
NOTA TÉCNICA CT-GRSA Nº 10/2022

Assunto: Mapeamento da mancha de inundação referente ao período chuvoso 2021/2022 no Estado do Espírito Santo.

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência dos eventos hidrológicos ocorrido nos meses de janeiro dos anos de 2016 e 2020, culminaram em episódios de cheias ao longo do rio Doce e em sua região deltaica, sendo ampliada a área de deposição dos rejeitos provenientes da barragem de Fundão.

A Câmara Técnica de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (CT-GRSA) solicitou um estudo à Fundação Renova com o objetivo de identificar e quantificar o alcance da deposição dos rejeitos, através da definição da mancha de inundação do rio Doce, com seu início à jusante da UHE Risoleta Neves que se encontra inserida nos municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado, até a foz do rio Doce no estado do Espírito Santo, percurso correspondendo do trecho 13 ao 16 do Plano de Manejo de Rejeitos - PMR.

Após a solicitação, a Fundação Renova realizou ensaios e simulações para obter um melhor conhecimento da mancha de inundação, para vazões de maior recorrência referente aos anos de 2016 e 2020, e para os tempos de retorno notáveis de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

Nesse contexto, foram entregues dois estudos em tentativa de atendimento a esta demanda: um expedito e uma segunda entrega com mais detalhamento, utilizando modelagem numérica. Contudo, ambos apresentaram inadequações técnicas em diversos níveis, o que resultou em suas reprovações.

Tendo em vista a necessidade de delimitação da área impactada pelo *EVENTO* no âmbito do sistema CIF, com foco para a aplicação do Programa de Manejo de Rejeitos (PG 23), verificou-se a necessidade de uma nova abordagem para suprir essa lacuna de informação.

Dessa forma, o objetivo desta Nota Técnica é delimitar a mancha de inundação referente ao período chuvoso 2021/2022 para a porção capixaba do rio Doce como área mínima de abrangência dos programas da CT-GRSA.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Diante da possibilidade de elevada pluviosidade na bacia do rio Doce durante o período chuvoso 2021/2022, em novembro de 2021, a CT-GRSA iniciou a construção de uma abordagem para delimitação de áreas potencialmente alagáveis em cheias do Doce.

Após discussões técnicas, optou-se por não abordar técnicas de modelagem/simulação, as quais poderiam gerar resultados que não demonstrassem a realidade de campo no momento de cheia, o que em geral resulta em discussões técnicas prolongadas. Assim, optou-se por mapeamento em campo.

O mapeamento em campo das áreas alagadas pelo rio Doce em decorrência de alta pluviosidade se traduz na obtenção de dados reais de áreas alagadas, o que reduz questionamentos por refletirem diretamente a realidade, assim, quanto mais próxima a coleta de dados ao pico da cheia, mais fidedigno a área máxima impactada pela cheia.

Tendo em vista a disponibilidade de contratação de sobrevoo, por meio de helicóptero, o qual viabiliza uma cobertura ampla da área em curto espaço de tempo, optou-se por esta abordagem. Assim, nos dias 15 e 16 de janeiro de 2022 foi realizado o sobrevoo com técnicos representantes da CT-GRSA e colaboradores. Para dar suporte à identificação da mancha, foram realizadas fotografias georreferenciadas no momento do sobrevoo e também foram utilizadas imagens de satélite como fontes de informação para auxílio no tratamento das imagens.

3. MATERIAIS

a. Materiais

- i. Câmera com GPS Nikon CoolPix P520;
- ii. Câmera Sony DSC-R1;
- iii. Câmera Canon PowerShot SX620 HS;
- iv. Aparelhos celulares com câmera diversos;
- v. Helicóptero modelo esquilo - AIRBUS HELICOPTERS.

b. Imagens satélite - Divisa ES/MG à foz do rio Doce

- i. Imagens satélite SENTINEL-2 L2a ; 63°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KUD; formato kmz, data de 15/01/2022.
- ii. Imagens satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KVD; formato kmz, data de 15/01/2022.
- iii. Imagens satélite LANDSAT-8; 60°; Natural Color ; B4; B3; B2; #215/074; formato kmz, data de 17/01/2022.
- iv. Imagens satélite LANDSAT-8; 60°; Natural Color ; B4; B3; B2; #215/073; formato kmz, data de 17/01/2022.
- v. Imagens satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KVD; formato kmz, data de 20/01/2022.
- vi. Imagens satélite CBERS-4 (MUX); 195 137, 195 138; BAND8; formato kmz, data de 16/01/2022. (usado somente na foz).
- vii. Imagens satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KUD; formato kmz, data de 20/01/2022.

c. Softwares

- i. Google Earth Pro;
- ii. GeoSetter 3.5.3.

d. Outros materiais

- i. Altimetria do estado do Espírito Santo - GEOIEMA.

4. METODOLOGIA

- a. Preparo das fotos
 - i. As fotos da câmera GPS Nikon CoolPix P520 foram salvas em formato kmz com uso do software GeoSetter 3.5.3;
 - ii. As fotos de câmeras que não possuem GPS integrado tiveram sua geolocalização realizada por interpolação com os dados de GPS da aeronave via software GeoSetter 3.5.3. Após esse processo as fotos foram salvas em formato kmz.
- b. Obtenção das imagens de satélite
 - i. As imagens de satélite foram baixadas em formato kmz via site da landviewer ou repositório do INPE.
- c. Obtenção da altimetria
 - i. A altimetria de 5 em 5m para a área de interesse - GEOIEMA.
- d. Do sobrevoo
 - i. O sobrevoo foi realizado contornando a borda da mancha de inundação para permitir o registro fotográfico do limite desta;
 - ii. O sobrevoo da calha foi realizado nos dias 15 e 16/01/2022;
 - iii. No dia 15/01/2022 foi realizado o sobrevoo na região entre a cidade de Linhares e a foz do rio Doce, iniciando o contorno da mancha na foz do rio Riacho, município de Aracruz-ES e indo até a foz do rio Ipiranga;
 - iv. No dia 16/01/2022 foi realizado o sobrevoo na calha do rio Doce para mapeamento no trecho a montante da cidade de Linhares. Em sentido montante o sobrevoo foi realizado pela margem esquerda do rio, enquanto no sentido de jusante foi realizado pela margem direita;
- e. Do tratamento dos dados e construção da mancha
 - i. As fotos foram tiradas fotos com objetivo de retratar a borda da mancha de inundação, sempre enquadrando juntamente referências do terreno que pudessem auxiliar na localização desta como fragmentos florestais, estradas, canais de drenagem, construções e outros;

- ii. As fotos georreferenciadas em conjunto com os pontos de referencia do terreno, enquadradas em cada uma, permitiram que fosse traçado junto ao programa Google Earth uma linha representativa da borda da mancha de inundação;
- iii. As imagens de satélite atuaram como complemento secundário das fotos, somente nos pontos de menor resolubilidade destas quanto ao limite da mancha.
- iv. Nos pontos em que as fotos apresentaram baixa resolubilidade e local estava encoberto por nuvens nas imagens de satélite, o uso destas imagens foram supridas pela interpolação dos pontos alagados através de isolinhas de altimetria;

Cabe destacar a verificação de uma mudança visual da vegetação e por consequência da coloração do local em função da altimetria, o que é facilmente observável comparando as curvas de nível e imagens de satélite, em especial junto à foz do rio Doce.

- v. A mancha final foi a combinação das informações de fotos georreferenciadas, complementada nos pontos de menor resolubilidade destas pelas imagens de satélites e pelas curvas altimétricas.

4.1 Exemplos de interpretação integrada de fotos georreferenciadas, imagens de satélite e curvas de nível

Visando exemplificar como procedeu o tratamento das informações, seguem abaixo alguns exemplos de interpretação dos dados.

4.1.1 Mudança de coloração pela cheia resguardando correlação com as isolinhas

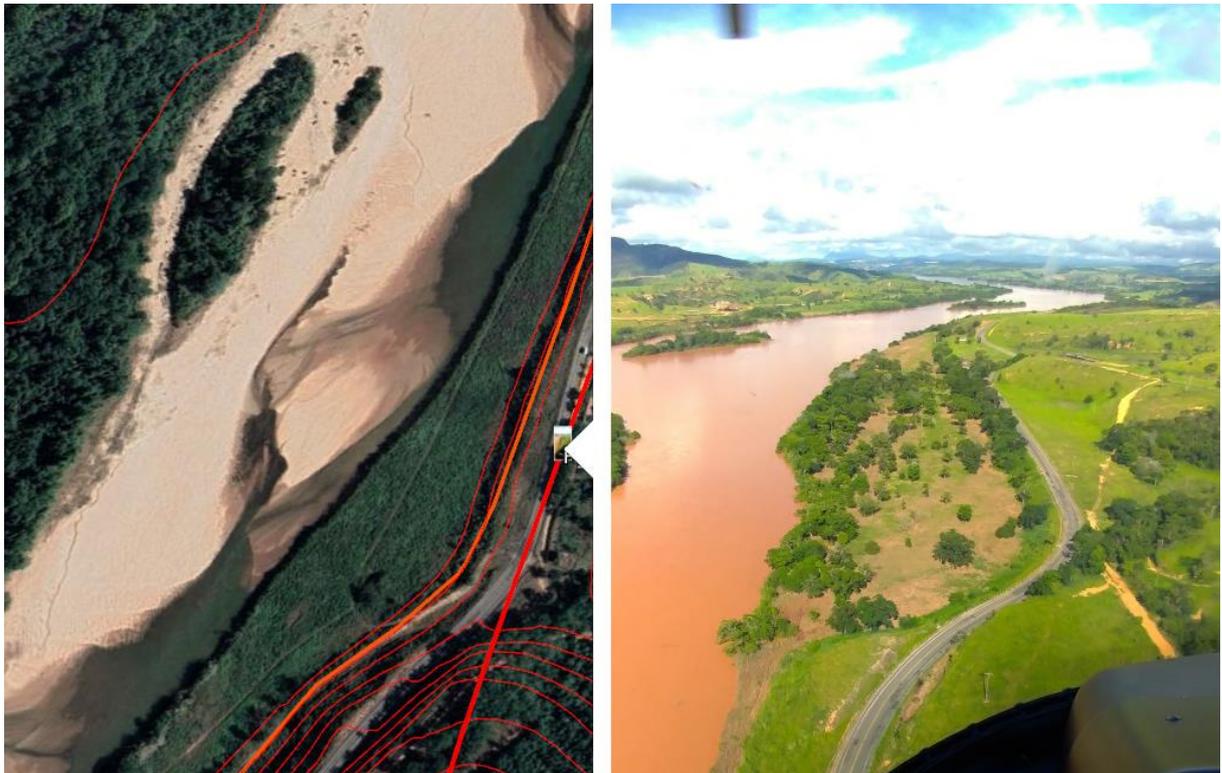


Figura 1: À esquerda imagem de satélite; à direita, foto tirada em sobrevoo do mesmo local.

A linha laranja com maior espessura corresponde a borda da mancha de inundação, as linhas finas em vermelho são as isolinhas altimétricas, em vermelho com maior espessura corresponde ao local de passagem da aeronave.

4.1.2 *Mudança de coloração e acúmulos de água empoçada em planície, em destaque pontos de referência.*



Figura 2: Área afetada pela cheia, ainda com acúmulo de água.



Figura 3: Área afetada pela cheia ainda com acúmulo de água.



Figura 4: área afetada pela cheia ainda com acúmulo de água.



Figura 5: imagem de satélite contendo a linha da mancha de inundação em laranja espesso, linha altimétrica em vermelho mais fina, e marcadores (setas laranjas).

A linha laranja com maior espessura corresponde a borda da mancha de inundação, as linhas finas em vermelho são as isolinhas altimétricas.

4.1.3 *Mudança de coloração e presença de acúmulos de água empoçada em planície.*



Figura 6: área afetada pela cheia ainda com acúmulo de água.



Figura 7: área afetada pela cheia ainda com acúmulo de água e marcadores.



Figura 8: área afetada pela cheia ainda com acúmulo de água.

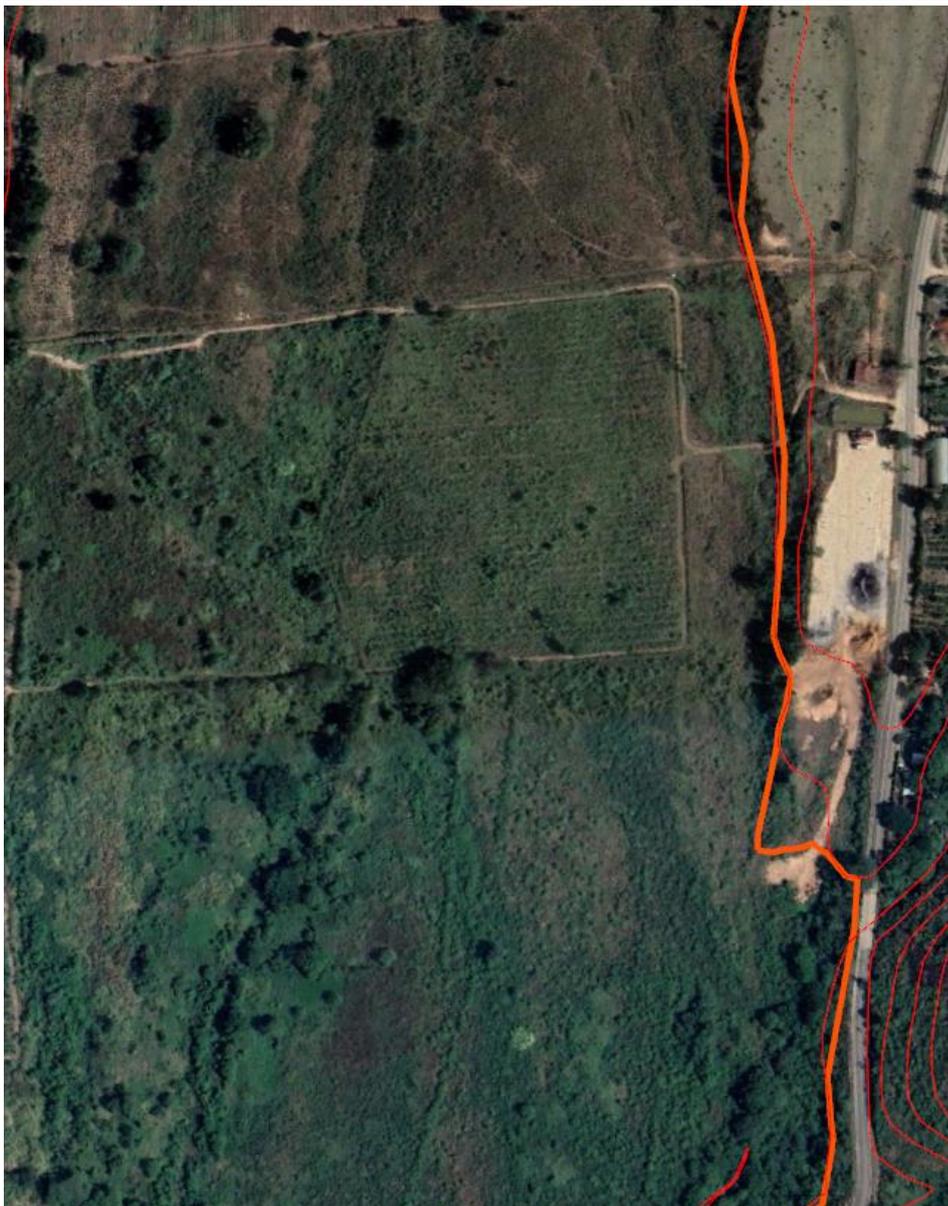


Figura 9: borda da mancha de inundação correspondente às três figuras anteriores, linha laranja espessa, as linhas vermelhas finas representam as curvas altimétricas.

A linha laranja com maior espessura corresponde a borda da mancha de inundação, as linhas finas em vermelho são as isolinhas altimétricas.

4.1.4 Complementação das análises de fotos, para área com pouca resolubilidade das fotos da vistoria, por satélite combinado com isolinhas de altimetria.



Figura 10: Área exemplo.



Figura 11: Imagem de satélite da área com a linha da borda de inundação montada pelas fotos e aprimorada/confirmada com a imagem de satélite.



Figura 12: Área exemplo com a linha de mancha de inundação após resolução. observa-se a direita inferior que a mancha tem alta correspondência com a curva de nível. observa-se a esquerda que a mancha também tem grande correspondência com os canais de drenagem.

A linha laranja com maior espessura corresponde a borda da mancha de inundação, as linhas finas em vermelho são as isolinhas altimétricas.

5. DA COTA MÁXIMA DA CHEIA E REPRESENTATIVIDADE DA VISTORIA

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por meio do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) emite boletins em situações de alta pluviosidade, os quais contemplam informações de cotas de alerta, inundação e nível d'água medido e sua tendência. Os boletins estão disponíveis no endereço https://www.cprm.gov.br/sace/index_bacias_monitoradas.php?getbacia=bdoce#.

Analisando os boletins emitidos para a bacia do rio Doce entre os dias 01 e 17 de janeiro de 2022, pode-se concluir que a cota máxima ocorreu:

- Em Governador Valadares entre os dias 12 e 13/01/2022, alcançando a cota de 610 cm;
- Em Colatina entre os dias 13 e 14/01/2022, alcançando a cota de 772 cm;
- Em Linhares entre os dias 13 e 14/01/2022, alcançando a cota de 579 cm.

Tendo em vista que o sobrevoo foi realizado nos dias 15 e 16/01/2022, cabe um breve exercício de comparação entre as cotas nesses dias versus as cotas máximas, todavia, reitera-se que na construção da mancha não foi levado em consideração somente o nível d'água no momento da vistoria, mas também as evidências visuais de passagem da inundação, *e.g.* mudança de coloração por deposição de sólidos alaranjados e mudança na cor da vegetação.

Como o sobrevoo foi realizado durante o dia, optou-se pelas informações dos boletins emitidos o mais próximo ao horário de meio dia.

- Em Governador Valadares dia 16/01/2022, às 10:00, alcançando a cota de 360 cm (cota de inundação);
- Em Colatina dia 16/01/2022, às 10:00, alcançando a cota de 529 cm;
- Em Colatina dia 15/01/2022, às 14:00, alcançando a cota de 609 cm;
- Em Linhares dia 15/01/2022, às 14:00, alcançando a cota de 503 cm;

Assim, considerando que a vistoria não ocorreu no pico máximo da cheia, pode ter havido alguma perda de evidências, o que levaria a uma mancha subdimensionada. Todavia, a proximidade com o pico da cheia associado ao uso de evidências visuais além da linha d'água, ao uso de imagens de satélite dos dias 15 a 17/01/2022 e ao uso de isolinhas de altimetria, foi

capaz de suprimir essa diferença trazendo um fator de confiabilidade a resposta. Ante ao contexto, é importante destacar os indícios visuais da passagem da cheia, como mudança de coloração da vegetação, mudança de coloração do terreno por deposição de lama alaranjada, presença de acúmulo de água em planícies dentre outros, os quais são menos efêmeros que o momento de pico da cheia.

6. DA COMPARAÇÃO ENTRE AS COTAS MÁXIMAS DOS EVENTOS DE CHEIA DE 2016, 2020 E 2022

Analisando os boletins emitidos para a bacia do rio Doce entre os dias 17 (primeiro dia em que o rio já tinha atingido a cota de alerta em Nova Era-MG) a 25 de janeiro de 2016, pode-se concluir que a cota máxima ocorreu:

- Em Governador Valadares entre os dias 21 e 22/01/2016, alcançando a cota de 485 cm;
- Em Colatina entre os dias 22 e 23/01/2016, alcançando a cota de 651 cm;
- Em Linhares entre no dia 23/01/2016, alcançando a cota de 465 cm.

Analisando os boletins emitidos entre para a bacia do rio Doce entre os dias 24 de janeiro de 2020 (cota de alerta em Ponte Nova - MG) e 18 de fevereiro de 2020, pode-se concluir que a cota máxima ocorreu:

- Em Governador Valadares entre os dias 27 e 28/01/2020, alcançando a cota de 569 cm;
- Em Colatina entre os dias 28/01/2020, alcançando a cota de 788 cm;
- Em Linhares entre no dia 28 e 29/01/2020, alcançando a cota de 563 cm.

Assim, para fins de comparação das inundações cabe o exercício de comparação das cotas máximas atingidas pelas três cheias nas três cidades referência conforme exposto no Quadro 1.

Quadro 1. Cotas de inundação nas cidades de Governador Valadares, Colatina e Linhares.

Ano	Governador Valadares	Colatina	Linhares
2022	610	772	579
2020	485	651	465
2016	569	788	563

Fonte: Boletins da ANA.

Pelo comparativo das cotas máximas, tem-se que para as cidades de Governador Valadares e Linhares a cheia de 2022 foi a maior em termos de cota, com valores superiores a segunda maior em 41 e 16 cm respectivamente. Todavia, para a cidade de Colatina tem-se que a maior cheia foi em 2016 alcançando 788 cm de cota, porém, a diferença para 2020 foi de apenas 6 cm.

Em relação a Colatina, devido ao relevo com maior inclinação, a variação de 6 cm não resultaria em grande variação da área inundada, assim, pode-se assumir que as cheias de 2016 e 2022 foram muito próximas/equivalentes na região de Colatina.

Via de consequência ao exposto, tem-se que a mancha de inundação de 2022 pode ser assumida como a maior área de inundação pós-EVENTO.

7. DA VISTORIA DE CAMPO EM 19 A 21/07/2022

Com o objetivo, sempre que possível, de validar a mancha de inundação delimitada, entre os dias 19 e 22 de julho de 2022 foi realizada vistoria de campo na porção capixaba do rio Doce.

A abordagem de validação em campo se deu em duas frentes, primeiro os aspectos visuais de indícios de deposição de material lamoso (argiloso) e em segundo pela abordagem a moradores, questionando o alcance da inundação de 2022 e das cheias de 2016 e 2020. Houveram algumas disparidades, porém, com erros em pequenas planícies de inundação que ocorreram em áreas mais íngremes, em geral na margem direita a jusante do município de Colatina. Esses relatos foram comparados com as imagens de satélite, sendo ajustado a mancha para incorporar essas planícies de inundação. Como resultado, verificou-se uma boa correlação da vistoria de campo com a mancha de inundação delimitada.

8. RESULTADOS

A interpretação integrada dos dados de imagens georreferenciadas e imagens de satélite, auxiliadas por curvas de isolinhas altimétricas, resultaram em um produto com grande exatidão tendo em vista os dados reais obtidos muito próximos ao pico da inundação que suportam o resultado. As Figuras 13-17 demonstram o resultado alcançado.



Figura 13: Região entre Linhares e a foz, em laranja a borda da mancha de inundação mapeada em campo.

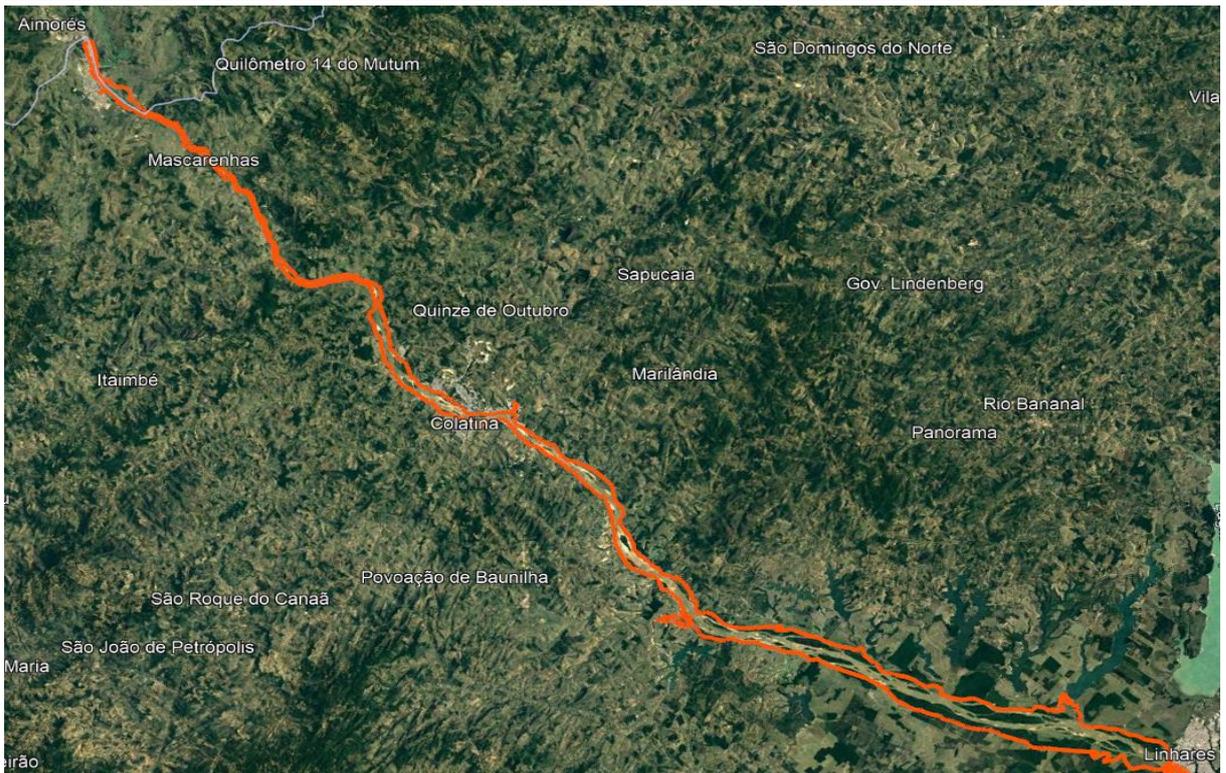


Figura 14: Região entre a divisa do ES/MG e a cidade de Linhares, em laranja a borda da mancha de inundação.



Figura 15: Região entre Linhares e a foz do rio Doce e sua região deltaica, em laranja a borda da mancha de inundação.

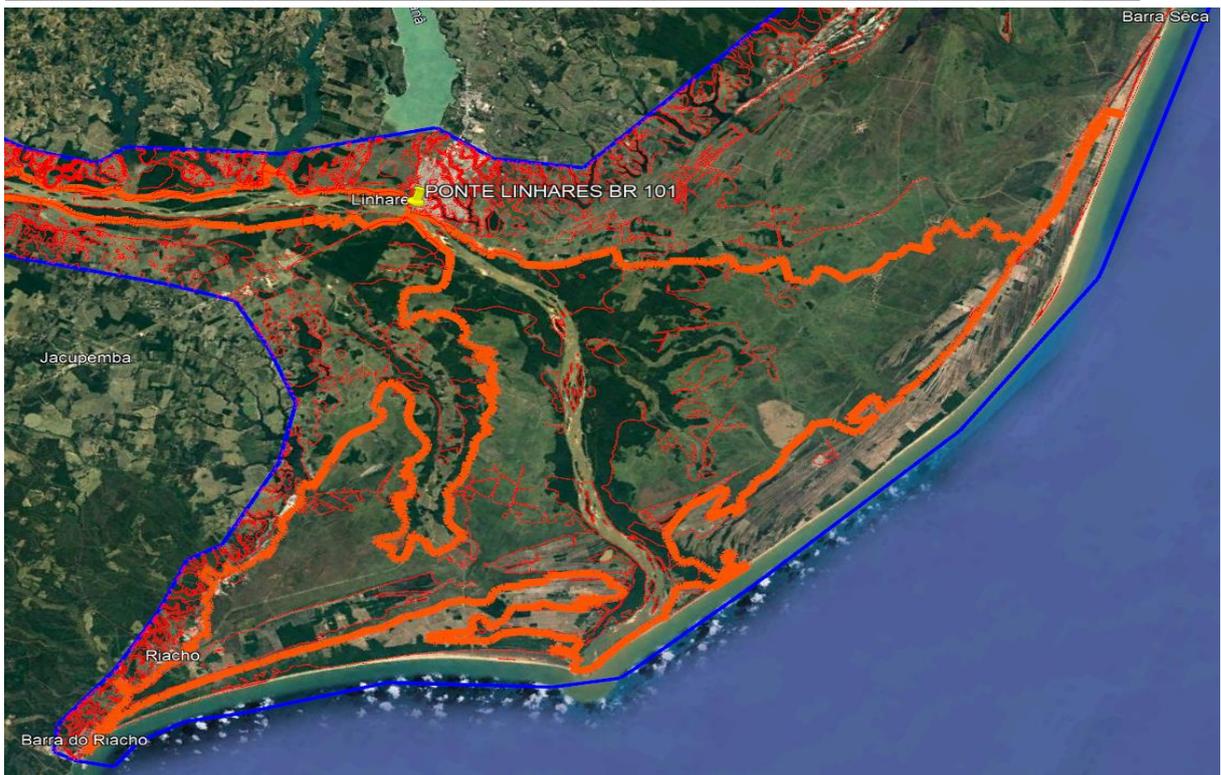


Figura 16: Região da foz do rio Doce e sua região deltaica, com isolinhas altimétricas em vermelho fino, em laranja a borda da mancha de inundação, em azul limite do recorte dos dados de altimetria.



Figura 17: região da lagoa Nova, em Linhares, e sua conexão com o rio Doce, a linha laranja representa a mancha de inundação e as linhas vermelhas as isolinhas altimétricas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Considerando a não aprovação dos estudos de modelagem das cheias de 2016 e 2020;

Considerando a necessidade de delimitação da área para atuação dos programas do TTAC, em especial para o Programa de Gestão de Rejeitos e Segurança Ambiental (PG23);

Considerando os resultados obtidos a partir da vistoria de campo durante o período da cheia de 2022;

A CT-GRSA recomenda ao CIF declarar a área de inundação indicada na presente Nota Técnica como área sob investigação, devendo ser submetida ao monitoramento/investigação desta área.

Em consonância com o supracitado, recomenda-se ao CIF a utilização da mancha de inundação obtida nesta Nota Técnica para a porção capixaba do rio Doce, como área **mínima** de abrangência dos programas da CT-GRSA (trechos 15 e 16 do PG23).

Considerando todas as discussões técnicas neste âmbito ocorridas na 63ª Reunião Ordinária da CT-GRSA;

Considerando ainda a ausência de parecer técnico da ANA que afirme que a qualidade das águas do rio Doce retornaram à qualidade da água PRÉ-EVENTO e a Nota Técnica nº 16/IGAM/GEMOQ/2021 do IGAM, que compara a qualidade da água do rio Doce até o ano de 2020, frente a série histórica das águas do rio Doce pré-EVENTO, demonstrando que ainda se encontravam alteradas para parâmetros como Turbidez, ferro dissolvido e manganês total para o período em análise;

Não se pode concluir que as águas do rio Doce retornaram aos níveis de qualidade anterior ao EVENTO. Em consequência, a CT-GRSA entende que as áreas inundadas por águas do rio Doce, em especial com marcante coloração alaranjada, em contínuo as águas do rio Doce, são áreas que sofreram algum nível de deposição de mistura de rejeitos mais solos/sedimentos, e portanto, devem ser consideradas área impactadas segundo as diretrizes constantes no TTAC.

Ressalta-se que, fica resguardado a possibilidade de revisão desta área, desde que aprovado pelo CIF e de acordo com as diretrizes e requisições emanadas pela Nota Técnica CT-GRSA nº 09/2022.

Equipe Técnica responsável pela elaboração desta Nota Técnica:

- Rafaeli Alves Brune (IEMA/ES);
- Thales Del Puppo Altoé (IEMA/ES);
- Emilia Brito (IEMA/ES);
- Ana Kelly Simões Rocha (IEMA/ES);
- Fábio Ahnert (AGERH/ES);
- José Roberto Jorge (AGERH/ES);
- Rafael Wolfgramm T. de Siqueira (AGERH/ES).

Nota Técnica aprovada em 13/10/2022



Thales Del Puppo Altoé
Instituto Estadual de Meio Ambiente - IEMA/ES
Coordenação da CT-GRSA

Nota Técnica validada na 60ª Reunião Ordinária da CT-GRSA
Nota Técnica retificada na 63ª Reunião Ordinária da CT-GRSA

Apêndice A: Relatório Fotográfico da borda da mancha de inundação, recorte das isolinhas, imagens de satélite, e imagens exemplificativas do sobrevoo

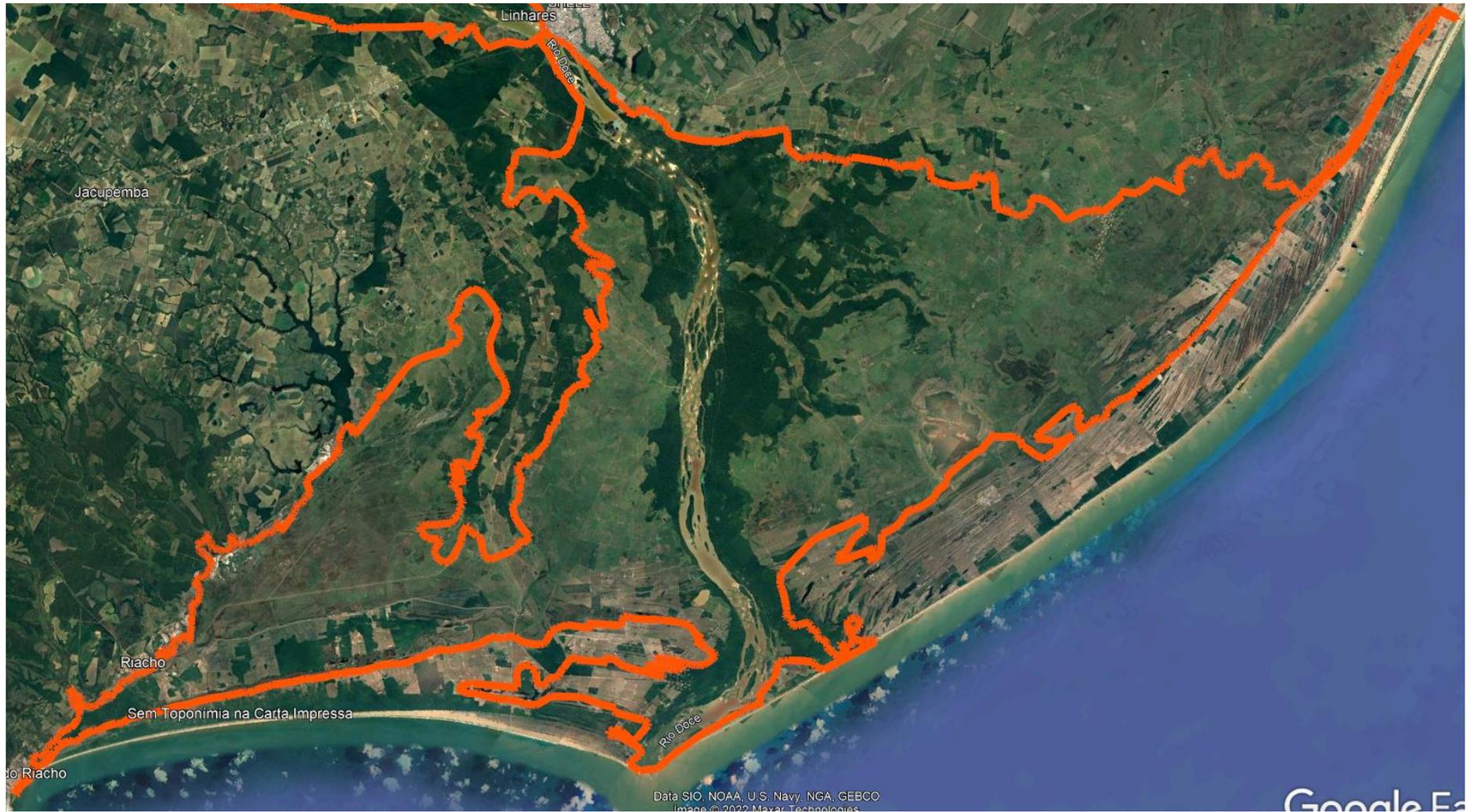


Imagem I: Mancha de inundação entre a Cidade de Linhares e a região da Foz do Doce.

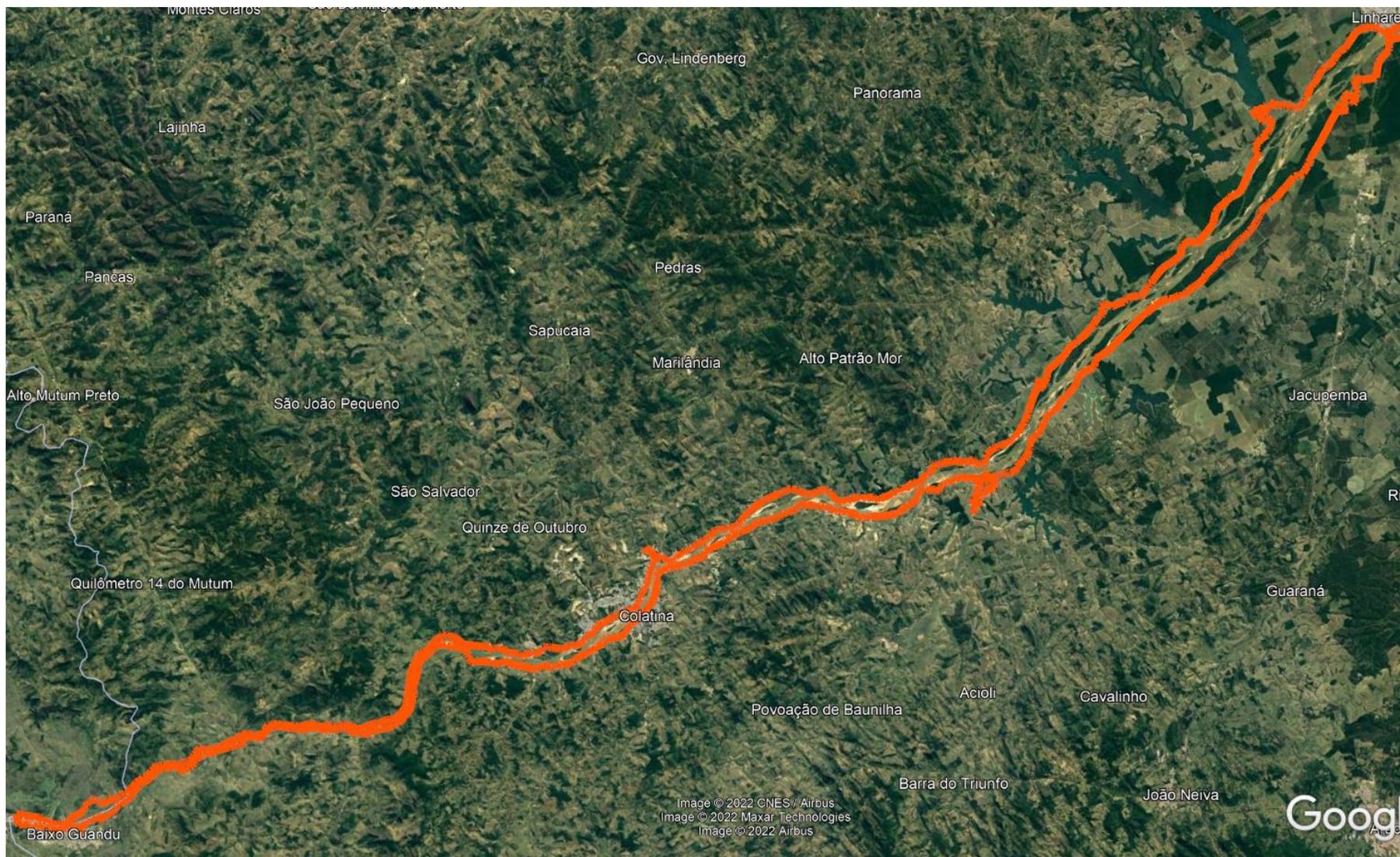


Imagem II: Mancha de inundação entre a divisa ES/MG e a cidade de Linhares.



Imagem III: Isolinas altimétricas na região próxima a foz do rio Doce.

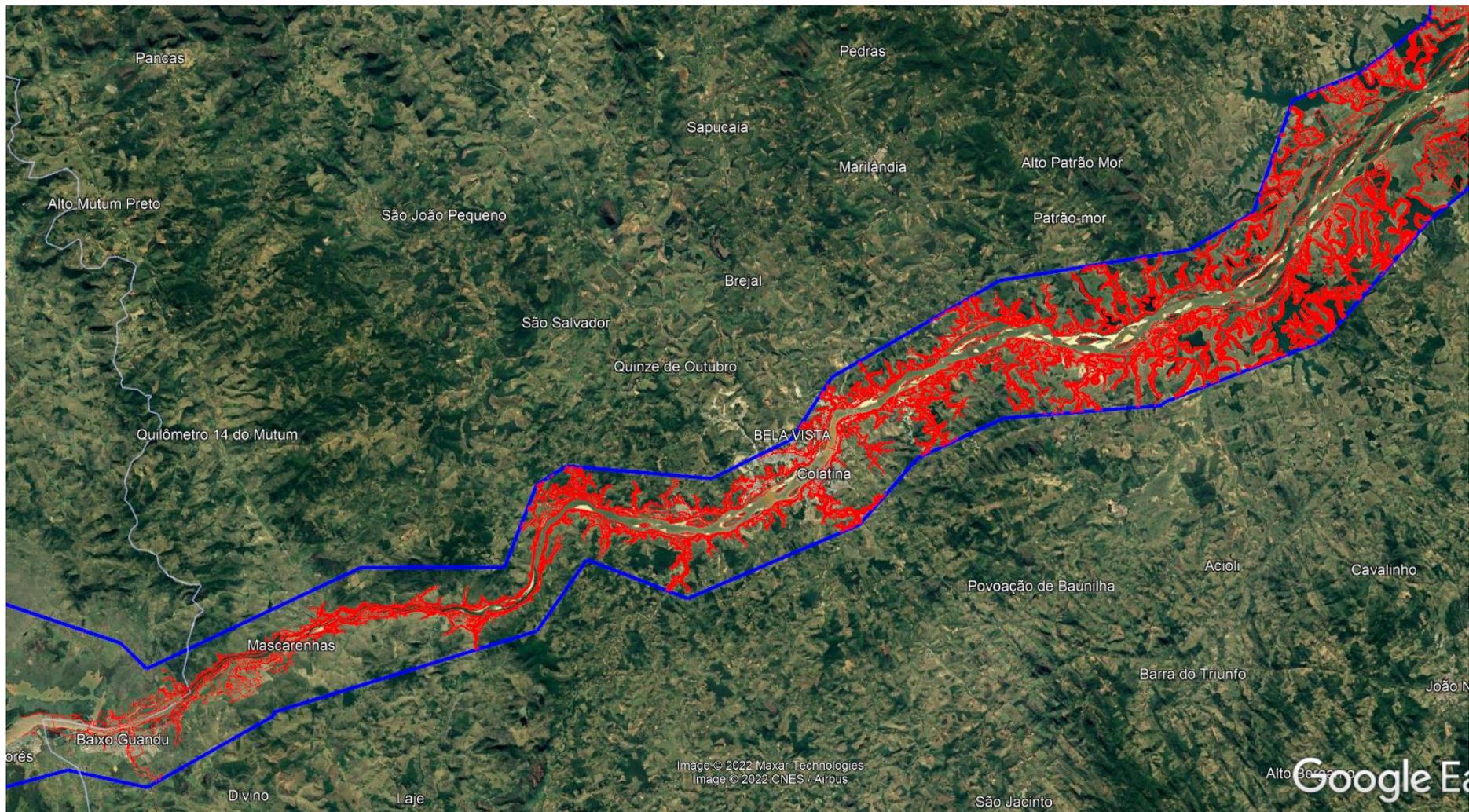


Imagem IV: Isolinhas altimétricas entre a divisa ES/MG e a região próxima à cidade de Linhares



Imagem V: Imagem satélite SENTINEL-2 L2a ; 63°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KUD; formato kmz, data de 15/01/2022



Imagem VI: Imagem satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KVD; formato kmz, data de 15/01/2022.



Imagem VII: Imagem satélite LANDSAT-8; 60°; Natural Color ; B4; B3; B2; #215/074; formato kmz, data de 17/01/2022.



Imagem VIII: Imagem satélite LANDSAT-8; 60°; Natural Color ; B4; B3; B2; #215/073; formato kmz, data de 17/01/2022.



Imagem IX: Imagem satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KVD; formato kmz, data de 20/01/2022.

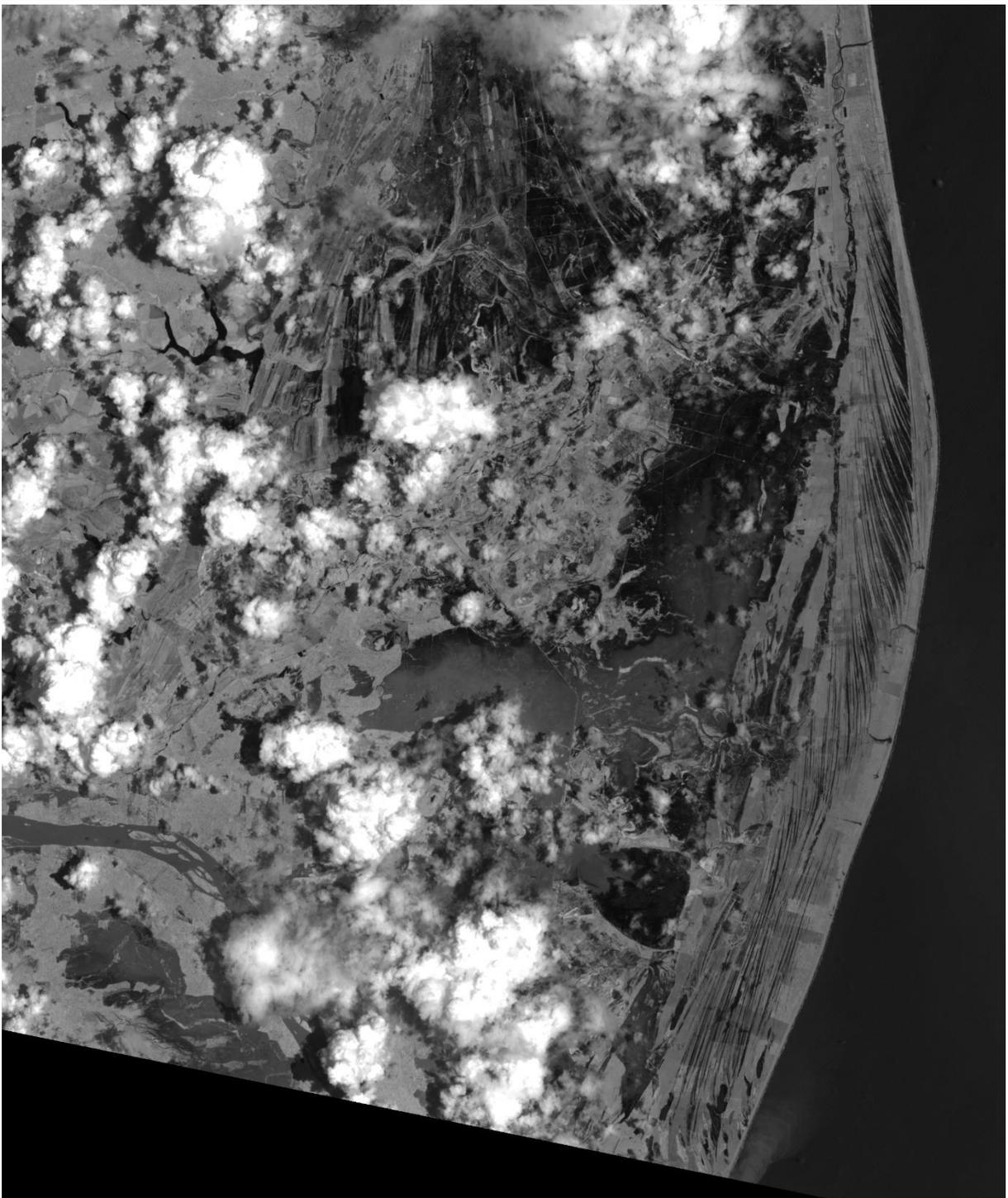


Imagem X: Imagem satélite CBERS-4 (MUX); 195 137, 195 138; BAND8; formato kmz, data de 16/01/2022. (usado somente na foz).



Imagem XI: Imagens satélite CBERS-4 (MUX); 195 137, 195 138; BAND8; formato kmz, data de 16/01/2022. (usado somente na foz).



Imagem XII: Imagens satélite SENTINEL-2 L2a ; 64°; Natural Color ; B04; B03; B02; #24KUD; formato kmz, data de 20/01/2022.



Imagem XIV: Foz do rio Riacho.



Imagem XV: Lagoa Monsarás.



Imagem XVI: Ponta de Povoação, margem esquerda da foz do rio Doce.



Imagem XVII: Linhares, proximo a drenagem da lagoa Juparanã..



Imagem XVIII: canal de drenagem do DNOS auxiliando na propagação da inundação.



Imagem XIX: canal de drenagem do DNOS auxiliando na propagação da inundação.



Imagem XX: Linhares próximos a Lagoa Juparanã.



Imagem XXI: Linhares próximo a um conjunto habitacional cercado por dique.



Imagem XXII: Linhares próximo a um conjunto habitacional cercado por dique.



Imagem XXIII: Linhares próximo a um conjunto habitacional cercado por dique.



Imagem XXIV: fazenda próxima ao rio Doce com marcas de inundação.



Imagem XXV: região de cacau cabruca inundada, margem esquerda do Doce.



Imagem XXVI: Região de cabruca já distante do Doce inundada, não é possível visualizar o Doce.



Imagem XXVII: área inundadas distantes do Doce.



Imagem XXVIII: divisa entre áreas alagada e não alagada, os nichos florestais e estradas servem como referência para auxiliar a interpretação a partir das fotos georreferenciadas.



Imagem XXIX: borda da mancha de inundação sendo delineada pelo aterro da rodovia, caso corriqueiro na margem esquerda do Doce.



Imagem XXX: instalações da Petrobras, facilmente localizáveis como ponto de referência.



Imagem XXXI: região próxima a usina termoeétrica, construções facilmente identificáveis por satélite, verifica-se também que estas estão sistematicamente em uma área mais elevada.



Imagem XXXII: exemplo de grande extensão plana alagada.



Imagem XXXIII: região da ETA de Povoação, margem esquerda do rio Doce, inundada.



Imagem XXXIV: Foz do Doce, vista em direção ao continente, a esquerda parte do distrito de Regência Augusta.



Imagem XXXV: comunidade do Areal alagada.



Imagem XXXVI: fazenda alagada, margem direita do Doce.



Imagem XXXVII: barra da mancha marcada por nicho florestal.



Imagem XXXVIII: barra da mancha marcada por plantações de eucalipto e ponto de referência construções.



Imagem XXXIX: borda da mancha, definida por plantação de eucalipto.



Figura 18: borda da mancha de inundação identificável pela mudança de cor no terreno, presenças de áreas alagadas e aterro da estrada.