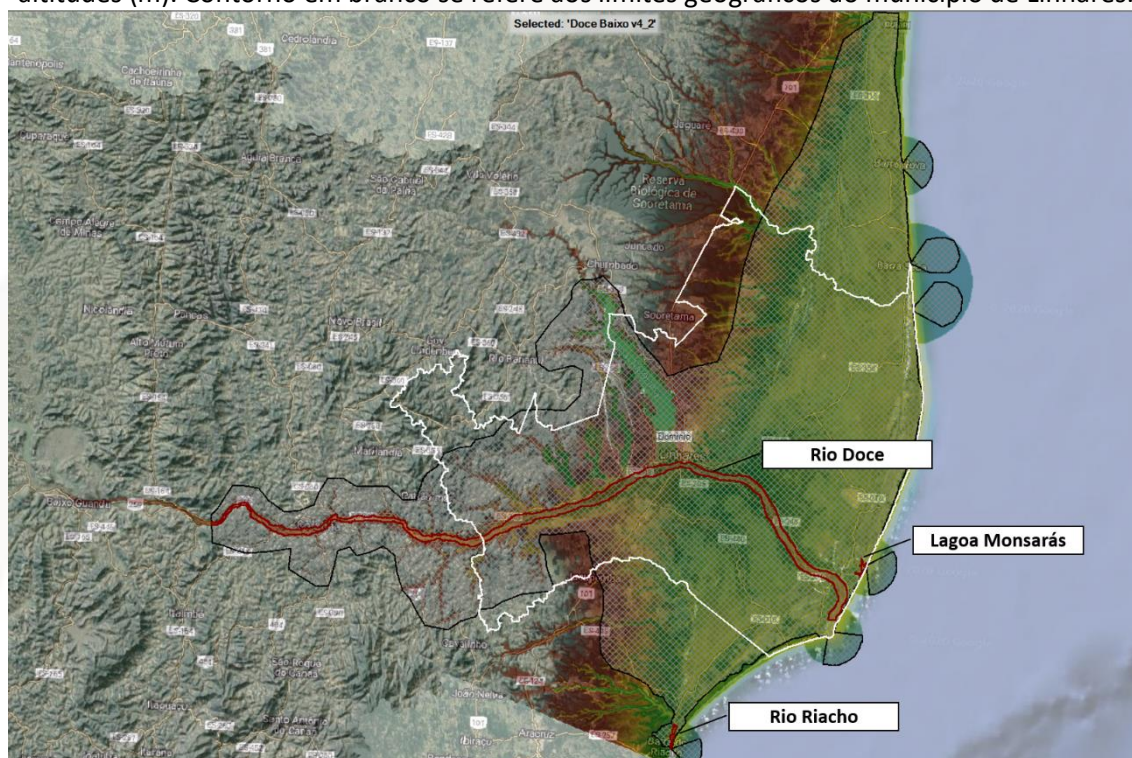


188 destaca o domínio global para computação (linha preta) e o município de Linhares (linha branca) definido para as simulações.

Figura 188 – Mapa do domínio global selecionado para simulação 2DH (contorno em preto) e altitudes (m). Contorno em branco se refere aos limites geográficos do município de Linhares.



Fonte: Lactec (2020).

A discretização espacial adotada para o domínio foi de 200 m x 200 m com refinamento da calha principal do rio Doce (100 m x 100 m), lagoa Monsarás (50 m x 50 m) e ao sul próximo a Barra do rio Riacho (50 m x 50 m) resultando em uma malha composta por 141 mil (ordem de grandeza) células computacionais. Adicionalmente realizou-se uma simulação separada da área próxima à Lagoa Nova com malha detalhada (5 m x 5m) para melhor representar esta região. As condições de contorno desta simulação foram os resultados da simulação da área como um todo. A Figura 189 ilustra a resolução obtida em trecho próximo à área urbanizada de Linhares, sendo possível observar as seções transversais do rio Doce representadas por um conjunto de células. A Figura 190 apresenta a resolução próximo a lagoa Nova.

Figura 189 - Composição MDT e Google Earth (acima) e malha computacional em 200 x 200m com refinamento na calha principal (abaixo) em trecho próximo ao centro de Linhares.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 190 - Malha detalhada (5m x 5m) utilizada na simulação próximo à lagoa Nova.



Fonte: Lactec (2020).

Condições de contorno e condição inicial

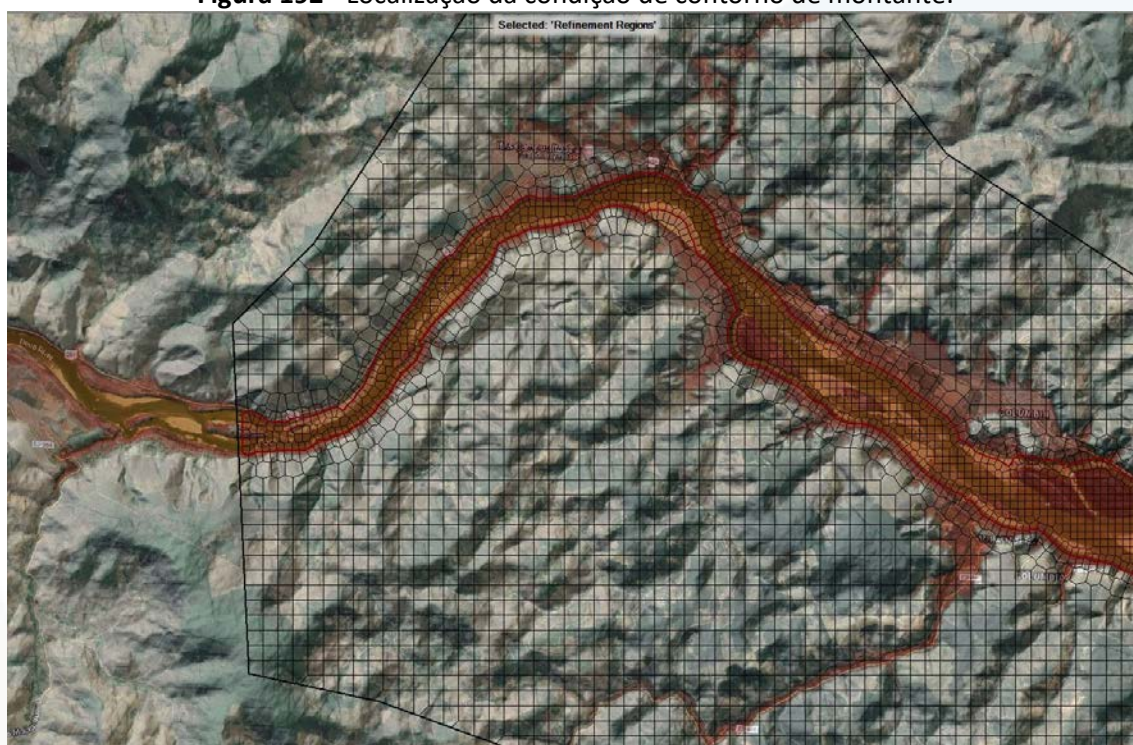
Para as simulações considerou-se que o trecho em análise possui seus fluxos controlados pelas entradas de vazão à montante de Colatina e pelo nível de água do mar em diferentes locais: exutório do rio Doce; rio Barra Seca, rio Ipiranga e rio Barra Nova, que drenam a margem esquerda; rio Riacho, que drena a margem direita, que foram identificados através de interpretação visual de imagens de satélite. De maneira complementar, o modelo permite a drenagem de água no limite norte do MDT, sendo utilizada a condição de contorno de escoamento normal (i.e. normal depth, no HEC-RAS). Para as simulações foram utilizadas séries de vazão médias diárias e estimativas do nível do mar obtidas da análise de dados de tábua de maré, em intervalos de duas horas. No caso, as saídas para o mar foram estendidas 5 km da costa com batimetria estimadas de dados de cartas náuticas da marinha. As simulações foram realizadas utilizando uma condição inicial de terreno seco, considerando um período de aquecimento de pelo menos 5 dias para a análise dos eventos. A Figura 192 apresenta um esquema da abordagem utilizada para condição de contorno do modelo. A Figura 192 exemplifica a representação do grid e das linhas de contorno na geometria 2D do modelo HEC-RAS próxima da condição de contorno a montante. Da Figura 193, até a Figura 196 apresentam a representação dessas linhas na região costeira. A Figura 197 apresenta detalhe na região da condição de contorno mais distante, ao norte.

Figura 191 - Representação esquemática do domínio para modelagem 2D.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 192 - Localização da condição de contorno de montante.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 193 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante no rio Doce e Lagoa Monsarás.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 194 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante na barra do rio Riacho (ao sul).



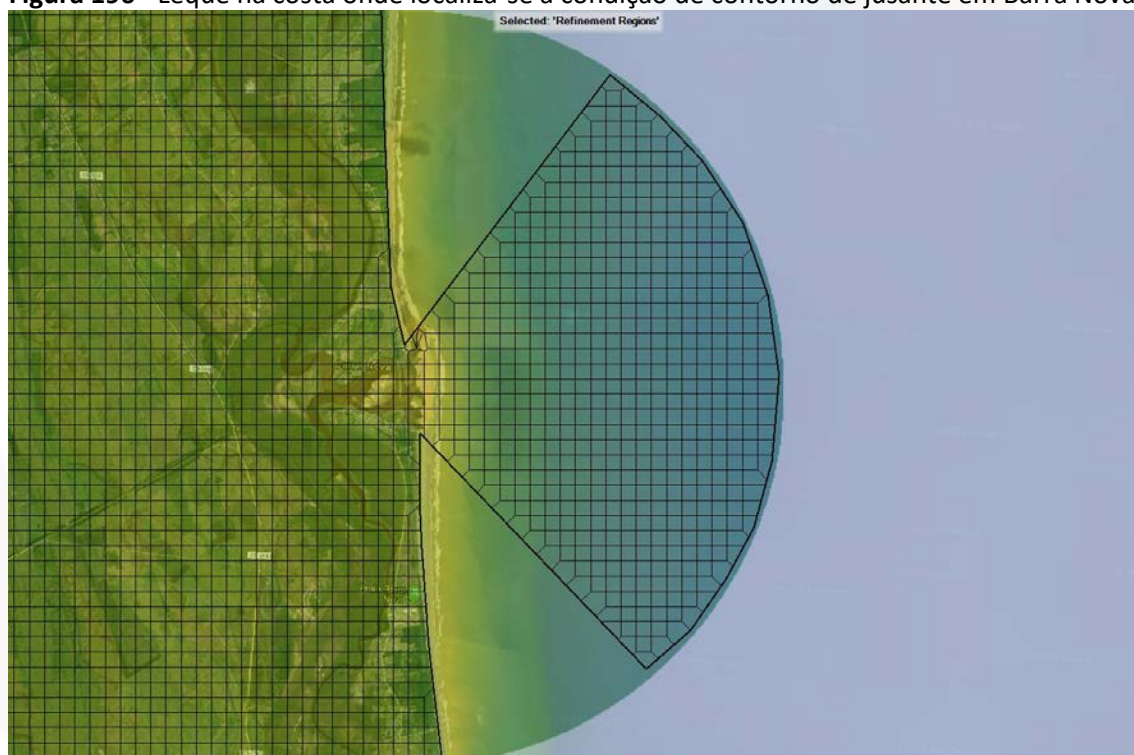
Fonte: Lactec (2020).

Figura 195 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante na Barra Seca e rio Ipiranga.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 196 - Leque na costa onde localiza-se a condição de contorno de jusante em Barra Nova.



Fonte: Lactec (2020).

197 - Localização da condição de contorno ao norte.

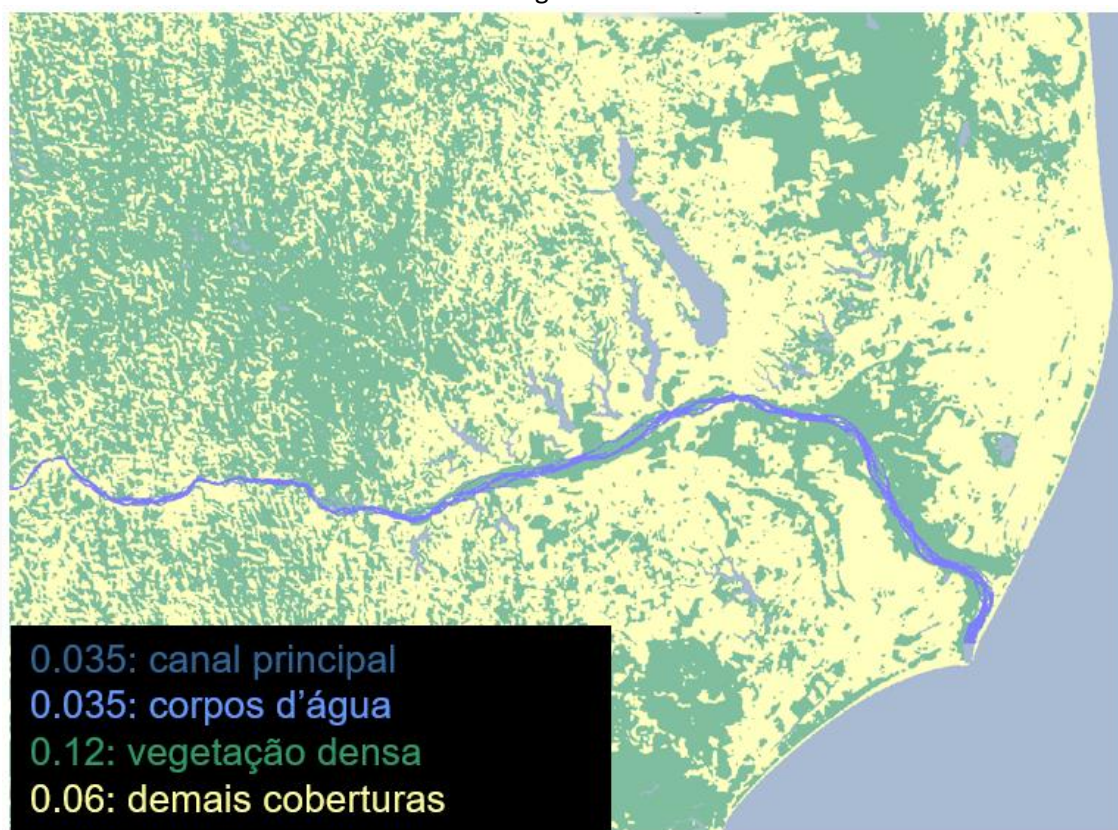


Fonte: Lactec (2020).

Definição do coeficiente de rugosidade de manning

Para representação da rugosidade do terreno na modelagem 2D, um mapa com categorias de rugosidade foi elaborado com base em classificação de imagens de satélite (Figura 198). Para tanto, foi utilizado o algoritmo de classificação não-supervisionada e a base de dados *Landsat 7 annual composite* da plataforma Google Earth Engine, considerando três classes: corpos d'água (n=0,035); vegetação densa (n=0,12); e áreas inundáveis (n = 0,06). O canal do rio Doce (n=0,035) foi definido por meio de uma máscara de água obtida de simulação preliminar.

Figura 198 - Representação da rugosidade de Manning para modelagem 2D. Na legenda é mostrado o valor de rugosidade adotado.



Fonte: Lactec (2020).

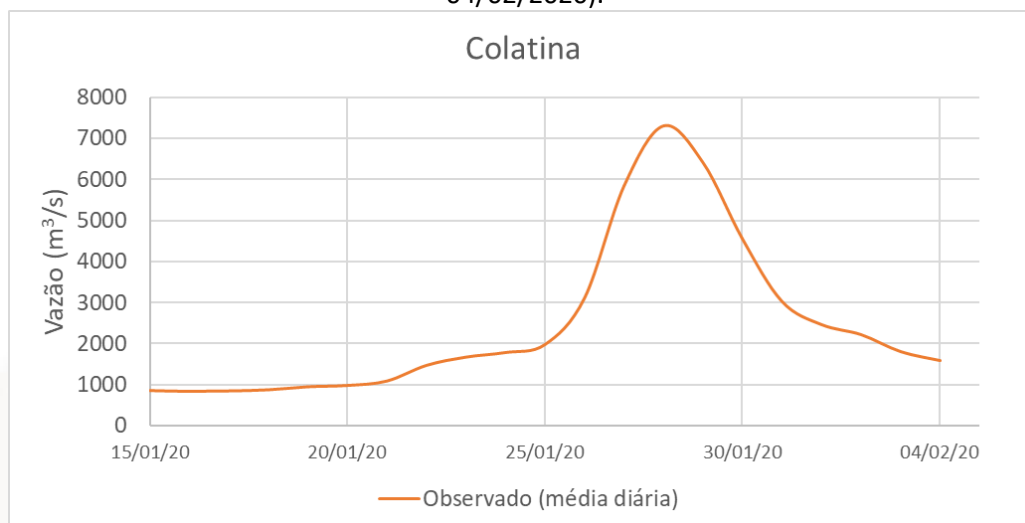
Cenários de período de retorno

As simulações de cenários de vazões máximas em regime permanente no modelo 2D foram realizadas considerando a ascensão do hidrograma até a vazão constante, referente a vazão máxima de cada tempo de retorno. Foi aplicada uma simulação durante um período de aproximadamente 30 dias para estabilização da linha d'água. Vale ressaltar que esta abordagem adotada é conservadora para a simulação de uma cheia com TR em regime permanente, pois ela mantém o valor do pico de cheia por muitos dias no domínio simulado. Entretanto ela foi justamente escolhida a favor da segurança para a representação das áreas inundadas.

Cheia de janeiro de 2020

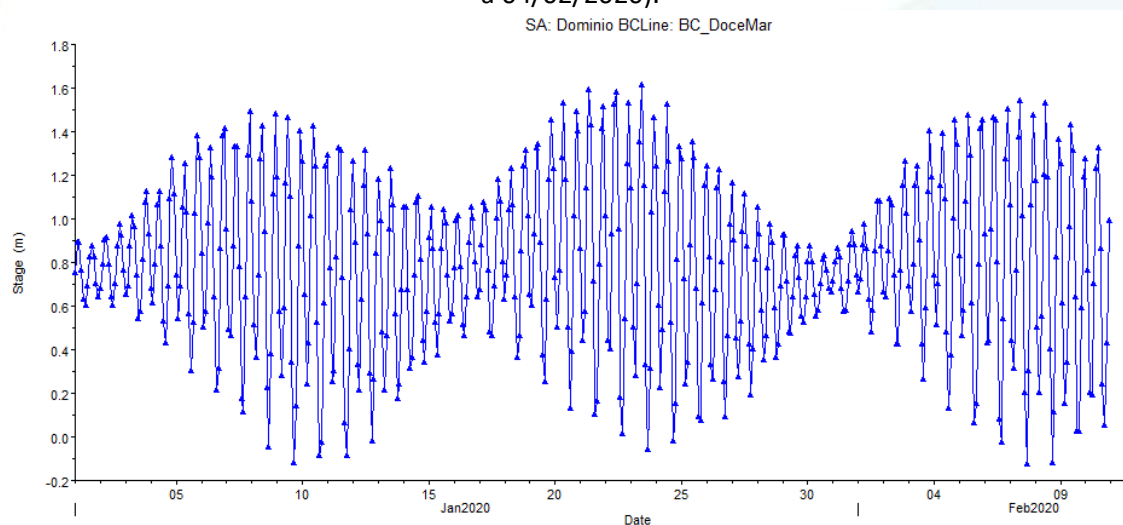
A simulação para evento da cheia de 2020 foi realizada, no intervalo entre 15/01/2020 a 04/02/2020. A Figura 199 apresenta o hidrograma utilizado no contorno de montante, sendo os dados observados de vazão média diária do posto fluviométrico de Colatina (56994500). Enquanto isso a Figura 200 também apresenta os dados de maré utilizados para condição de contorno nas fronteiras com o oceano.

Figura 199 - Hidrograma de condição de contorno do evento de janeiro de 2020 (15/01/2020 a 04/02/2020).



Fonte: Lactec (2020).

Figura 200 - Cotograma de maré de condição de contorno do evento de janeiro de 2020 (15/01/2020 a 04/02/2020).



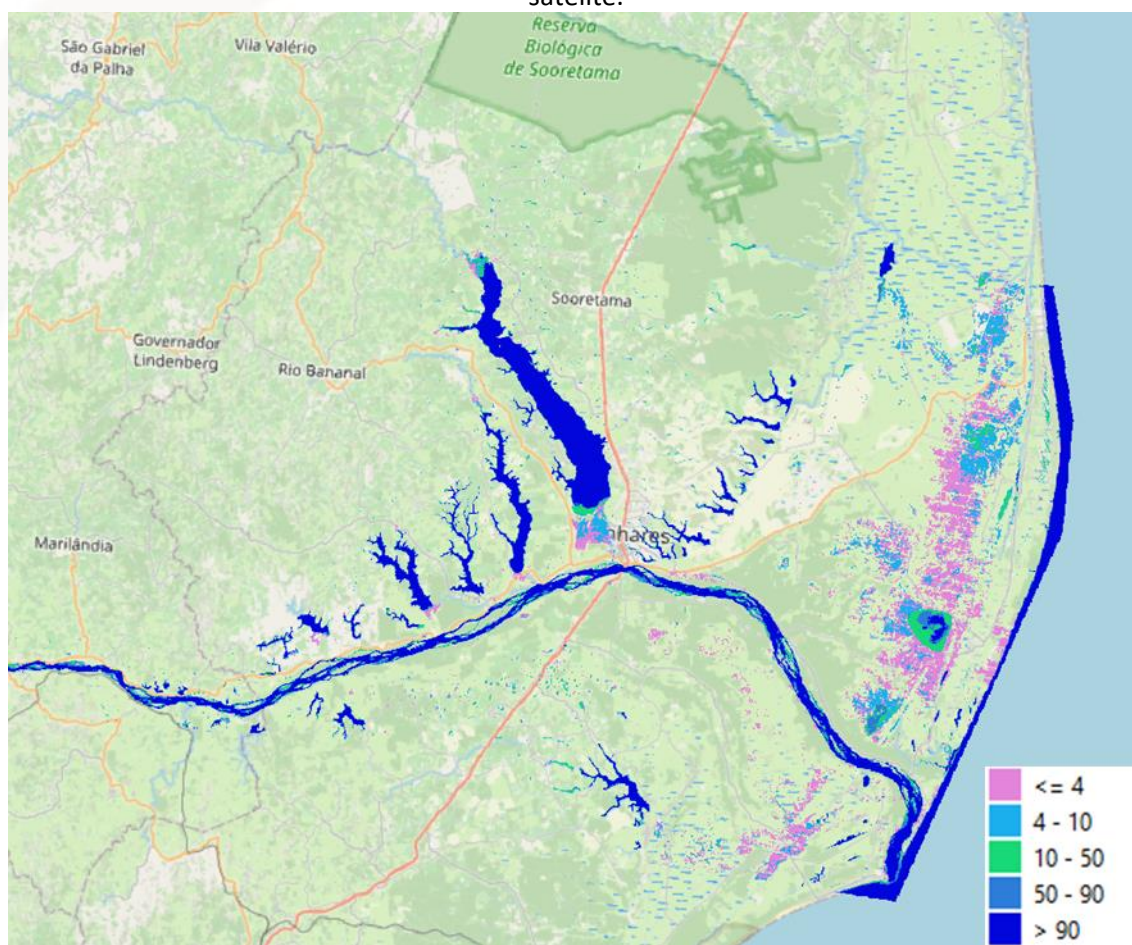
Fonte: Lactec (2020).

Considerações sobre as áreas úmidas e hidrografia da região

Para aprofundar o conhecimento das áreas úmidas da região em análise, um mapa de frequência foi elaborado utilizando metodologia proposta por Fassoni-Andrade et al. (2020) que processa séries de dados de satélite de 1984 a 2015, do JRC Global Surface Water Dataset, baseado em imagens Landsat (Pekel et al. 2016). Em linhas gerais, utiliza-se a série temporal de máscaras de água disponíveis no período mencionado para contabilizar o percentual de ocorrência de pixels identificados como água. A Figura 201 demonstra que o Rio Doce e as lagoas nos terrenos encaixados entre o município de Colatina e Linhares apresentam uma grande

regularidade. Por outro lado, existe uma região próxima à costa do Oceano Atlântico, em área plana, onde a ocorrência de áreas úmidas é menos frequente, ou de banhados que podem decorrer eventos locais de chuva ou canais de irrigação. Apesar de indicar a suscetibilidade de áreas inundáveis, a estimativa de frequência de ocorrência provavelmente é subestimada, pois é baseada na quantidade de imagens de satélite para as quais há visibilidade no dia, no entanto, durante os eventos de grandes cheias a cobertura de nuvens não permite calcular a máscara de água. Essa análise sugere que o domínio computacional possui grande magnitude.

Figura 201 - Frequência de ocorrência de áreas úmidas baseado em observações multitemporais de satélite.

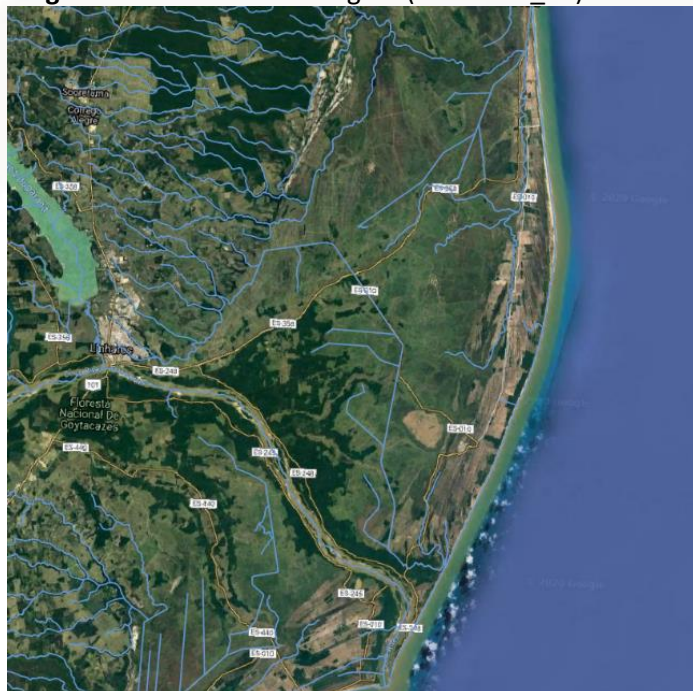


Fonte: Lactec (2020).

A Figura 202 destaca a rede de drenagem obtida da BHO-ANA_5K (Base Hidrográfica Ottocodificada 5K – Agência Nacional de Águas) na região, onde também fica evidente a existência de canais de drenagem retificados no domínio de estudo, embora não representados (a princípio) no modelo de terreno. A Figura 203 compara um trecho onde é possível observar as diferenças de representação das barreiras e canais naturais (ou artificiais) nos modelos de terrenos utilizados para compor o domínio. A rede de canais e valas na área plana foi incluída no MDT, buscando remover alguns bloqueios de forma somente a permitir a drenagem, embora a

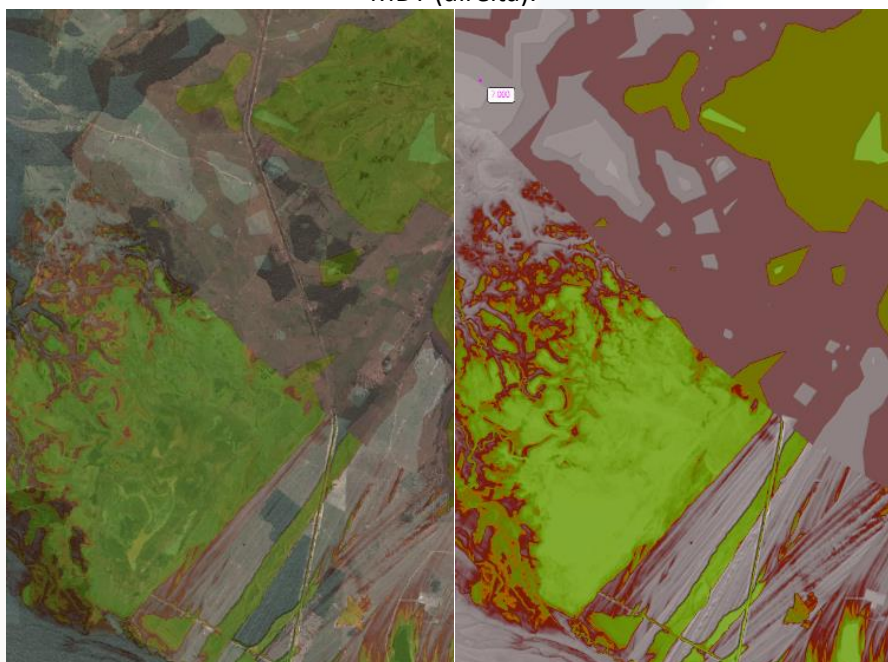
largura seja a única característica hidráulica que foi estimada com maior confiança via imagem de satélite. Por fim, foi utilizada uma representação simplificada das lagoas, sendo as mesmas escavadas no MDT, a partir de registros de profundidade, considerando a referência da linha de água no dia da coleta de dados de altimetria (ver seção 0). A Figura 204, Figura 205, Figura 206 e Figura 207 exemplificam as regiões escavadas.

Figura 202 - Rede de drenagem (BHO-ANA_5K).



Fonte: Lactec (2020).

Figura 203 - Exemplo de canais e barreiras naturais: sobreposição de satélite + MDT (esquerda) e MDT (direita).



Fonte: Lactec (2020).

Figura 204 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem esquerda do rio Doce – drenagem para norte.



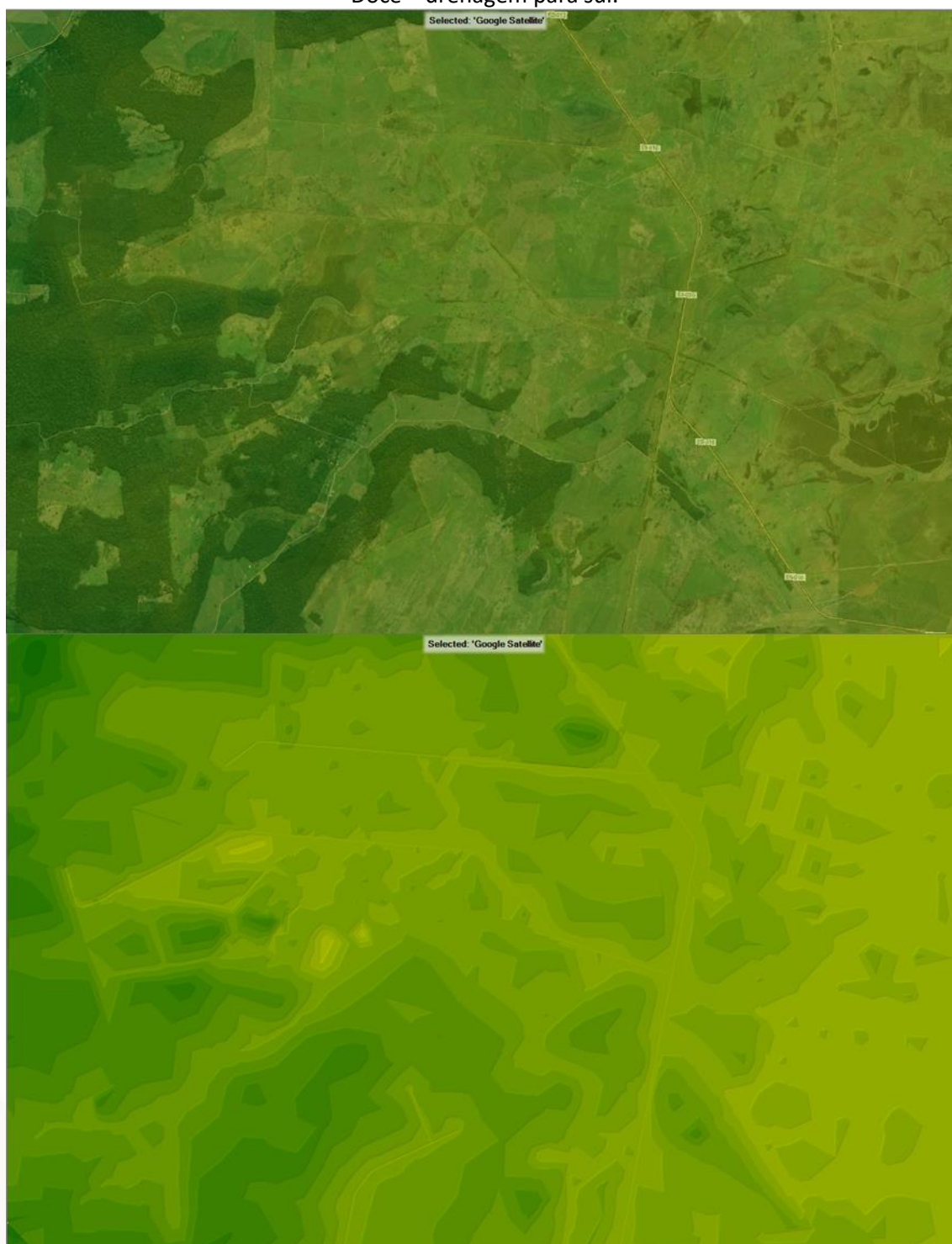
Fonte: Lactec (2020).

Figura 205 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem direita do rio Doce – drenagem para Barra do Rio Riacho.



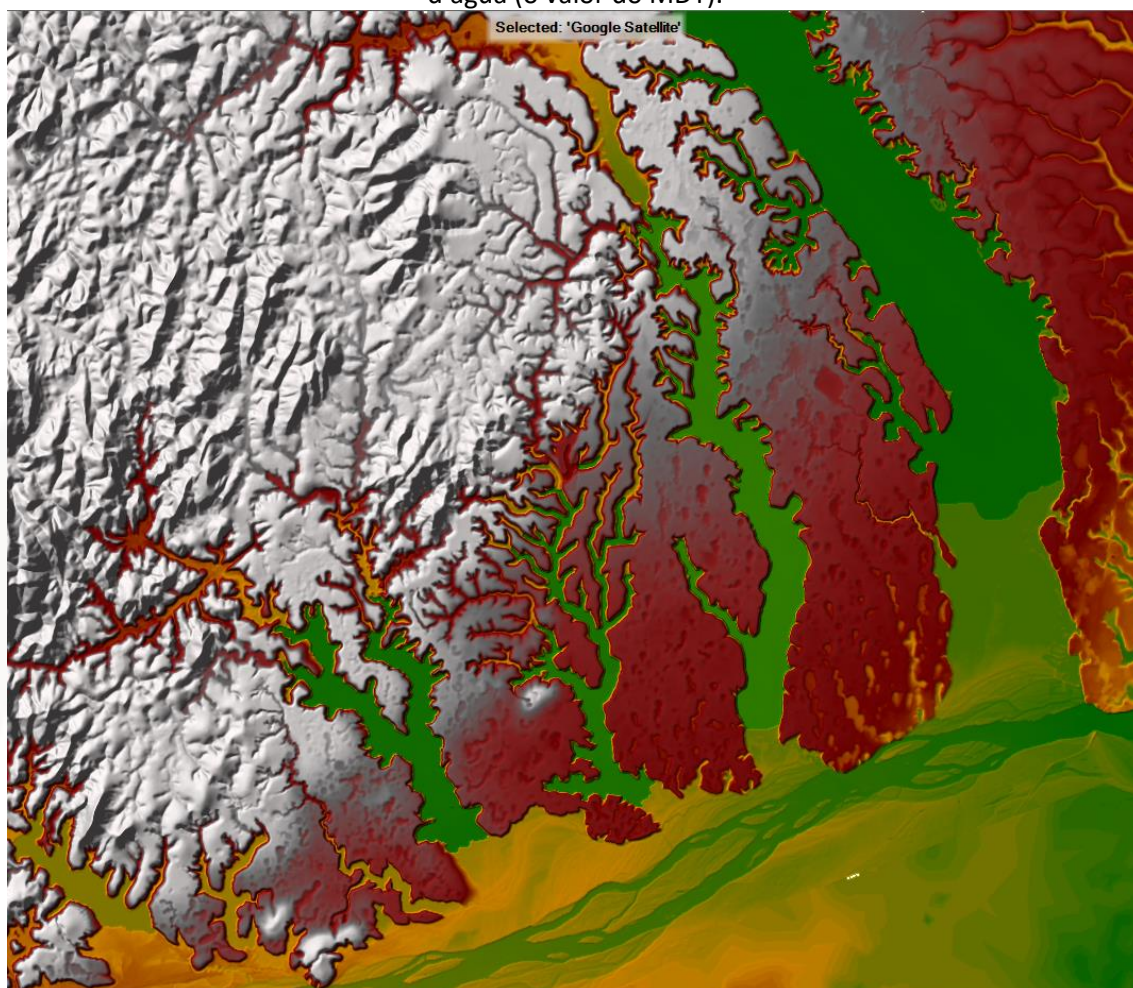
Fonte: Lactec (2020).

Figura 206 - Exemplo de canais identificados (acima) e escavado (abaixo) na margem esquerda do rio Doce – drenagem para sul.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 207 - Exemplos de lagoas escavadas a para representar sua profundidade, a partir da linha d'água (o valor do MDT).

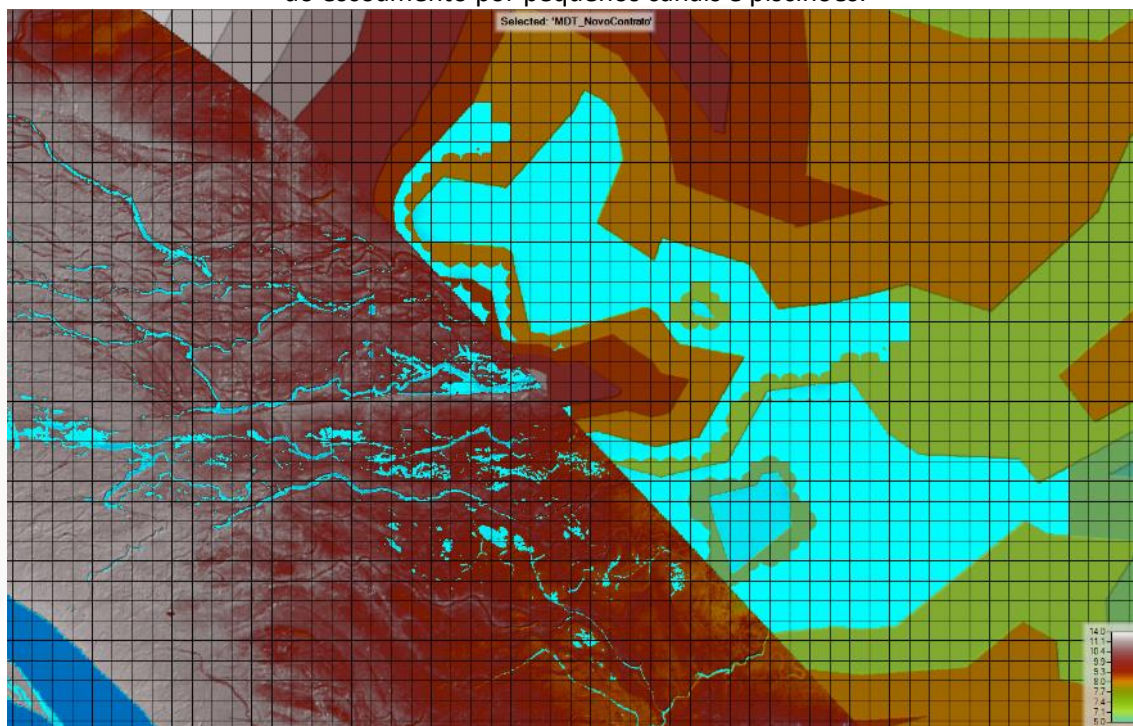


Fonte: Lactec (2020).

Considerações sobre a composição do MDT

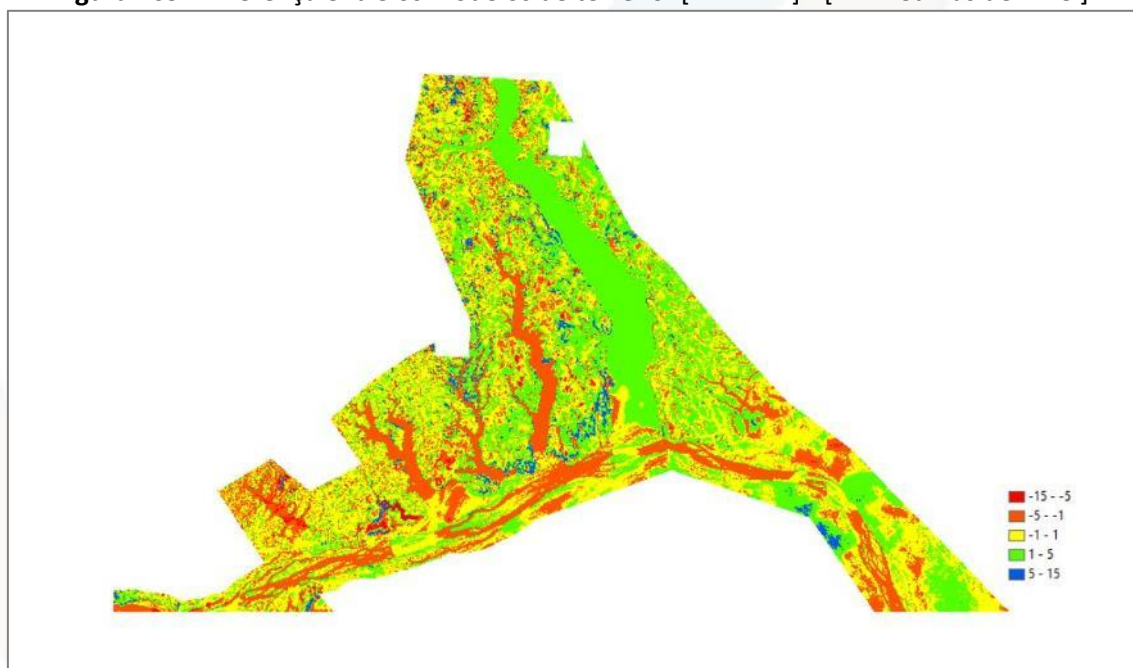
Um aspecto evidente nos resultados é um efeito de borda entre as regiões representadas pelo modelo de terreno de alta resolução próximo a calha do rio e o restante do domínio. A Figura 208 ilustra como o processo de inundação é representado de maneira mais simplificada com efeito de inundar “grandes piscinas” onde o terreno é menos detalhado, ao contrário do que ocorre quando é possível representar os canais principais de escoamento e barreiras em melhor resolução. Neste sentido, as limitações de representação de feições internas no modelo de terreno também podem resultar em superestimativa de áreas inundáveis. Entretanto este problema e esta superestimativa foram atenuados com as considerações e alterações realizadas no MDT conforme foi descrito no item anterior deste relatório. A Figura 209 apresenta a diferença de altitude entre o modelo de terreno detalhado e modelo de terreno obtido pelas curvas de nível, sendo possível observar a existência de diferenças significativas. Por fim, é possível verificar uma drenagem mais coerente na região de alta resolução, enquanto outras regiões aparentam possuir artefatos que tendem a reter o processo de drenagem.

Figura 208 - Efeito de transição de terreno de alta resolução (2m) e curvas de nível na representação do escoamento por pequenos canais e piscinões.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 209 - Diferença entre os modelos de terreno: [MDT 2m] - [MDT Curvas de Nível].



Fonte: Lactec (2020).

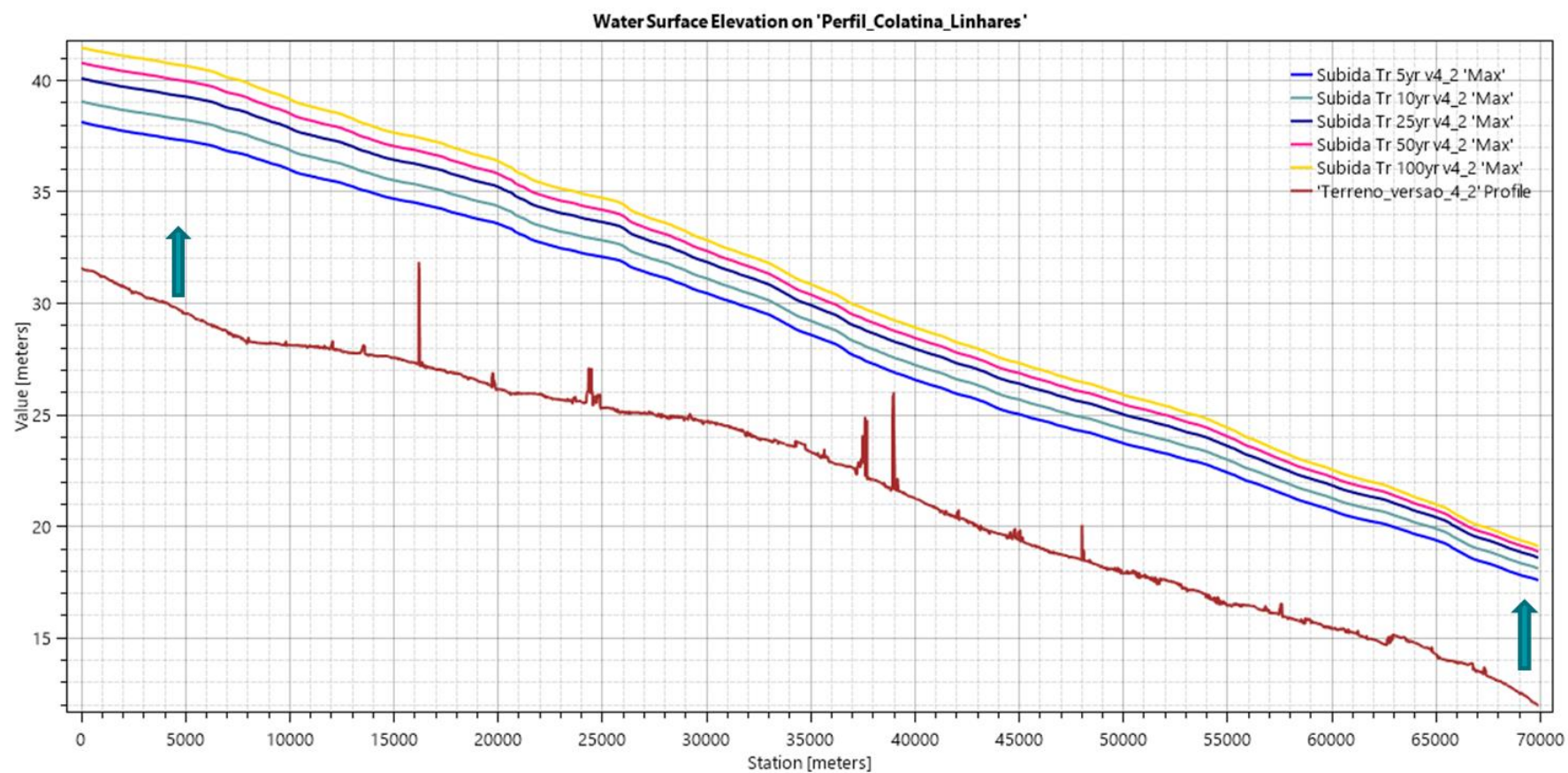
RESULTADOS

Simulação hidrodinâmica 2DH

Cenários de período de retorno

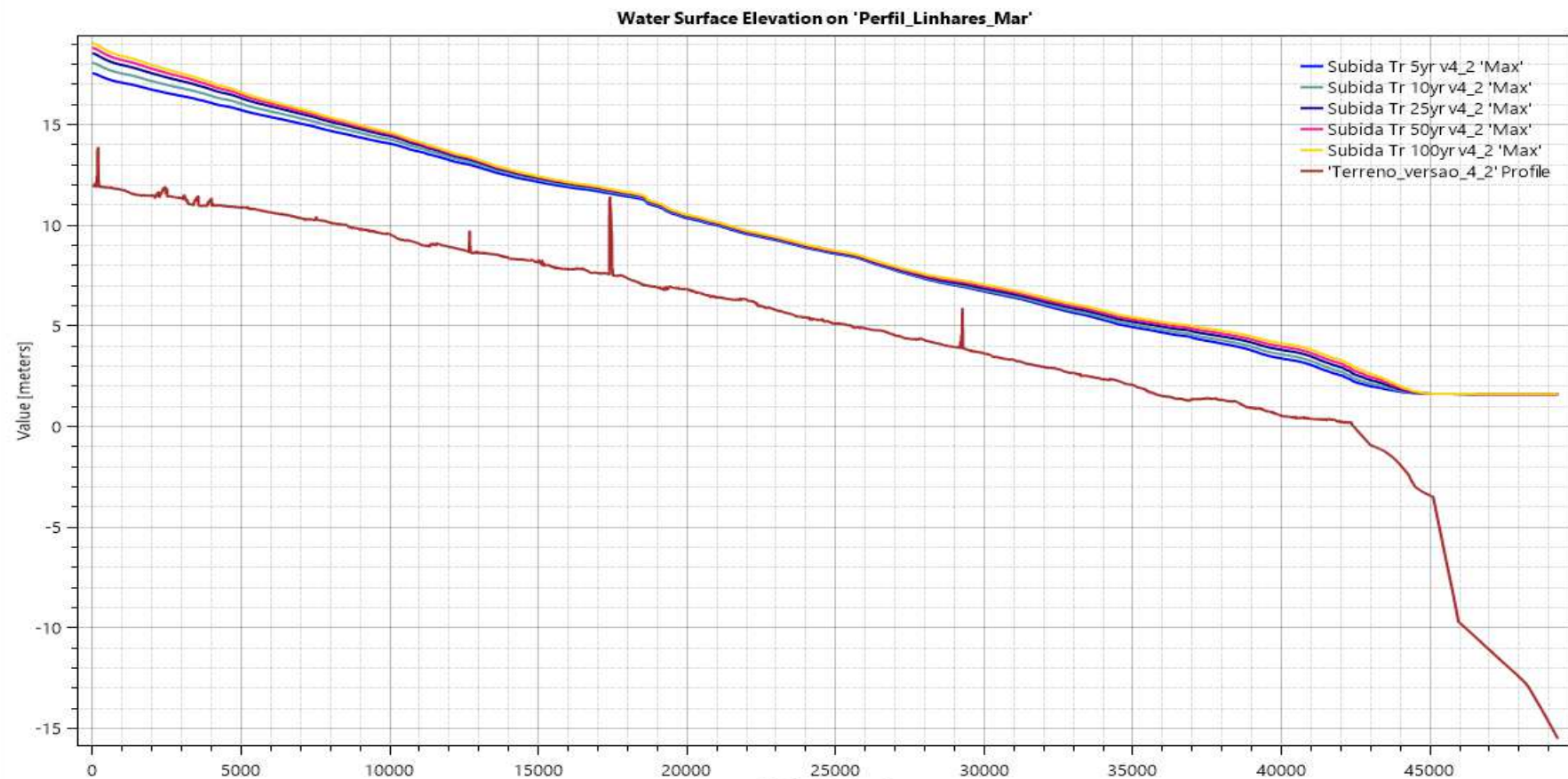
A Figura 210 apresenta um perfil longitudinal da linha d'água do rio Doce – entre Colatina e Linhares - para as simulações referentes aos cenários de regime permanente de diferentes vazões máximas simuladas (períodos de retorno iguais a 5, 10, 25, 50 e 100 anos). Da mesma forma, a Figura 211 apresenta o perfil para o trecho de Linhares até o mar. A seguir, a Figura 213 apresenta as manchas de inundação obtidas para os diferentes cenários, para o domínio simulado. Por fim, a sequência desde a Figura 213 até a Figura 216 ilustra os resultados em maior detalhe para diferentes regiões, desde Colatina, a divisa com Linhares, próximo à área urbanizada e o trecho final até o mar. As diferenças nas manchas de inundação são mais evidentes entre os períodos de retorno de 5 e 25 anos, com destaque para região a partir da divisa de Linhares.

Figura 210 - Linha d'água simulada para o trecho entre Colatina (seta da esquerda) e Linhares (seta da direita) para vazões em regime permanente equivalentes aos tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.



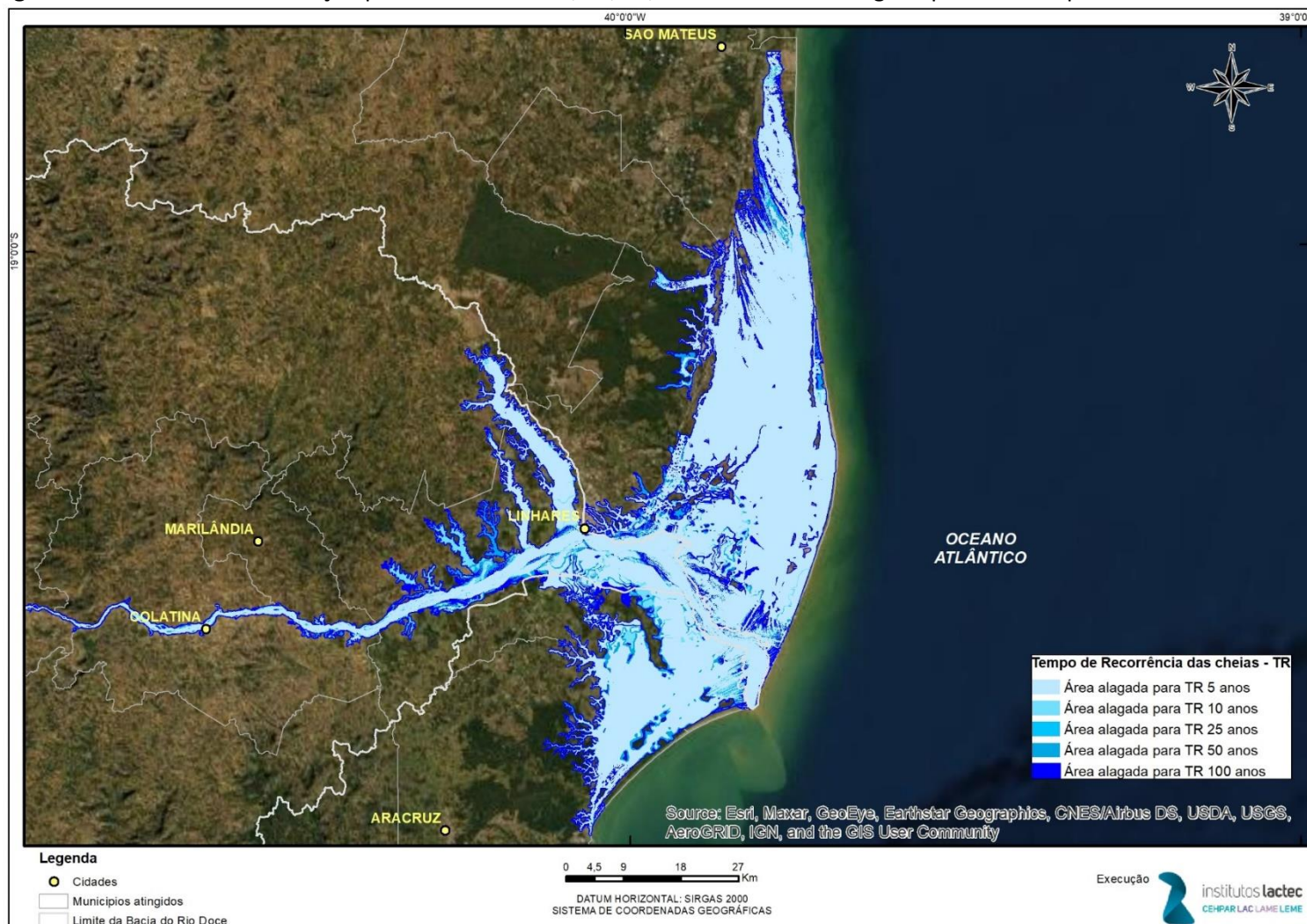
Fonte: Lactec (2020).

Figura 211 - Linha d'água simulada para o trecho entre Linhares e o mar para vazões em regime permanente equivalentes aos tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos.



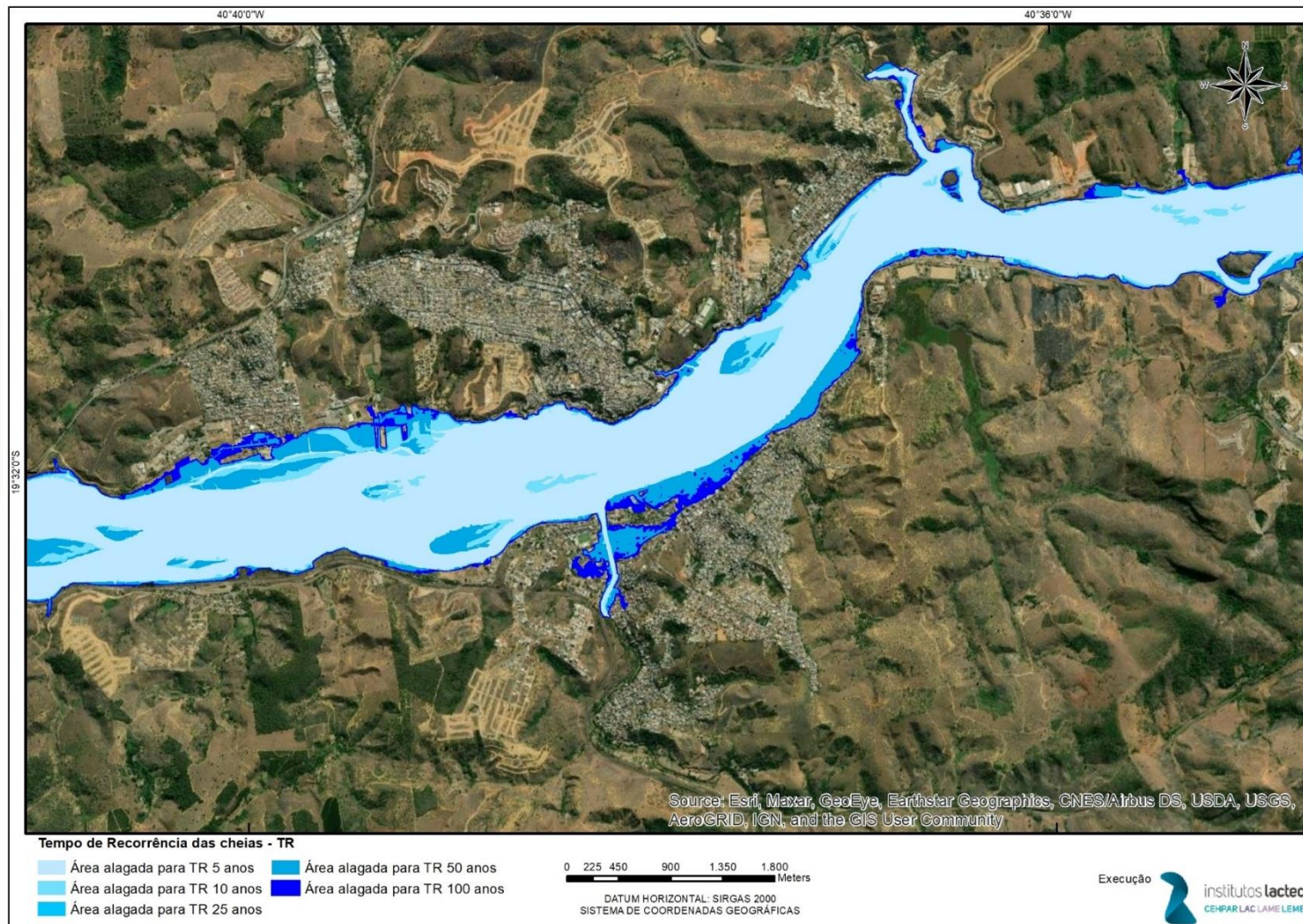
Fonte: Lactec (2020).

Figura 212 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente para o domínio simulado.



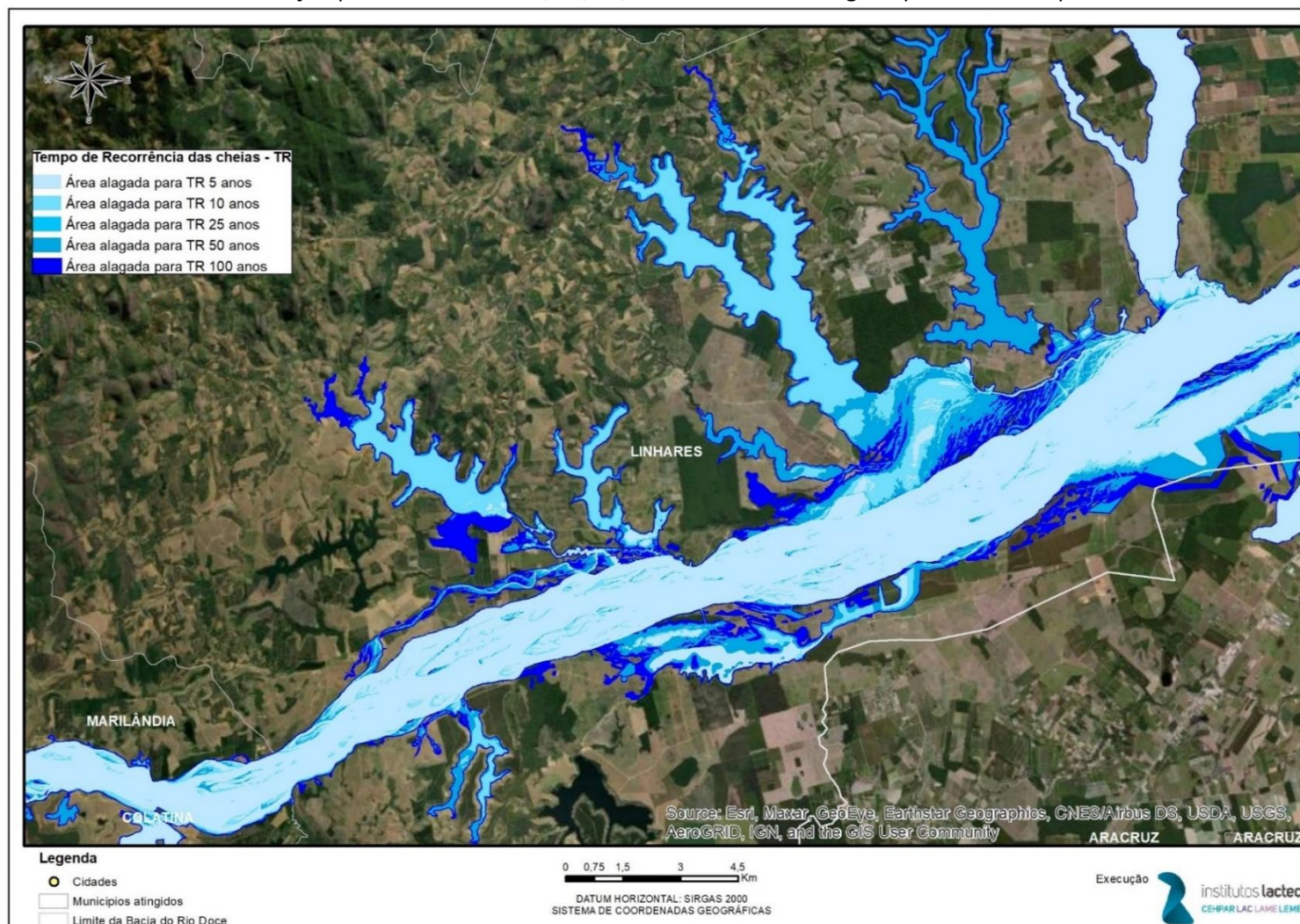
Fonte: Lactec (2020).

Figura 213 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – trecho de Colatina.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 214 - Mancha de inundação para vazões de TR 5, 10, 25, 50 e 100 anos em regime permanente – próximo à divisa da Linhares.



Fonte: Lactec (2020).