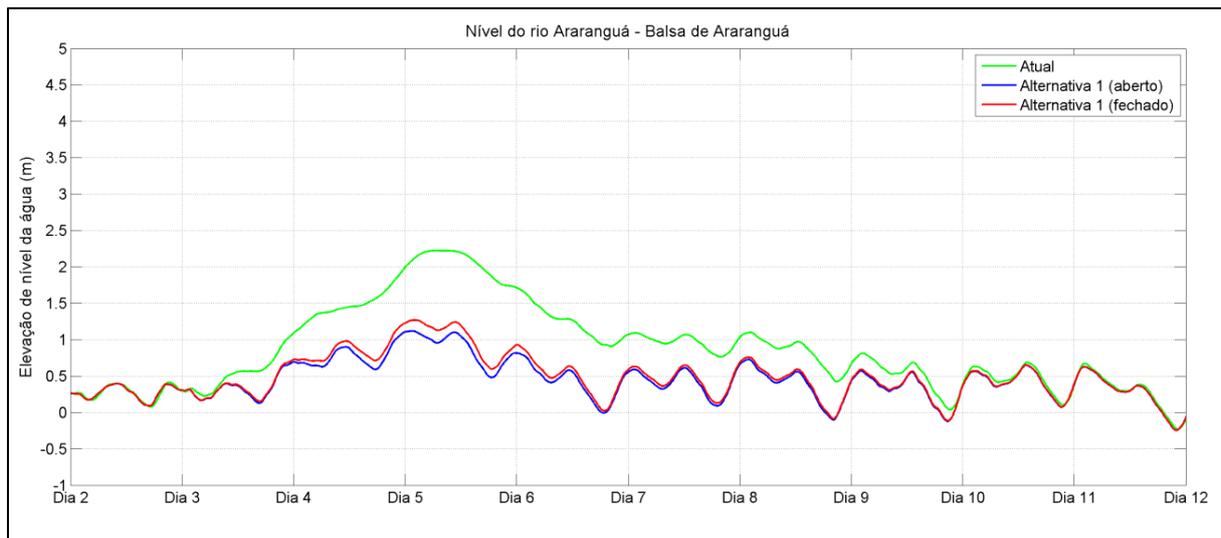


Figura 23: Série de nível d'água para todos os cenários simulados no Ponto de Controle 3: Balsa de Araranguá, ao longo da simulação.

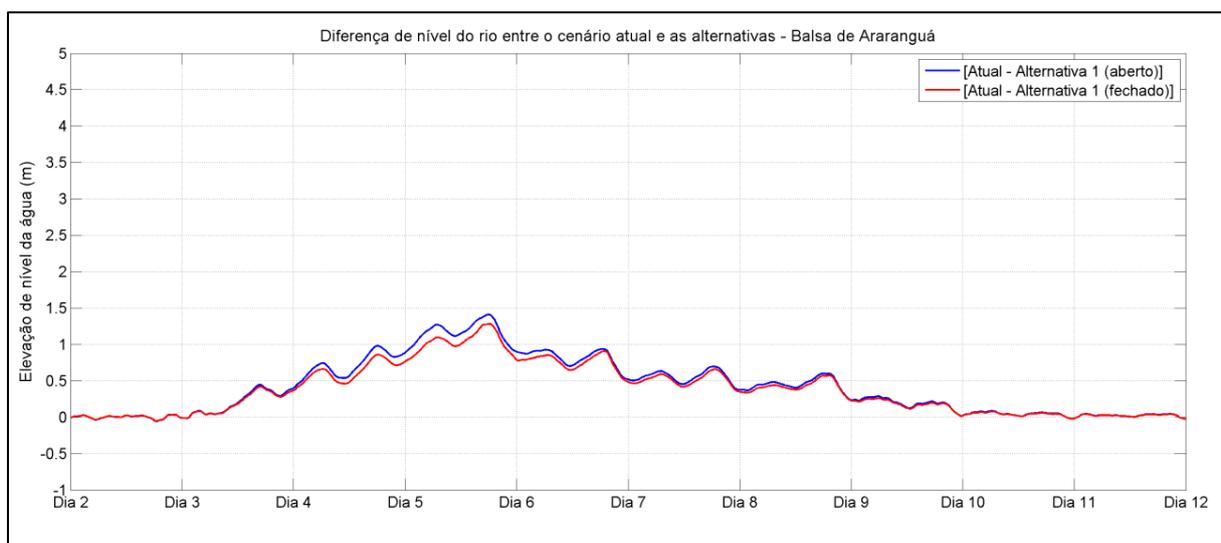


Figura 24: Comparação entre o desempenho da Alternativa 1 com a desembocadura antiga aberta ou fechada, em relação ao Cenário Atual. Ponto de Controle 3: Balsa de Araranguá.

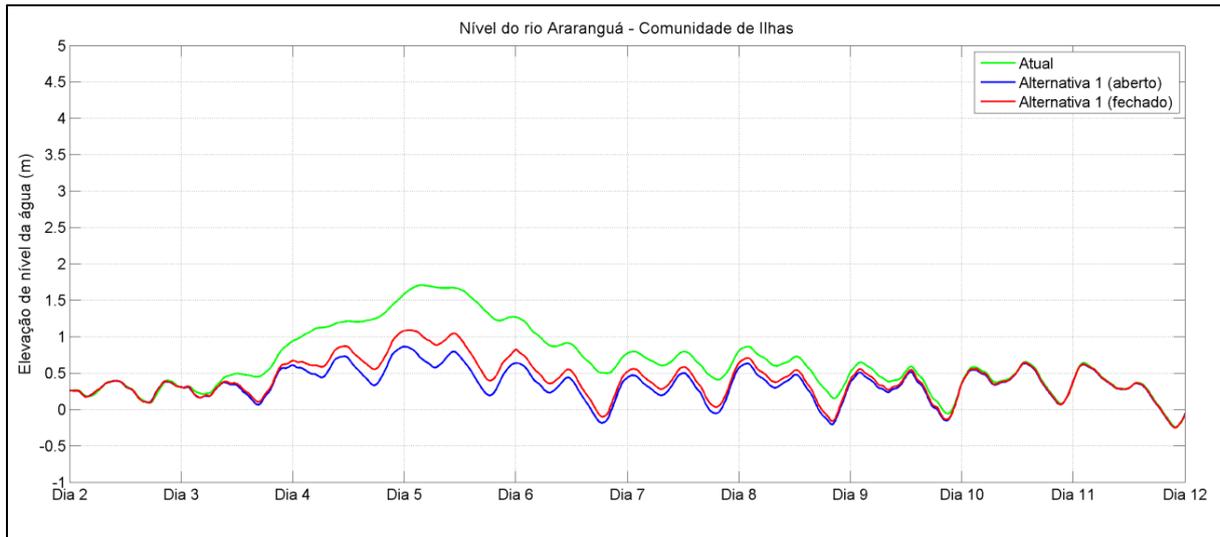


Figura 25: Série de nível d'água para todos os cenários simulados no ponto de controle 4: Comunidade de Ilhas, ao longo da simulação.

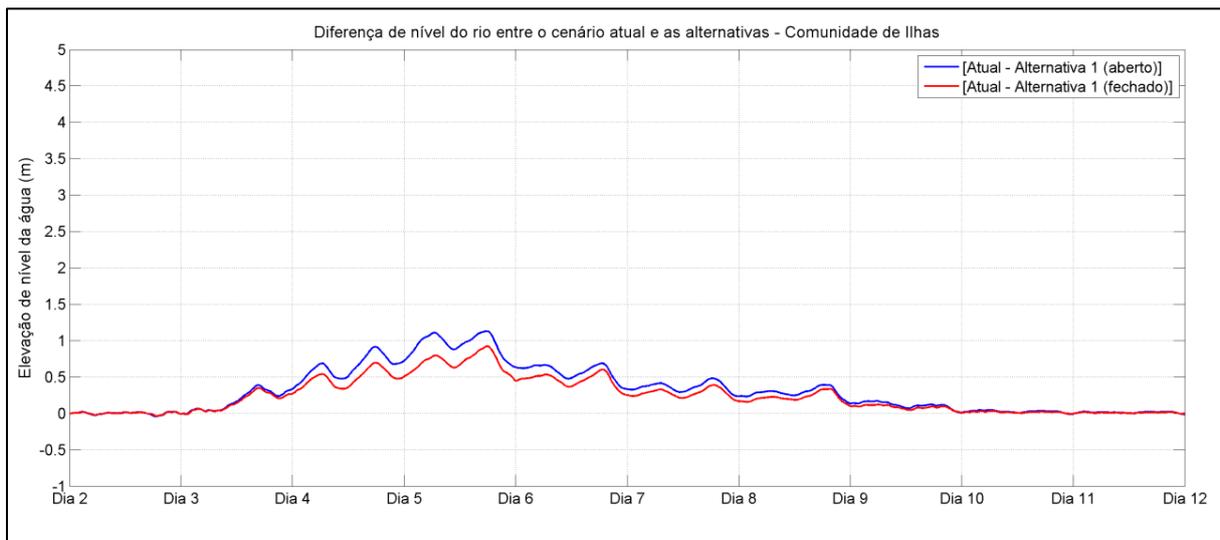


Figura 26: Comparação entre o desempenho da Alternativa 1 com a desembocadura antiga aberta ou fechada, em relação ao Cenário Atual. Ponto de Controle 4: Comunidade de Ilhas.

De modo geral, os resultados das simulações considerando a Alternativa 1 com o canal atual aberto e fechado possuem padrões semelhantes. Os resultados apresentados na Figura 10 à Figura 26 indicam que a fixação e aprofundamento da foz do Rio Araranguá (Alternativa 1) favorece o escoamento das águas durante eventos de elevada vazão fluvial, resultando em menor sobrenível d'água em relação às simulações considerando o cenário atual. Estes resultados estão de acordo com o reportado em CPE (2011a), onde é incluída uma descrição



mais detalhada dos efeitos da obra de abertura e fixação da foz do Rio Araranguá durante eventos de vazão extrema. As maiores diferenças entre os resultados dos cenários considerando a Alternativa 1 com o canal atual aberto e fechado são observadas nas proximidades da embocadura do sistema (i.e. pontos de controle Comunidade de Ilhas e Balsa de Araranguá).

Nota-se que no cenário considerando a Alternativa 1 e o canal atual fechado ocorre uma diminuição do escoamento das águas do rio em direção ao mar em relação ao cenário considerando a Alternativa 1 e o canal atual aberto. Todavia, as diferenças entre os resultados dos dois cenários considerando a Alternativa 1 são menores que as diferenças em relação ao cenário atual. Sendo assim, conclui-se que os benefícios associados a Alternativa 1 durante eventos de vazão extrema são mantidos mesmo após o fechamento da desembocadura atual.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um evento de vazão extrema do Rio Araranguá foi simulado em concomitância com um evento de maré meteorológica positiva. Nas simulações levou-se em conta três diferentes cenários batimétricos/estruturais: 1) condição atual; 2) considerando a implementação da Alternativa 1 (com o canal atual permanecendo também aberto); e 3) considerando a implementação da Alternativa 1 e o fechamento do canal atual.

Os resultados das simulações numéricas indicaram que, estando o novo canal aberto (Alternativa 1), há um escoamento preferencial das águas do Rio Araranguá através do canal proposto pela alternativa, em função de sua maior proximidade com o mar e maiores profundidades do canal. O fluxo d'água é otimizado na região da desembocadura do sistema, onde encontram-se as áreas mais rasas do canal atual, diminuindo desta forma o sobrenível d'água a montante observado durante eventos de vazão extrema.

Os resultados associados ao cenário considerando duas desembocaduras, Alternativa 1 e canal atual aberto, indicaram as menores cotas de sobrenível do rio. O fechamento do canal atual resultou em um sobrenível adicional principalmente na região da desembocadura do sistema. Contudo, as diferenças observadas entre os dois cenários considerando a desembocadura fixada e aprofundada foram inferiores as diferenças em relação ao cenário atual. Desta maneira, mesmo após o fechamento do canal atual, a Alternativa 1 permanece otimizando o escoamento da vazão do rio e diminuindo o sobrenível d'água durante eventos de vazão extrema.

Ressalta-se que a manutenção das cotas batimétricas do canal aprofundado proposto na Alternativa 1 é fundamental para assegurar os benefícios da alternativa durante eventos de vazão extrema.



6. REFERÊNCIAS

CPE (a) – COASTAL PLANNING AND ENGINEERING, 2011. Projeto básico com detalhamento construtivo dos molhes de fixação da barra do Rio Araranguá, município de Araranguá (SC) - Modelagem numérica de alternativas - análise dos efeitos nos Padrões de inundação das áreas adjacentes. 95 pp.

CPE (b) – COASTAL PLANNING AND ENGINEERING, 2011. Projeto básico com detalhamento construtivo dos molhes de fixação da barra do Rio Araranguá, município de Araranguá (SC) - Produto VIII: Dimensionamento e concepção da obra – modelagem numérica de alternativas. 66 pp.