



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**JAMES RAFAEL ULISSES DOS SANTOS**

**VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO POR PROCESSOS FLUVIAIS E  
ALTERAÇÕES DO USO E COBERTURA DA TERRA NA PLANÍCIE DELTAICA  
DO RIO DOCE, ESPÍRITO SANTO – BRASIL**

**VITÓRIA  
2022**

---

JAMES RAFAEL ULISSES DOS SANTOS

**VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO POR PROCESSOS FLUVIAIS E  
ALTERAÇÕES DO USO E COBERTURA DA TERRA NA PLANÍCIE DELTAICA  
DO RIO DOCE, ESPÍRITO SANTO - BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Geografia na linha de pesquisa Dinâmica dos Territórios e da Natureza

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Jacqueline Albino

**VITÓRIA  
2022**

---

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

S237v Santos, James Rafael Ulisses dos, 1986-  
Vulnerabilidade à Inundação por Processos Fluviais e Alterações  
do Uso e Cobertura da Terra na Planície Deltaica do Rio Doce,  
Espírito Santo – Brasil / James Rafael Ulisses dos Santos. - 2022.  
208 f. : il.

Orientadora: Jacqueline Albino.  
Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do  
Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Eventos Hidrometeorológicos. 2. Ambiente Deltaico. 3.  
Análise Multicritério. 4. Impactos Socioambientais. I. Albino,  
Jacqueline. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de  
Ciências Humanas e Naturais. III. Título.

CDU: 91

---

---

JAMES RAFAEL ULISSES DOS SANTOS

**“VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO POR PROCESSOS FLUVIAIS E ALTERAÇÕES DO USO E COBERTURA DA TERRA NA PLANÍCIE DELTAICA DO RIO DOCE, ESPÍRITO SANTO – BRASIL”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Doutor em Geografia.

Aprovada em 15 de julho de 2022.

Comissão Examinadora:

**Profª. Drª. JACQUELINE ALBINO (UFES)**  
Orientadora e Presidente da Sessão

**Prof. Dr. ANDRÉ LUIZ NASCENTES COELHO (UFES)**  
Examinador Interno

  
**Profª. Drª. GISELI MODOLO VIEIRA MACHADO (UFES)**  
Examinadora Interna

  
**Profª. Drª. NIVANEIDE ALVES DE MELO FALCÃO (UFES)**  
Examinadora Externa

**Prof. Dr. WESLEY DE SOUZA CAMPOS CORREA (UFES)**  
Examinador Externo



Documento assinado digitalmente  
CARLOS ALBERTO KUSTER PINHEIRO  
Data: 21/07/2022 19:58:51-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Por **Prof. Dr. CARLOS ALBERTO KUSTER PINHEIRO (PMVV)**  
Examinador Externo

**Prof. Dr. RAFAEL DE CASTRO CATÃO**  
(Coordenador)



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
JACQUELINE ALBINO - SIAPE 1172704  
Departamento de Oceanografia e Ecologia - DOE/CCHN  
Em 20/07/2022 às 16:03

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/519735?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
ANDRE LUIZ NASCENTES COELHO - SIAPE 3436722  
Departamento de Geografia - DG/CCHN  
Em 20/07/2022 às 20:04

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/519937?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**PROTOCOLO DE ASSINATURA**



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por  
RAFAEL DE CASTRO CATÃO - SIAPE 1416049  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Geografia  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG/CCHN  
Em 12/09/2022 às 17:21

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:  
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/558413?tipoArquivo=O>

---

Dedico esta Tese de Doutorado aos meus avós Alcênio Antônio dos Santos (*in memoriam*) e Maria Nazaré dos Santos (*in memoriam*) e aos meus pais Luís Ulisses dos Santos e Graciete dos Santos pelo carinho, apoio, ensinamentos e por sempre acreditar que eu poderia alcançar esse objetivo. Minha gratidão.

DEDICO



---

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus meu criador, razão da minha existência.

Aos meus pais Graciete dos Santos e Luís Ulisses dos Santos, à minha irmã Leisyane Aparecida Ulisses dos Santos, ao meu cunhado Ângelo Washington dos Santos, aos meus sobrinhos Anthonny Washington dos Santos, Lara Sophia dos Santos e Maria Ísis dos Santos.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG, da Universidade Federal do Espírito Santos – UFES.

Ao professor doutor André Luiz Nascentes Coelho, pela amizade e auxílios, estes que foram fundamentais para elaboração do texto e confecção dos produtos cartográficos da tese.

À minha orientadora, professora doutora Jacqueline Albino, por ter aceitado o desafio da orientação, pela paciência e, sobretudo, pelos ensinamentos e conselhos para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao professor doutor Carlos Alberto Kuster Pinheiro e toda sua família, pela amizade, ensinamentos e incentivos, para que eu não desistisse e prosseguisse com a pesquisa.

À professora doutora Giseli Modolo Vieira Machado, pelas relevantes contribuições e sugestões, tanto na qualificação como na defesa, para deixar assim, o trabalho melhor.

À professora Nivaneide Alves de Melo Falcão, por ter me iniciando na pesquisa em geografia física, principalmente em geomorfologia e solos, como minha orientadora no curso de graduação em geografia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL.

Ao meu amigo, doutor Erick Alessandro Schunig Fernandes, pelos conselhos e principalmente pela grande amizade construída. Agradeço também ao doutor Wesley de Souza Campos Correa, amigão e parceiro que conheci antes mesmo de ingressar no Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFES.

Ao meu amigo doutor Rafael Henrique Meneghelli Fafá Borges e toda sua família pela amizade construída durante esses anos aqui vividos em Vitória, Espírito Santo.

Às minhas queridas amigas e futuras doutoras em geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo/UFS, Edilsa Oliveira dos Santos e

---

Sheylla Patrícia Gomes do Nascimento, pelas valorosas colaborações durante à realização desse trabalho.

Aos ex-secretários do PPGG/UFES (Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Espírito Santo), Izadora Ramos, Luciana e Igor pelo profissionalismo, comprometimento, dedicação e conversas descontraídas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

A todos aqueles que não citei, mas que de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão desse trabalho/pesquisa de tese de doutorado.

---

“Pensa num rio, caudaloso e majestoso, que corre por milhas e milhas entre robustas margens, tu sabes onde está o rio, onde a margem, onde a terra firme. Em certo ponto o rio, por cansaço, porque correu por muito tempo e muito espaço, porque se aproxima do mar, que anula em si todos os rios, já não sabe o que é. Torna-se o próprio delta. Subsiste talvez um braço maior, mas muitos outros se ramificam em todas as direções, e alguns confluem novamente uns para os outros, e às vezes não sabes o que é origem de quê, o que é rio ainda e o que já é mar...”

**UMBERTO ECO** (2018, p. 234, *in*: O Nome da Rosa).

---

## RESUMO

Os sistemas deltaicos são ambientes dinâmicos que estão na interface entre os sistemas fluviais e costeiros, por essa razão sofrem constantes alterações morfodinâmicas espaço-temporais, tais como: erosão e inundação, além de mudanças no uso e cobertura da terra, como consequência das atividades antrópicas. Com isso, o presente trabalho teve por objetivo determinar a vulnerabilidade à inundação na planície deltaica do rio Doce, mediante a integração de condicionantes fluviais naturais e antrópicos, usando diferentes abordagens metodológicas. Para tanto, cabe considerar que sua evolução (planície deltaica) se deu em condições de nível do mar mais altos que o atual, sendo a franja oceânica, de modo potencial capaz de servir de barreira para as alterações recentes de intensificação de eventos oceanográficos. Sendo assim, para atingir os objetivos propostos, os procedimentos metodológicos foram realizados com base em levantamentos bibliográficos, documentais, aquisição de dados cartográficos, estudo das características da área e trabalhos de gabinete com a elaboração dos produtos cartográficos temáticos, e aplicação de métodos multicritérios (Lógica *booleana* e *Processo Analítico Hierárquico-AHP*) para a produção dos modelos de inundação, usando técnica de álgebra de mapas em ambiente do Sistema de Informações Geográficas-SIG. Onde, os resultados, por sua vez, constataram as mudanças que ocorrem quanto aos aspectos físicos e socioeconômicos (uso e cobertura da terra) ao longo dos anos na paisagem da planície deltaica do rio Doce. Posto isto, com a modelagem integrada das variáveis: declividade, geologia, solos, geomorfologia e uso e cobertura da terra, pode-se determinar a vulnerabilidade a inundação, onde foi constatado por meio dos modelos, que a área apresentou uma predominância para as classes alta e muito alta, sendo validado pela extensão dos pulsos de inundação identificados nas imagens dos satélites Landsat - 5 e 8. As classes de maior vulnerabilidade correspondem aos setores de relevo plano e suave ondulado, que compreendem os subambientes deltaicos: planícies fluviolagunar e fluviomarinha, que pela sua configuração morfológica, tem uma suscetibilidade natural aos eventos de inundação, principalmente quando ocorre o transbordamento do canal principal do rio Doce, em razão das cheias extremas. Já a vulnerabilidade com classes mais baixas, foi verificada no setor central, que se encontra mais elevado que o entorno e abrange o subambiente planície interdistributária. Além disso, foi realizada uma análise dos impactos socioambientais ocorridos no médio-baixo rio Doce sobre a construção de barragens e do desastre da barragem da Samarco em Mariana (MG), onde se verificou as mudanças na dinâmica morfológica fluvial e socioespaciais ao longo do canal principal do rio Doce na planície deltaica. Dada a relativa importância socioambiental e econômica da planície deltaica do rio Doce e os resultados apresentados, esse trabalho pode contribuir no planejamento, gestão e em tomada de decisão no ambiente deltaico.

**Palavras-chave:** Eventos Hidrometeorológicos; Ambiente Deltaico; Análise Multicritério; Impactos Socioambientais.

---

## ABSTRACT

Deltaic systems are dynamic environments that are at the interface between river and coastal systems, for this reason they undergo constant spatio-temporal morphodynamic changes, such as erosion and flooding, as well as changes in land use and cover, as a consequence of human activities. Therewith, the present work aimed to determine the vulnerability to flooding in the deltaic plain of the Rio Doce, through the integration of natural and anthropic fluvial conditions, using different methodological approaches. Therefore, it is worth considering that its evolution (deltaic plain) took place under higher sea level conditions than the current one, with the oceanic fringe potentially capable of serving as a barrier to recent changes in the intensification of oceanographic events. Thus, to achieve the proposed objectives, the methodological procedures were carried out based on bibliographic and documentary surveys, acquisition of cartographic data, study of the characteristics of the area and office work with the elaboration of thematic cartographic products, and application of multi-criteria methods (Boolean Logic and Hierarchical Analytical Process-AHP) for the production of flood models, using map algebra technique in a Geographic Information System-GIS environment. Where, the results, in turn, verified the changes that occur in terms of physical and socioeconomic aspects (land use and cover) over the years in the landscape of the deltaic plain of the Rio Doce. That said, with the integrated modeling of the variables: slope, geology, soils, geomorphology and land use and cover, it is possible to determine the vulnerability to flooding, where it was verified through the models, that the area presented a predominance for the classes high and very high, being validated by the extension of the flood pulses identified in the Landsat - 5 and 8 satellite images. The most vulnerable classes correspond to the flat and smooth wavy relief sectors, which comprise the deltaic subenvironments: fluviolagunar and fluviomarine plains, which, due to their morphological configuration, have a natural susceptibility to flooding events, especially when the main channel of the river overflows. Rio Doce, due to the extreme floods. Vulnerability with lower classes, on the other hand, was verified in the central sector, which is higher than the surroundings and covers the inter-distributary plain sub-environment. In addition, an analysis was carried out of the socio-environmental impacts that occurred in the medium-low river Doce on the construction of dams and the Samarco dam disaster in Mariana (MG), where changes in the fluvial and socio-spatial morphological dynamics along the channel were verified. of the Rio Doce in the deltaic plain. Given the relative socio-environmental and economic importance of the deltaic plain of the Rio Doce and the results presented, this work can contribute to planning, management and decision-making in the deltaic environment.

**Keywords:** Hydrometeorological Events; Deltaic environment; Multicriteria Analysis; Social and Environmental Impacts.

---

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
1.1. Justificativa .....	30
1.2. OBJETIVOS .....	30
1.2.1. Geral .....	30
1.2.2. Específicos .....	31
1.3. Problemática/Questionamentos .....	31
1.4. Hipótese .....	32
<b>2. RECORTE ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>33</b>
2.1. Aspectos físicos .....	33
2.2. Aspectos socioeconômicos .....	38
<b>3. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL .....</b>	<b>40</b>
3.1. Considerações sobre vulnerabilidade, sustentabilidade e resiliência .....	40
3.2. Conceito, classificação e feições deltaicas .....	43
3.3. Processos fluviais indutores de inundação .....	47
3.4. Mudanças climáticas e as inundações fluviais .....	50
<b>4. DELINEAMENTO METODOLÓGICO .....</b>	<b>51</b>
4.1. Etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa.....	54
4.2. Elaboração dos produtos cartográficos temáticos em ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) .....	55
4.3. Métodos de Modelagem Multicritérios Aplicados .....	63
4.3.1. Método ou Lógica <i>Booleana</i> .....	63
4.3.2. Método <i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> .....	65
4.4. Pesos atribuídos a cada uma das variáveis utilizadas no cálculo da álgebra de mapas com a aplicação dos métodos: lógica booleana e AHP .....	71
4.5. Matrizes de comparação pareada e determinação estatística dos pesos das variáveis do método AHP para a inundação da planície deltaica do rio Doce .....	73

---

4.6. Procedimento operacional usando álgebra de mapas em SIG para o cálculo da vulnerabilidade a inundação .....	74
<b>5. REFINAMENTO CARTOGRÁFICO PARA APLICAÇÃO DOS MODELOS DE INUNDAÇÃO: Atlas da Planície Deltaica do Rio Doce .....</b>	<b>77</b>
5.1. Aspectos climáticos .....	77
5.2. Aspectos geológicos .....	80
5.3. Aspectos geomorfológicos .....	83
5.4. Solos .....	93
5.5. Drenagem e uso dos recursos hídricos.....	96
5.5.1. Os canais de drenagem nas várzeas do rio Riacho (setor sul da planície deltaica do rio Doce): usos e finalidades. ....	99
5.6. Declividade .....	103
5.7. Altimetria (hipsometria) .....	106
5.8. Batimetria.....	109
5.8.1. Plataforma continental interna .....	109
5.8.2. Características batimétricas da plataforma continental interna associada à planície deltaica do rio Doce? .....	110
5.9. Topobatimetria .....	114
5.10. Uso e cobertura da terra .....	116
5.10.1. A devastação das matas nativas durante o ciclo madeireiro (1910 a 1960) no médio-baixo rio Doce, Espírito Santo. ....	116
5.10.2. Panorama atual dos aspectos socioeconômicos da planície deltaica. ....	117
5.10.3. Uso e cobertura da terra da planície deltaica do ano de 2019.....	122
<b>6. INUNDAÇÃO NA PLANÍCIE DELTAICA DO RIO DOCE EM DECORRÊNCIA DE EVENTOS FLUVIAIS.....</b>	<b>125</b>
6.1. Regime hidrológico e histórico das vazões do médio-baixo rio Doce .....	125
6.2. Modelagem à inundação usando álgebra de mapas (lógica <i>booleana</i> ) .....	129
6.3. Índice de vulnerabilidade à inundação com aplicação do método AHP .....	132

---

6.4. Comparativo dos métodos multicritérios usados na modelagem à inundação da planície deltaica do rio Doce .....	135
6.5. Pulsos de inundação na planície deltaica do rio Doce.....	137
6.6. Correla�o da inundação entre os produtos da modelagem e imagens de satélites.....	140
6.7. Discussão sobre inundação na planície deltaica .....	150
<b>7. REFLEXOS DOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NO MÉDIO-BAIXO E NA PLANÍCIE DELTAICA DO RIO DOCE .....</b>	<b>160</b>
7.1. Impacto ambiental no sistema fluvial por atividade antrópica: médio-baixo rio Doce .....	161
7.2. Os impactos ambientais e socioeconômicos derivados do rompimento da barragem de Fundão da Empresa Samarco e análise do pulso de inundação da lama/rejeitos no canal principal do rio Doce na planície deltaica .....	164
7.3. Reflexos dos impactos socioambientais na planície deltaica do rio Doce ..	168
<b>8. CONCLUSÃO .....</b>	<b>171</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXO I .....</b>	<b>198</b>
<b>ANEXO II .....</b>	<b>205</b>



---

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do Índice de Consistência.....	67
Equação 2 - Cálculo da Razão de Consistência.....	68
Equação 3 - Fórmula para o cálculo de Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC)..	70
Equação 4 - Fórmula para o cálculo da vulnerabilidade à inundação com o uso do método/lógica <i>Booleana</i> .....	75
Equação 5 - Fórmula para o cálculo da vulnerabilidade � inundação usando o método AHP.....	75
Equação 6 - Fórmula da Declividade.....	104

---

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da planície deltaica do rio Doce, no Estado do Espírito Santo – Brasil. ....	35
Figura 2 - Perfis de Inclinação média e diâmetro médio das areias da praia na porção norte da desembocadura do rio Doce, de Urussuquara a Guriri. ....	38
Figura 3 – A Figura 3A representação da classificação de Fisher <i>et al.</i> (1969) com base nos processos construtivos e destrutivos de formação deltaica. Sendo assim, estabelecidos os seguintes arcabouços faciológicos: (A) delta destrutivo dominado por ondas, construído basicamente da associação de areias fluviais e litorâneas; (B) delta destrutivo dominado por marés, com extensos baixios de marés ou fáceis de planícies arenosas; (C) delta construtivo lobado, associado as areias fluviais e de barras de desembocadura de canal e (D) delta construtivo alongado, com espessas barras de desembocadura de canal e barras digitadas. A Figura 3B apresenta o diagrama esquemático que ilustra a divisão tripartite da classificação deltaica proposta por Galloway (1975) com as seis categorias de delta apontadas por Coleman e Wright (1975). ....	45
Figura 4 - Aspectos morfológicos de um sistema deltaico, com a três compartimentações principais: planície deltaica, frente deltaica e prodelta. ....	47
Figura 5 - Perfis transversais representando os tipos de leitos de um rio com os cursos d'água. ....	48
Figura 6 - Perfil esquemático representando uma simulação de enchente, inundação e alagamento. ....	49
Figura 7 - Fluxograma representando as etapas da pesquisa. ....	53
Figura 8 – A Figura 8A representa o mapa das cartas náuticas e a Figura 8B, o mapa das curvas de nível e as isóbatas da área de estudo. ....	61
Figura 9 – A Figura 9A corresponde ao mapa dos ortofotomosaicos de 2007/2008 e a Figura 9B, ao mapa dos ortofotomosaicos de 2012/2015. ....	62
Figura 10 - Esquema representativo da combinação convencional de dois <i>Pis</i> , com o uso da lógica <i>booleana</i> . ....	64
Figura 11 - Escala de importância das variáveis do método AHP, para comparação pareada. ....	68
Figura 12 - Esquema do estágio do <i>Analytic Hierarchy Process</i> – <i>AHP</i> . ....	69

---

Figura 13 - Representação do esquema metodológico da vulnerabilidade à inundação da planície deltaica do rio Doce, com base nos métodos Lógica <i>Booleana</i> e AHP, usando a técnica de álgebra de mapas em ambiente SIG. ....	76
Figura 14 - Mapa dos tipos de clima, conforme a classificação de Köppen, da planície deltaica do rio Doce.....	79
Figura 15 - Mapa geológico da planície deltaica do rio Doce.....	81
Figura 16 - Mapa das unidades geomorfológicas da planície deltaica do rio Doce.	85
Figura 17 - Cordões litorâneos pleistocênicos na planície deltaica. ....	86
Figura 18 - Vista dos cordões litorâneos holocênicos (cristas de praia) na planície deltaica.....	87
Figura 19 - Comparativo entre Imagem de satélite e modelo hipotético dos cordões litorâneos holocênicos.....	88
Figura 20 - Representação do subambiente planície interdistributária na planície deltaica.....	88
Figura 21 - Vista do subambiente planície fluviolagunar, cuja maior extensão localiza-se no setor norte da planície deltaica.....	89
Figura 22 - Visão da maior parte da extensão do subambiente planície fluviomarina na planície deltaica.....	90
Figura 23 - Representação dos paleocanais (peleodrenagens), na planície deltaica, com destaque para o maior paleocanal, localizado na margem direito do canal principal do rio Doce.....	91
Figura 24 - Paleodrenagem ou paleocanais fluviais sendo representado por meio de uma imagem de satélite e de um modelo hipotético de relevo.....	92
Figura 25 - Vista da feição morfológica <i>spit</i> , identificada na desembocadura do rio Doce.....	92
Figura 26 - Imagem de satélite e modelo da feição morfológica quaternária esporão, que corresponde a um pontal ou barreira subparalela a linha de praia. ....	93
Figura 27 - Representação do perfil transversal do um rio (tipos de leitos), e com ênfase para os terraços fluviais.....	93
Figura 28 - Mapa das classes de solos da planície deltaica do rio Doce. ....	95
Figura 29 - Mapa da Drenagem da planície deltaica do rio Doce. ....	98
Figura 30 - Vista panorâmica do canal de drenagem Caboclo Bernardo, que liga o rio Riacho a indústria da antiga Aracruz Celulose (atual Fibria).....	100

---

Figura 31 - Na imagem observa-se o trecho onde o rio Riacho é conectado ao canal Caboclo Bernardo. ....	101
Figura 32 - Vista parcial do canal Caboclo Bernardo. ....	102
Figura 33 - Canal Caboclo Bernardo, onde observa-se a presença de barras metálicas para conter a erosão das margens. ....	102
Figura 34 - Esquema representativo de uma vertente no triângulo retângulo pela correlação trigonométrica para calcular o ângulo de inclinação. ....	104
Figura 35 - Mapa da declividade (clinográfico) do delta do rio Doce. ....	105
Figura 36 - Representação do perfil topográficos traçado de sul a norte da planície deltaica do rio Doce. ....	107
Figura 37 - Mapa altimétrico da planície deltaica do rio Doce. ....	108
Figura 38 - Perfil morfológico oceânico: Cadeia Vitória – Trindade. ....	111
Figura 39 - Mapa do modelo digital da batimetria (frente deltaica e pró-delta) do delta do rio Doce. ....	113
Figura 40 - Mapa topobatimétrico do delta do rio Doce. ....	115
Figura 41 - Mapa dos municípios que se conectam com a área de abrangência da planície deltaica do rio Doce. ....	119
Figura 42 - Mapa de uso e cobertura da terra da planície deltaica do rio Doce, atualizado no ano de 2019. ....	124
Figura 43 - Médias das vazões mensais (períodos de vazantes e cheias de 78 anos de medições) do médio-baixo rio Doce da estação fluviométrica de Colatina - ES. ....	126
Figura 44 - Gráfico com os registros das variações mensais das vazões médias do período entre 1939 a 2017, do médio-baixo rio Doce (estação fluviométrica de Colatina - ES). ....	127
Figura 45 - Mapa do potencial de inundação da planície deltaica do rio Doce, usando a lógica <i>booleana</i> . ....	130
Figura 46 - Mapa do potencial de inundação da planície deltaica do rio Doce, com a lógica <i>booleana</i> , dividido por setores. ....	131
Figura 47 - Mapa do índice de vulnerabilidade a inundação da planície deltaica do rio Doce, com o método AHP. ....	133
Figura 48 - Mapa da vulnerabilidade a inundação da planície deltaica do rio Doce, com o método AHP, dividido por setores. ....	134

---

Figura 49 - Comparativo da inundação no extremo norte da planície deltaica do rio Doce. Na Figura 49 A1 usou-se a lógica <i>booleana</i> e na Figura 49 A2 utilizou-se o método AHP.....	135
Figura 50 - Comparativo da inundação do setor centro-norte da planície deltaica, com o uso da lógica <i>booleana</i> na Figura 50 B1 e com o AHP na Figura 50 B2.....	135
Figura 51 - Comparativo da inundação do setor central da planície deltaica. A Figura 51 C1 representa a modelagem com o uso da lógica <i>booleana</i> e a Figura 51 C2 com o AHP.....	136
Figura 52 - Comparativo da inundação do extremo sul da planície deltaica, com o uso da lógica <i>booleana</i> na Figura 52 D1 e com o AHP na Figura 52 D2. ....	136
Figura 53 - A Figura 53 A apresenta a extensão da inundação na planície deltaica do rio Doce, referente ao pico de inundação de janeiro de 1997. A Figura 53 B expressa a extensão da área inundada correspondente ao pulso de inundação de dezembro de 2013. ....	139
Figura 54 - A Figura 54 A apresenta a modelagem da planície deltaica, com base em álgebra de mapas ( <i>lógica booleana</i> ), elaborado a partir da experiência do pesquisador. Já a Figura 54 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica em janeiro de 1997.....	141
Figura 55 - A Figura 55 A representa a vulnerabilidade a inundação da planície deltaica por meio do método AHP. Já a Figura 55 B evidencia, através da imagem de satélite Landsat - 5, a inundação da área ocorrida no ano de 1997.....	143
Figura 56 - A Figura 56 A apresenta a modelagem da planície deltaica, com base em álgebra de mapas ( <i>lógica booleana</i> ), elaborado a partir da experiência do pesquisador. Já a Figura 56 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica em dezembro de 2013.....	145
Figura 57 - A Figura 57 A apresenta a modelagem a inundação da planície deltaica com base no método AHP. Já a Figura 57 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica da imagem do satélite Landsat - 8, em dezembro de 2013. ....	147
Figura 58 - A Figura 58 A representa a extensão da inundação na planície deltaica do rio Doce, extraída da imagem do satélite Landsat - 8 de dezembro de 2013. A Figura 58 B corresponde a imagem do satélite Landsat - 8 com a inundação de dezembro de 2013 na planície deltaica.....	149

---

Figura 59 - Rio Doce em Colatina, representado em dois momentos: acima um período quando as águas estão no leito normal (registrado em 9/11/2015) e abaixo durante a cheia causando Inundação e alagamento (registrado em 21/01/2016).	151
Figura 60 - Monitoramento do nível de água do rio Doce na ponte Florentino Ávidos em Colatina.....	153
Figura 61 - Registro da subida das águas do rio Doce em Colatina (ES).....	153
Figura 62 - Régua com registro do nível da água do rio Doce, que chagou a 3,50 m. ....	154
Figura 63 - Visão panorâmica da enxurrada de rejeito no Distrito de Bento Rodrigues, Mariana - MG. ....	164
Figura 64 - Rio Gualaxo do Norte, em junho de 2016. ....	165
Figura 65 - Caminho percorrido pela lama no canal principal do Rio Doce, desde o local do rompimento da barragem de Fundão, até sua foz no litoral do Espírito Santo. ....	166
Figura 66 - Trajeto da lama do distrito de Mariana (MG) até a desembocadura do rio Doce (município de Linhares), litoral do Espírito Santo.....	168
Figura 67 - Vista aérea da enxurrada de rejeito na foz do rio Doce, litoral do Espírito Santo.....	170

---

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)
- APFM - *Associated Programme on Flood Management*
- ASAS - Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CVI - *Coastal Vulnerability Index*
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FEMA - *Federal Emergency Management Agency*
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
- IJSN - Instituto Jones do Santos Neves
- INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
- IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
- IR - Índice Randômico
- IVC - Índice Vulnerabilidade Costeira
- LEPLAC - Levantamento da Plataforma Continental Brasileira
- MCE - Múltiplos Critérios Espaciais (*Multiple Spatial Criteria – MSC*).
- MCGAO - Modelos de Circulação Global Atmosfera-Oceano
- MEC - Massa Equatorial Continental
- MPA - Massa Polar Atlântica
- NMM – Nível Médio do Mar
- NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Administração Oceânica e Atmosférica Nacional)
- NRM - Nível Relativo do Mar (NRM)
- PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
- RC - Razão de Consistência
- RRDM - Rede Rio Doce Mar
- SIG - Sistema de Informação Geográfica
- SR - Sensoriamento Remoto
- SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (Missão Topográfica Radar Shuttle ou Missão Topográfica de Radar Embarcado)
- USGS - United States Geological Search / Serviço Geológico dos Estados Unidos

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala absoluta de Saaty, com os pesos para correlação pareada entre os atributos no processo decisório multicritério com a AHP.....	66
Tabela 2 - Declividade com os respectivos pesos de cada classe adotados na modelagem da vulnerabilidade a inundação da área de estudo .....	71
Tabela 3 - Geologia com os pesos de cada unidade usados no cáculo da modelagem da vulnerabilidade a inundação da área de estudo .....	71
Tabela 4 - Solos com pesos de cada classe atribuídos na modelagem da vulnerabilidade inundacional da área de estudo. ....	72
Tabela 5 - Geomorfologia com os pesos de cada unidade e empregados na modelagem da vulnerabilidade inundacional da área de estudo.....	72
Tabela 6 - Uso e cobertura da terra com os pesos utilizados para integrar o cáculo da vulnerabilidade a inundação da área de estudo.....	72
Tabela 7 - Matriz de comparação pareada da área de estudo.....	73
Tabela 8 - Valores de interesse para o modelo (método AHP).....	73
Tabela 9 - Determina�o dos pesos para cada variável da área de estudo.....	74
Tabela 10 - Panorama dos aspectos socioeconômicos, populacionais e territoriais dos municípios que abrangem os limites geográficos da planície deltaica do rio Doce (ES).....	121
Tabela 11 - Uso e cobertura da terra da planície deltaica do rio Doce.....	123
Tabela 12 - Registro da série histórica das vazões do médio-baixo rio Doce (MG-ES). .....	127
Tabela 13 - Média decadal das vazões da esta�o fluviométrica Colatina entre os anos de 1939 a 2017.....	128
Tabela 14 - Referências das cotas de inundação em Colatina – ES. ....	152



---

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Informações referentes ao levantamento das bases de dados cartográficos utilizadas para a realização da pesquisa. ....	59
Quadro 2 - Cálculo das prioridades (consistências) dos valores de Índice Randômico (IR) para matrizes quadradas de ordem $n$ .....	67
Quadro 3 - Impactos hidrofísicos e mudanças no sistema fluvial induzidos pelo homem. ....	161
Quadro 4 - Tipos de impactos socioambientais e as causas e consequência no médio-baixo rio Doce (em parte de Minas Gerais e principalmente no Espírito Santo), em decorrência da implantação das UHEs de Aimorés e Mascarenhas.....	162

## 1. INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são suscetíveis a alterações de cunho espaço-temporais que podem resultar em uma variedade de estruturas geológicas e feições geomorfológicas. Esse dinamismo tem origem na complexa interação entre os processos fluviais (erosão, transporte e deposição de sedimentos), costeiros (ação das ondas, marés, correntes litorâneas) e atividades humanas, culminando em mudanças constantes nas paisagens naturais costeiras e construção de feições geomórficas (ROSSETTI, 2008).

Dentre as feições morfológicas existentes entre o ambiente fluvial e litorâneo, destacam-se os deltas. Os sistemas deltaicos são fundamentais para manter o equilíbrio entre os ciclos hidrológico, biogeoquímico, produtividade e biodiversidade (JUNK *et al.*, 1989; KESEL, 1989; OVEREEM; SYVITSKI, 2009). Na planície deltaica alguns subambientes, tais como os cordões litorâneos (cristas de praia), e ilhas barreiras, exercem a função de proteger as terras baixas e úmidas (águas doces) das forças marinhas e do avanço da cunha salina (JUNK *et al.*, 1989; KESEL, 1989; DAY *et al.*, 1995, 1997, 2000; GORNITZ, 1991; OVEREEM; SYVITSKI, 2009).

Na planície deltaica (porção emersa do delta), podem surgir diversos ecossistemas naturais, a exemplo dos manguezais, reservas de combustíveis fósseis (hidrocarbonetos: petróleo e gás), além de solos férteis ideais para a atividade agropecuária. Por essas características esse ambiente pode favorecer a instalação de parques industriais, os quais contribuem para o desenvolvimento econômico. No entanto, devido a alguns aspectos físicos como relevo plano e suave ondulado (terras baixas), apresenta uma tendência natural a ocorrência de inundação (INCAPER, 2011; REBELLO, 2012; COELHO, 2014).

As inundações em planície deltaica podem ter duas origens: a primeira é de ordem fluvial, relacionada ao volume e a intensidade das precipitações, o que causam as cheias e transbordamento dos cursos d'água. Vale destacar que a extensão e a frequência das inundações são decorrentes da intensidade e distribuição das chuvas, capacidade de infiltração e saturação de água no solo, bem como dos aspectos morfométricos da bacia de drenagem (UN-ISDR, 2002; SOUZA, 1998; AMARAL; RIBEIRO, 2009; SILVEIRA *et al.*; 2014, 2015).

A segunda forma de inundação está associada aos eventos extremos como as tempestades costeiras e a elevação do nível médio do mar. Esses eventos podem

---

estar relacionados aos efeitos do aquecimento global, que podem ter como principais causas, o aumento da temperatura das águas dos oceanos, levando ao derretimento das geleiras do Ártico e da Antártica. Além da intensificação de fenômenos climáticos e meteorológicos (IPCC, 2007; 2013).

Para tanto, o ambiente deltaico, apresenta uma vulnerabilidade natural a eventos de inundação. A vulnerabilidade pode ser compreendida a partir de três concepções: a) Fragilidade estrutural intrínseca aos próprios aspectos do ambiente; b) Sensibilidade associada aos ecossistemas sensíveis, que são responsáveis pela manutenção e sustentação das variadas atribuições ambientais; c) Grau de maturidade dos ecossistemas em relação ao tempo de evolução, sendo uma das particularidades fundamentais da fragilidade dos ecossistemas em decorrência dos impactos humanos (TAGLIANI, 2003; NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009; SANTOS, 2010).

O potencial de inundação de planície deltaica pode ser determinado através de um Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) (*Coastal Vulnerability Index - CVI*) (BONETTI; WOODROFFE, 2017; FILGUEIRAS, 2020; FILGUEIRAS; ALBINO, 2020). O IVC foi proposto por Gornitz (1991), e é um índice multicritério que permite avaliar a resposta de uma área costeira específica ante aos perigos associados a eventos naturais e antrópicos. Sua execução ocorre mediante à integração de critérios quantitativos e qualitativos em uma fórmula matemática, que são hierarquizados individualmente em graus de vulnerabilidade (SERAFIM; BONETTI, 2017).

O IVC foi aplicado com êxito em diversas áreas litorâneas ao redor do mundo, como nos estudos realizados pela *United States Geological Search (USGS)*, na costa do Atlântico e Pacífico dos EUA e no Golfo do México (PENDLETON *et al.*, 2005; THIELER; HAMMAR-KLOSE, 1999, 2000; HAMMAR-KLOSE, *et al.*, 2003), na costa italiana (PANTUSA *et al.*, 2018), Indiana (KUMAR *et al.*, 2010). E nos ambientes costeiros do Egito (HEREHER, 2013; HEREHER, 2015), Turquia (OZYURT; ERGIN, 2010), Indonésia (LOINENAK; HARTOKO, 2015), China (YIN *et al.*, 2012), Japão (CHEN *et al.*, 2016) e Brasil (BONETTI *et al.*, 2013; BONETTI *et al.*, 2015; SOUZA; VALE, 2016; BONETTI; WOODROFFE, 2017; SERAFIM; BONETTI, 2017; SERAFIM *et al.*, 2019; FILGUEIRAS, 2020).

Nesse sentido, outras metodologias podem ser utilizadas na determinação da vulnerabilidade à inundação, tanto sob influência de processos fluviais, como

---

litorâneos. Desse modo, uma das formas mais consistentes é a modelagem com uso de métodos matemáticos e/ou estatísticos e de modelos empíricos (lógica *booleana* ou *fuzzy*, por exemplo) que utiliza técnicas de álgebra de mapas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Um dos métodos multicritério consolidado que pode ser utilizado com a aplicação de álgebra de mapas é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). O AHP integra variáveis em SIG com o propósito de contribuir a tomada de decisão em diferentes estudos como no caso da vulnerabilidade a inundação em sistemas deltaicos (GORNITZ, 1991; YIN, 2012; CHEN et al., 2016, REZENDE et al., 2017). Nesse estudo, o AHP foi comparado ao método/lógica *booleana*.

A planície deltaica do rio Doce corresponde a uma feição morfológica de grande expressão do litoral brasileiro, constituindo o maior registro de depósito sedimentar quaternário do Estado do Espírito Santo. Tem uma área de 2.500 km<sup>2</sup> em sua parte subaérea, com largura máxima de 40 km na direção E-W e comprimento máximo de 160 km na direção N-S. Compreende os municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Jaguaré, Linhares e Aracruz (DOMINGUEZ et al., 1981, DOMINGUEZ et al., 1983, MARTIN et al., 1996, MARTIN et al., 1997; POLIZEL; ROSSETTI, 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

Para tanto, a área caracteriza-se como um delta em cúspide controlado por ondas fortes o bastante para transportar sedimentos depositados na foz do rio principal, cujas evidências morfoestratigráficas ressaltam a atuação da deriva litorânea, que atrelada as variações do nível do mar contribuíram para sua evolução (DOMINGUEZ et al., 1981, DOMINGUEZ et al., 1983, MARTIN et al., 1996, MARTIN et al., 1997; POLIZEL; ROSSETTI, 2014; OLIVEIRA et al., 2015).

Analisando os aspectos geomorfológicos atuais, tendo como base os processos que no passado contribuíram para sua evolução, cabe inferir hipoteticamente que o aporte sedimentar oriundo do rio Doce, relacionado as variações do nível do mar, contribuiu para as sucessivas fases de construção da planície deltaica durante o quaternário.

Essas sucessivas fases construtivas são evidenciadas nos cordões litorâneos (cristas de praia), que apresentam registros das subidas e decidas (transgressão e regressão) do nível do mar. Os cordões funcionam como anteparo que protege a costa contra marés e ondas de tempestade, isso faz com que a área tenha uma baixa vulnerabilidade a inundação devido as forças marinhas.

---

Já os setores mais internos que compreendem os subambientes morfológicos planícies fluviomarinha e fluviolagunar (relevo plano e suave ondulado), a planície deltaica apresenta um potencial natural para inundação durante as cheias extremas devido ao transbordamento do canal principal do rio Doce. Esses setores de topografia suavizada abrangem uma área de grande extensão, tendo como uso e cobertura da terra predominante pastagem e brejo, e apresentando periodicamente uma alta e muito alta vulnerabilidade a inundação.

Salienta-se que as mudanças climáticas extremas que vêm ocorrendo ao longo dos anos relacionadas às alterações e ao uso e cobertura da terra, podendo intensificar a frequência das inundações. Desse modo, projeções futuras apontam que as inundações serão cada vez mais constantes, afetando principalmente zonas urbanas, com população residindo nas áreas de várzeas e/ou planícies costeiras (IPCC, 2013; ONU, 2020).

Os efeitos das inundações para comunidades afetadas são enormes, com perdas de bens materiais e vidas humanas. No entanto, medidas e ações quanto ao gerenciamento de risco e desastres naturais podem ser tomadas, como melhorias na infraestrutura urbanas, no sentido de amenizar as eventuais inundações e alagamentos (IPCC, 2013; ONU, 2020).

Os impactos socioambientais desencadeados sob a égide da ação antropogênica, tem resultado em alterações na planície deltaica. Tais impactos podem ser originados a montante da bacia, como construção de barragens, é o caso específico do desastre com o rompimento da barragem de rejeito de minério em Mariana (MG), impactando todas as formas de vida ao longo dos cursos d'água. Na planície deltaica os reflexos dos impactos dão-se principalmente nas populações ribeirinhas que necessitam do rio, quer seja para o consumo humano, quer seja utilizando os recursos hídricos na indústria ou para a irrigação, ou seja, diretamente ligado ao uso da terra.

A integração de variáveis físicas e socioeconômicas é uma técnica bastante eficiente em tomada de decisão, auxiliando no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o planejamento e ordenamento territorial, visando assim, proporcionar uma sustentabilidade e a capacidade de resiliência quanto aos efeitos dos impactos ambientais causados pelas atividades humanas.

No anexo I encontra-se a síntese de alguns trabalhos que trataram da influência das condições climáticas sobre as forçantes oceanográficas, sendo fatores

---

que impulsionam as inundações costeiras. O conteúdo abordado neste anexo poderá contribuir em mapeamentos de inundações em áreas de terras baixas costeiras, onde os processos oceanográficos são fundamentais na determinação da vulnerabilidade a inundações em ambiente deltaico.

### **1.1. Justificativa**

A evolução da planície deltaica do rio Doce se deu com a descida do nível do mar durante o quaternário, fato que contribuiu para a construção de feições morfológicas como os cordões litorâneos (holocênicos frontais) que detêm altitudes maiores para a previsão de ondas altas. Por outro lado, os subambientes formados ao longo da evolução podem ter particularidades altimétricas que, mesmo protegidos por barreiras costeiras, por estar em um ambiente de transição, podem ser vulneráveis à inundações devido aos fatores fluviais e as forçantes oceanográficas.

A planície deltaica do rio Doce, por corresponder a uma feição geomorfológica com aspectos físicos peculiares, tais como os subambientes: planícies fluviomarina e fluviolagunar (estes que detêm as mais baixas altitudes e declividades), é naturalmente vulnerável à ocorrência de eventos inundacionais. Desse modo, o estudo teve o propósito, por meio de modelagem integrando variáveis naturais e antrópicas da paisagem, avaliar o potencial de inundações na planície, em decorrência das cheias que transbordam o canal principal do rio Doce, em função das precipitações extremas a montante da sua bacia hidrográfica. Assim caracterizando as inundações como resultado dos eventos hidrometeorológicos.

Contudo, a avaliação da vulnerabilidade à inundações para esse estudo, pode contribuir, de forma significativa, na indicação dos setores com maior potencial inundacional, tendo a capacidade, dessa forma, de auxiliar no planejamento, gestão e tomada de decisão. Além de poder corroborar na análise de eventuais impactos socioambientais e econômicos que venham a ocorrer na planície deltaica.

### **1.2. OBJETIVOS**

#### **1.2.1. Geral**

- 
- Determinar a vulnerabilidade à inundação na planície deltaica do rio Doce mediante a integração de condicionantes fluviais naturais e antrópicos, usando diferentes abordagens metodológicas.

### 1.2.2. Específicos

- Atualizar a cartografia temática dos aspectos físicos e socioeconômicos da planície deltaica do rio Doce, contextualizando com o processo geo-histórico de uso e cobertura da terra, e aplicando nos modelos de inundação.
- Estabelecer o potencial de vulnerabilidade a inundação (IVI) utilizando modelagem com lógica *booleana* e o método multicritério *AHP*, correlacionando os modelos com os pulsos de inundação representados em imagens de satélites, sob a ótica da análise integrada em ambiente do Sistema de Informação Geográfica (SIG).
- Analisar as alterações e consequências derivadas do pulso de inundação do rompimento da barragem da Samarco em Mariana – MG e seus respectivos impactos no médio-baixo e na planície deltaica do rio Doce.

### 1.3. Problemática/Questionamentos

Conforme o apresentado, vários estudos têm mostrado que os ambientes costeiros são área que historicamente passam por processos naturais e intervenções antrópicas, principalmente as planícies deltaicas. Mudanças espaço-temporais nessas áreas devem levar em consideração os processos fluviais e morfodinâmicos costeiros, bem como as ações humanas, sendo estes fatores preponderantes para a ocorrência de eventos como inundações, além de problemas ambientais e socioeconômicos. Diante dos fatos apresentados e no intuito de elucidar a problemática proposta, levanta-se os seguintes questionamentos:

- Como as cheias e as precipitações extremas tem intensificado a ocorrência de pulsos de inundação da planície deltaica do rio Doce?
- Qual a relação histórica entre processos relacionados aos fatores físicos/naturais e o tipo de uso e cobertura da terra na avaliação da vulnerabilidade à inundação na planície deltaica do rio Doce?

- De que forma a ação das forçantes oceanográficas (ondas e marés de tempestades) e uma possível elevação do nível médio do mar, podem intensificar a vulnerabilidade a inundação na planície deltaica do rio Doce?
- Que mudanças morfológicas ocorreram no canal principal no médio-baixo rio Doce com a construção de barragens de usinas hidroelétricas e quais impactos socioambientais o pulso de inundação do rompimento da barragem de rejeito (minério de ferro) em Mariana-MG causou na planície deltaica do rio Doce?

#### **1.4. Hipótese**

A planície deltaica do rio Doce é vulnerável aos pulsos de inundação decorrentes das cheias do rio Doce, que faz seu canal principal transbordar, podendo ser agravada em função das precipitações extremas, características das feições morfológicas, tipo de uso e cobertura da terra, elevação do nível médio do mar e transposição de ondas altas em suas terras baixas.



## 2. RECORTE ESPACIAL DA ÁREA DE ESTUDO

A planície deltaica do rio Doce, corresponde a uma feição morfológica de grande expressão do litoral brasileiro, constituindo o maior registro de depósitos sedimentares quaternários do Estado do Espírito Santo (Figura 1). Apresenta uma área de aproximadamente 2.500 km<sup>2</sup> em sua parte subaérea, tendo uma largura máxima de 40 km na direção E-W e comprimento máximo de 160 km na direção N-S. Localiza-se entre as coordenadas geográficas 18° 30' de longitude Oeste (W) e 20° 00' de latitude sul (S), compreendendo os municípios de Conceição da Barra, São Mateus, Jaguaré, Linhares e Aracruz (POLIZEL; ROSSETTI, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

### 2.1. Aspectos físicos <sup>1</sup>

O clima que prevalece na planície deltaica é o tropical quente e úmido com verão chuvoso e inverno seco, de aspectos não uniforme (tipo climático Aw de KÖPPEN, 1948), sendo estabelecido por diversos fatores físicos como latitude, continentalidade, relevo e efeitos de massas de ar, sendo este último um dos principais aspectos desse tipo climático (SUGUIO *et al.*; 1982; FERREIRA, 2006; COELHO, 2007, 2019).

Os aspectos geológicos são constituídos por depósitos sedimentares de origem colúvio-aluvionares, fluviolagunares, fluviomarinhos, indiferenciados, depósitos de cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos e depósitos de paleocanais fluviais (CPRM, 2015). Quanto aos aspectos geomorfológicas são identificados os seguintes subambientes: cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos, planície interdistributária, planícies fluviolagunar e fluviomarinha, *spit*, terraços fluviais e paleocanais fluviais (POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

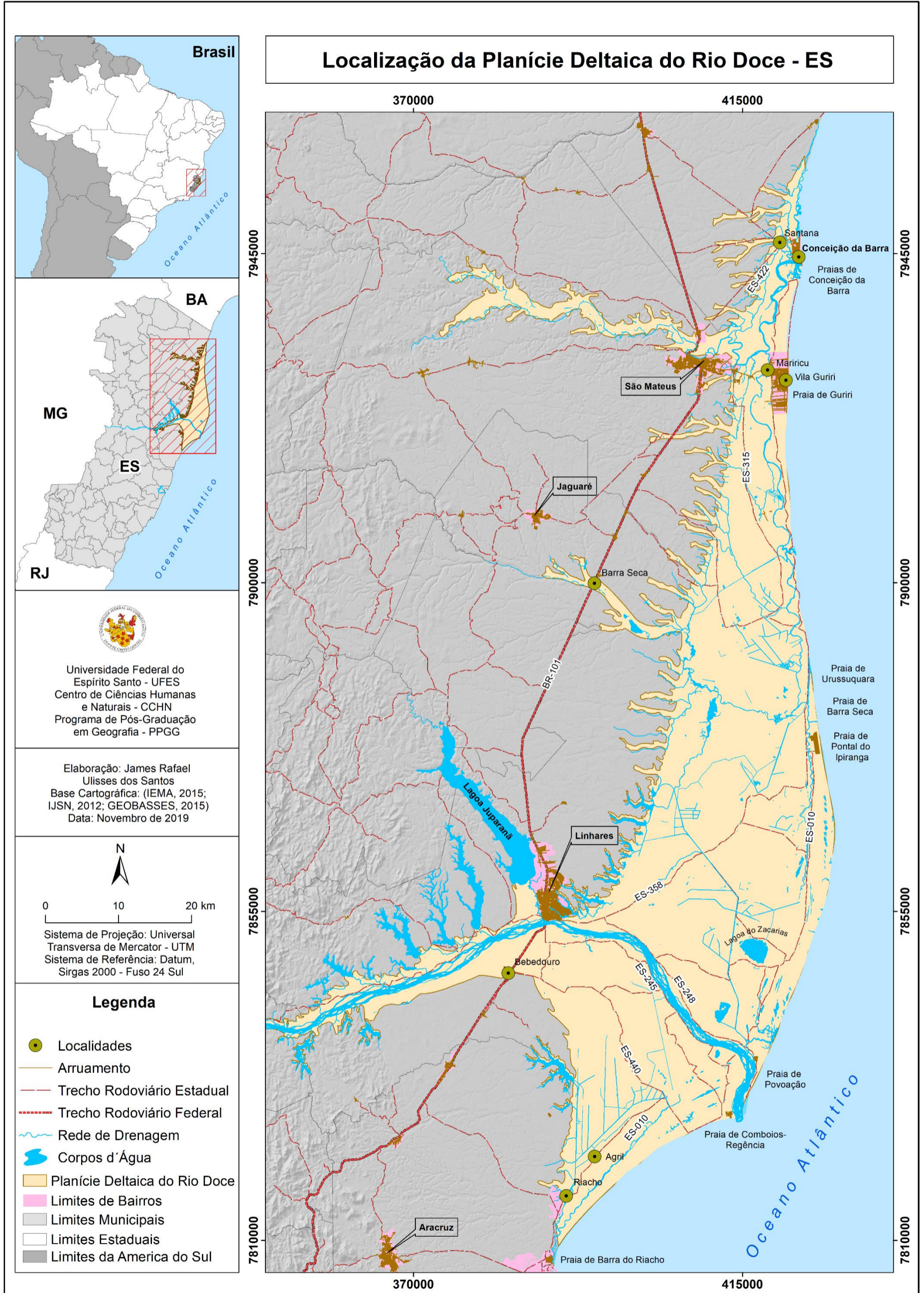
No que concerne aos solos são encontradas as classes dos Latossolos Amarelos Coesos, Argissolos Amarelos Distrófico, Cambissolos Eutróficos, Espodossolos, Gleissolos, Organossolos e Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas Marinhas) (GUERRA; BOTELHO, 2011; EMBRAPA, 2013; 2018). A

---

<sup>1</sup> As informações mais detalhadas sobre os aspectos físicos e socioeconômicos da planície deltaica do rio Doce encontram-se no primeiro capítulo 5 dos resultados que corresponde ao refinamento cartográfico dos aspectos supracitados.

formação vegetal é composta, principalmente, por fragmentos de Mata Atlântica e vegetação de restinga na borda litorânea.

Figura 1 - Localização da planície deltaica do rio Doce, no Estado do Espírito Santo – Brasil.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

---

## - Mobilidade, morfologia da linha de costa e tipologia das praias

A mobilidade e a morfologia da linha de costa relativa à planície deltaica do rio Doce, encontram-se associadas também ao transporte longitudinal de sedimentos. Assim, seu padrão determina a geometria da linha de costa e por conseguinte, sua progradação ao retrogradação em escala temporal sazonal e/ou milenar (OLIVEIRA *et al.*, 2015; DIAS, 2019).

A deriva litorânea atual apresenta uma direção predominante de sul para norte, propiciando assim, que o transporte de sedimentos fluviais seja preferencialmente nessa direção, resultando que ao norte da desembocadura ocorre uma progradação mais intensa da planície costeira. Além disso, foi constatado que o transporte longitudinal de sedimentos pela ação das ondas ocorre com maior frequência no inverno e outono (MARTIN *et al.*, 1993; OLIVEIRA *et al.*, 2015; DIAS, 2019).

O transporte de sedimentos que se dá de norte ao sul é mais expressivo na parte sul da desembocadura, no entanto, é relativamente uniforme no decorrer de todo o ano, sendo quase nulo (aproximadamente de 5.878 m<sup>3</sup>/ano) nas praias de Povoação e Degredo. Já para o transporte sedimentar líquido anual, a taxa apresenta-se menor próximo a Barra do Riacho com 47.513 m<sup>3</sup>/ano e maior nas imediações de Degredo com 160.854 m<sup>3</sup>/ano (OLIVEIRA *et al.*, 2015; DIAS, 2019).

Com a elaboração de perfis de praias adjacentes à foz do rio Doce, foi verificado que após eventos de elevada descarga, os perfis praias progradam tanto a norte como a sul da foz. E sob algumas circunstâncias hidrológicas do rio próximas às condições médias, as mudanças sazonais na frequência de direção das ondas resultam naturalmente em progradação e/ou recuo dos perfis tanto ao sul como ao norte da desembocadura (ALBINO *et al.*, 2006; ALBINO; SUGUIO, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

A compreensão da deriva litorânea e do transporte de sedimentos relacionados é indispensável para se entender a mobilidade da linha de costa no setor adjacente a foz do rio Doce. Desse modo, amparado na quantificação do deslocamento dos sedimentos torna-se possível a compreensão do seu processo de evolução (OLIVEIRA *et al.*, 2004; JIMENEZ; SÁNCHEZ-ARCILLA, 2004; KHALIFA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013; VIOLA *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2015).

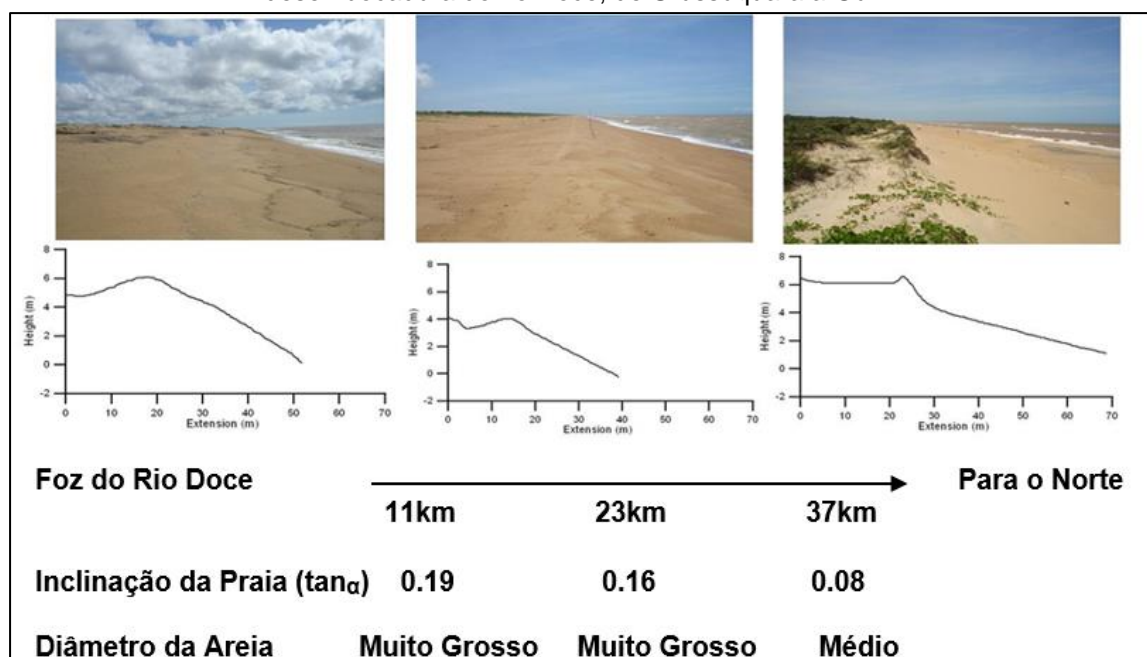
---

As praias adjacentes à foz do rio Doce são extensas e recebem influência direta da evolução da planície costeira, onde os sedimentos fluviais são regularmente fornecidos para a costa. No sentido sul, a partir da foz, ocorre o engrossamento das areias e aumento do grau de arredondamento, já as areias médias e grossas próximas ao rio Doce são substituídas por areias muito grossas no sentido de Barra do Riacho com atenuação simultânea do arredondamento. Em contrapartida, a margem norte do rio Doce expõe grãos siliciclásticos, menos arredondados e selecionados, quando equiparados com a margem sul, ratificando o transporte fluvial atual para norte e afinamento dos grãos em direção a Guriri (ALBINO; SUGUIO, 2010; RRDM, 2019).

A tipologia das praias da região apresenta-se, de forma geral, com praias intermediárias e refletivas, tendo declividade moderada e areias grossas e médias. A alta mobilidade (representada pelos perfis), nas adjacências da foz reflete na tipologia de praia. A existência de bancos dissipativos perto da desembocadura do rio Doce, ocorre devido a adição de areias fluviais finas que reduzem o gradiente da antepraia (ALBINO *et al.*, 2016; RRDM, 2019).

Nas praias de Barra do Riacho e Comboios evidenciou-se areias mais grossas, com alta inclinação e ausência de bancos. Já no sentido norte, em função da deriva litorânea no transporte de sedimentos, as praias intermediárias são caracterizadas com gradientes de face menores (Figura 2) (ALBINO *et al.*, 2016; RRDM, 2019).

Figura 2 - Perfis de Inclinação média e diâmetro médio das areias da praia na porção norte da desembocadura do rio Doce, de Urussuquara a Guriri.



Fonte: Modificado de Albino et al. (2016).

As praias dissipativas são localizadas na parte mais setentrional da planície do rio Doce, sendo também um ambiente propício a formação de dunas. Devido a abundância do fornecimento de sedimentos e da atuação dos ventos do leste que são persistentes e fortes o bastante para transportar a areia disponível, é possível encontrar dunas frontais ao longo desse setor da costa, com as maiores alcançando os 30 m de altura em Itaúnas, nas proximidades da foz do rio São Mateus (ALBINO et al., 2016; RRDM, 2019).

A morfologia da praia, particularmente a altura da berma e/ou das dunas frontais, influencia na competência deste ambiente na resposta à ação do espraiamento máximo (*run-up*), evitando a transposição da onda sobre a praia e, por conseguinte, sua completa inundação em eventos de *run-ups* máximos. Simultaneamente, em razão do gradiente da face praial, o espraiamento pode percorrer toda a extensão da praia emersa a atingir os ecossistemas próximos como restingas e vegetação de dunas (RRDM, 2019).

## 2.2. Aspectos socioeconômicos

O panorama socioeconômico dos municípios que integram a planície deltaica, está atrelado aos setores industrial, de comércio, de serviços e de agropecuária. No

setor industrial, destacam-se as empresas produtoras de papel, metalúrgica, sucos, rochas ornamentais, motores elétricos, moveleiro e petrolífera (IBGE, 1996; INCAPER, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020).

Na atividade agrícola, destacam-se os cultivos de café conilon e as culturas agrícolas temporárias anuais, tais como: milho, feijão, mandioca e seus derivados (farinha, beiju e tapioca), cana-de-açúcar (principalmente para a produção de etanol), mamão papaya, coco, banana, maracujá, abacaxi, cacau, graviola, acerola, mangaba, caju, noz-macadâmia e pimenta do reino (IBGE, 1994; 1996; 1998, INCAPER, 2011, PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020).

A pecuária é voltada para a criação de gado de leite e corte (mista), com um rebanho de aproximadamente 40.000 cabeças, principalmente nos municípios de Aracruz, Linhares e Jaguaré. Nessa atividade tem destaque a implementação de sistemas rotativos de pastagem, auxiliando no aumento da produtividade (IBGE, 1996; INCAPER, 2011).

Outras atividades estão presentes como a aquicultura/ piscicultura, tanto de maneira intensiva como extensiva. As áreas que apresentam um potencial para a atividade pesqueira são estuários e mangues (foz dos rios São Mateus e Itaúnas), com espécies aquáticas que formam um berçário natural de peixes, moluscos e crustáceos (IBGE, 1996; INCAPER, 2011).

### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA E CONCEITUAL

#### 3.1. Considerações sobre vulnerabilidade, sustentabilidade e resiliência

O termo vulnerável vem do latim *Vulnerabilis*, e corresponde ao ponto mais fraco e, por conseguinte, mais vulnerável e com maior probabilidade aos ataques (SÉGUIER, 1935). Desse modo, a vulnerabilidade está correlacionada ao maior ou menor fragilidade de um ambiente (NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009).

Além disso, a noção de vulnerabilidade é definida como uma situação em que estão presentes três elementos (ou componentes): exposição ao risco, incapacidade de reação e dificuldade de adaptação diante da materialização do risco. Cutter (2011) define vulnerabilidade como o potencial para a perda, visto que faz conexão entre os elementos de exposição e os de propensão ao risco.

Sabe-se que a vulnerabilidade está atrelada à ocorrência de catástrofes, tanto decorrentes de eventos naturais, quanto das ações humanas (MCFADDEN *et al.*, 2007). Diferentes abordagens são empregadas na definição de vulnerabilidade como a natural, que é concebida como a incapacidade de um determinado recorte espacial resistir e/ou regenerar-se após ter passado por impactos resultantes de atividades humanas (CARVALHO; LOUZADA, 2007; SANTOS, 2010).

Os primeiros estudos sobre vulnerabilidade costeira tiveram início na década de 1990, como um instrumento indispensável para auxiliar gestores e acadêmicos na avaliação dos impactos e perigos naturais nas regiões costeiras. A primeira vez que o conceito foi abordado com enfoque costeiro, datada de 1992, pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2001; BORUFF *et al.*, 2005; ALVARADO-AGUILAR, 2009).

Em ambiente costeiro, o mapeamento da vulnerabilidade pode ser considerada uma ferramenta de planejamento e gestão do litoral (DAL CIN, SIMEONI, 1994; NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009). O *Coastal Services Center da National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOOA) (1999) define vulnerabilidade como a susceptibilidade de um ambiente a impactos negativos vinculados a um risco. Desse modo, a incorporação da vulnerabilidade à exposição de riscos, aponta o grau de susceptibilidade de lugares, infraestruturas, ecossistemas e sociedades em sofrer algum tipo particular de degradação (ACSELRAD, 2006; NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009; ASSIS *et al.*; 2013).



---

A vulnerabilidade deve ser pensada sob a ótica da análise integrada, devendo a zona costeira ser avaliada com ênfase em uma visão holística, agregando elementos físicos e socioeconômicos. Para tanto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), integrado ao conhecimento geográfico, tem a capacidade de aglutinar, integrar as variáveis ambientais e sociais, evidenciando a vulnerabilidade costeira (BREWSTER, 2002; CARVALHO; LOUZADA, 2007; ALVARADO-AGUILAR, 2009; SANTOS, 2010).

No caso da sustentabilidade, trata-se de um termo empregado para determinar a competência de um sistema natural, humano ou misto, de permanecer ou adaptar-se às alterações endógenas ou exógenas. Desse modo, seja qual for a tentativa de implementar a sustentabilidade, é requerida uma integração de fatores naturais e humanos do ambiente analisado (DOVERS; HANDMER, 1992; HANDMER; DOVERS, 1996; SARTORI *et al.*; 2014).

A sustentabilidade tem relação direta com a capacidade de um sistema preservar sua estrutura organizacional e funções vigentes no decorrer do tempo, a partir das perturbações externas. Assim, é salientada a relação da capacidade de suporte, ou seja, o quanto um sistema natural pode resistir aos efeitos diretos de impactos ao tempo, para que possa garantir a sustentabilidade e conservação das gerações futuras (COSTANZA; DALY, 1992; SACHS, 2000; IPEA, 2010).

Em ambientes deltaicos, devido à grande complexidade, alguns estudos só consideram os fatores naturais, visto que sua implementação de forma direta é difícil, mesmo com a análise integrada da paisagem. Os estudos sobre a sustentabilidade em deltas são desenvolvidos tendo como foco principal a sua evolução. A conservação do sistema deltaico é analisada no tocante à sua elevação vertical (acúmulo vertical), onde o ganho de elevação superficial para alcançar a sustentabilidade deve ser equivalente ou superior ao aumento relativo do nível do mar (DAY *et al.*, 1997; OVEREEM; SYVITSKI, 2009).

Para tanto, ressalta-se que estudos sobre deltas, mesmo que incipientes, são de grande relevância no estabelecimento de diretrizes para o gerenciamento conforme critérios e objetivos específicos, no entanto, a sustentabilidade está condicionada a um subsistema deltaico, que é a planície deltaica. Nesse caso, todo o sistema deltaico é analisado como uma zona úmida, mas em muitos casos a interação com a dinâmica costeira é negligenciada, o que torna deficitária as análises

---

de manutenção e evolução morfodinâmica costeira (SANCHEZ-ARCILLA et al., 1998; 2007).

Com relação ao termo resiliência, a princípio, foi utilizado no século XIX na Física para descrever a propriedade de alguns elementos que retornavam ao estado de equilíbrio após sofrer um distúrbio. Por outro lado, em Ecologia, o termo surgiu na década de 1970, em consonância ao paradigma da estabilidade ecológica. E nas décadas seguintes passou por um aprimoramento de base teórica, para fundamentar o paradigma principal da ecologia de ecossistemas (HOLLING, 1973; O'NEILL, 2001; FOLKE, 2002, 2006; LINDOSO, 2017).

A resiliência numa perspectiva socioecológica é mais do que um conceito, corresponde a uma teoria científica capaz de compreender o funcionamento de sistemas complexos, onde seu comportamento tem como base alguns princípios determinantes. O primeiro princípio é o dos multiestados de estabilidade do sistema, sendo este tanto natural e antrópico como socioecológico (socioambiental), coexistindo de diversas formas, onde cada elemento do sistema, é caracterizado por estruturas e relações de retroalimentação específicas entre os componentes do sistema (FOLKE, 2006; LINDOSO, 2017).

O segundo princípio trata da disposição do sistema sobre o controle de estabilidade de mensuração por intermédio de variáveis de estado com fatores que variam conforme respostas a perturbações. O terceiro princípio evidencia as alterações externas que pressionam elementos de um estado para limiares específicos (*thresholds* ou *tipping points*), passando por processos de transformações catastróficas (*catastrophic shift*), da mesma forma, sendo denominado de mudanças de regime (*regime shift*), que desse modo, corrobora para um novo controle ou condição de estabilidade (SCHEFFER et al., 2001; LINDOSO, 2017).

Assim sendo, os fatores que integram um sistema podem até se manter inalterados. Porém, um novo arranjo de correspondência e retroalimentação é constituído. O quarto princípio é proposto quando o sistema volta ao controle da estabilidade interna, mas não adianta recompor as conjunturas antecedentes de processos, sendo preciso retornar a elementos e valores anteriores mais extremos, alcançando novos princípios (*thresholds*), configurando uma recente alteração de processos, logo, o alcance de estabilidade resulta em uma nova mudança de regime,

---

assim, o domínio de estabilidade preliminar é determinado (GALLOPÍN, 2006; SCHEFFER et al., 2001; LINDOSO, 2017).

Neste sentido, a resiliência caracteriza-se como a capacidade de um sistema em suportar distúrbios e, mesmo assim, continuar sem alteração de estabilidade, além de correlacionar a competência de auto-organização, conhecimento e adaptação no decorrer e posterior a perturbações (CARPENTER et al., 2001; NORBERG; CUMMING, 2008; LINDOSO, 2017).

A resiliência incorpora a análise da vulnerabilidade com o propósito de mitigar a capacidade de um ecossistema de se recuperar após eventos induzidos por perturbação, ou por manter algumas estruturas e funções sem grandes mudanças, mesmo com a pressão de ações de forçamento sobre ecossistemas (HOLLING, 1973; TURNER et al., 2003; LINDOSO, 2017).

### **3.2. Conceito, classificação e feições deltaicas.**

#### **- Ambiente deltaico**

Os deltas são formas de acumulações sedimentares alóctones, terrígenas depositadas quando um rio deságua no oceano, lago ou em outro rio, representando feições, e têm como uma das fontes, os sedimentos transportados pelos rios (Figura 3). Para um rio ter a capacidade de fornecer sedimentos numa quantidade suficiente para construir um ambiente de progradação costeira, é necessário que a bacia de drenagem tenha uma dimensão significativa, levando em consideração também fatores como precipitação e a dinâmica dos processos denudacionais (MASSELINK; HUGHES, 2003; SILVA et al., 2004; GUIMARÃES, 2014).

A morfológica de um delta está relacionada, além dos processos fluviais, à ação marinha. Dessa forma, Fisher et al. (1969) classificaram os deltas em construtivos e destrutivos (Figura 3A). Os construtivos são dominados por processos fluviais, com um evoluído sistema de drenagem, com capacidade para transportar grande quantidade de sedimento. São típicos de regiões com fraca ação das ondas, com sedimentos finos e lamosos sendo marcados por diferentes fases de construção e destruição.

Já os deltas destrutivos correspondem aos dominados pelas ondas e regime das marés (GUIMARÃES, 2014). Durante as fases construtivas, a energia das ondas

---

retrabalha os sedimentos que constrói uma linha suavizada, sendo movimentado um grande volume de areia, com origem na retirada de partículas finas pelas ondas. Nos deltas, de maré existe uma riqueza de formas lineares perpendiculares a linha de costa e em paralelo ao fluxo da maré. A sedimentação nos deltas de maré é semelhante à dos deltas de ondas, mas a diferença é que *lobos* de areia se ajustam de forma diferente, gerando aspectos morfológicos distintos (FISHER et al., 1969; GUIMARÃES, 2014).

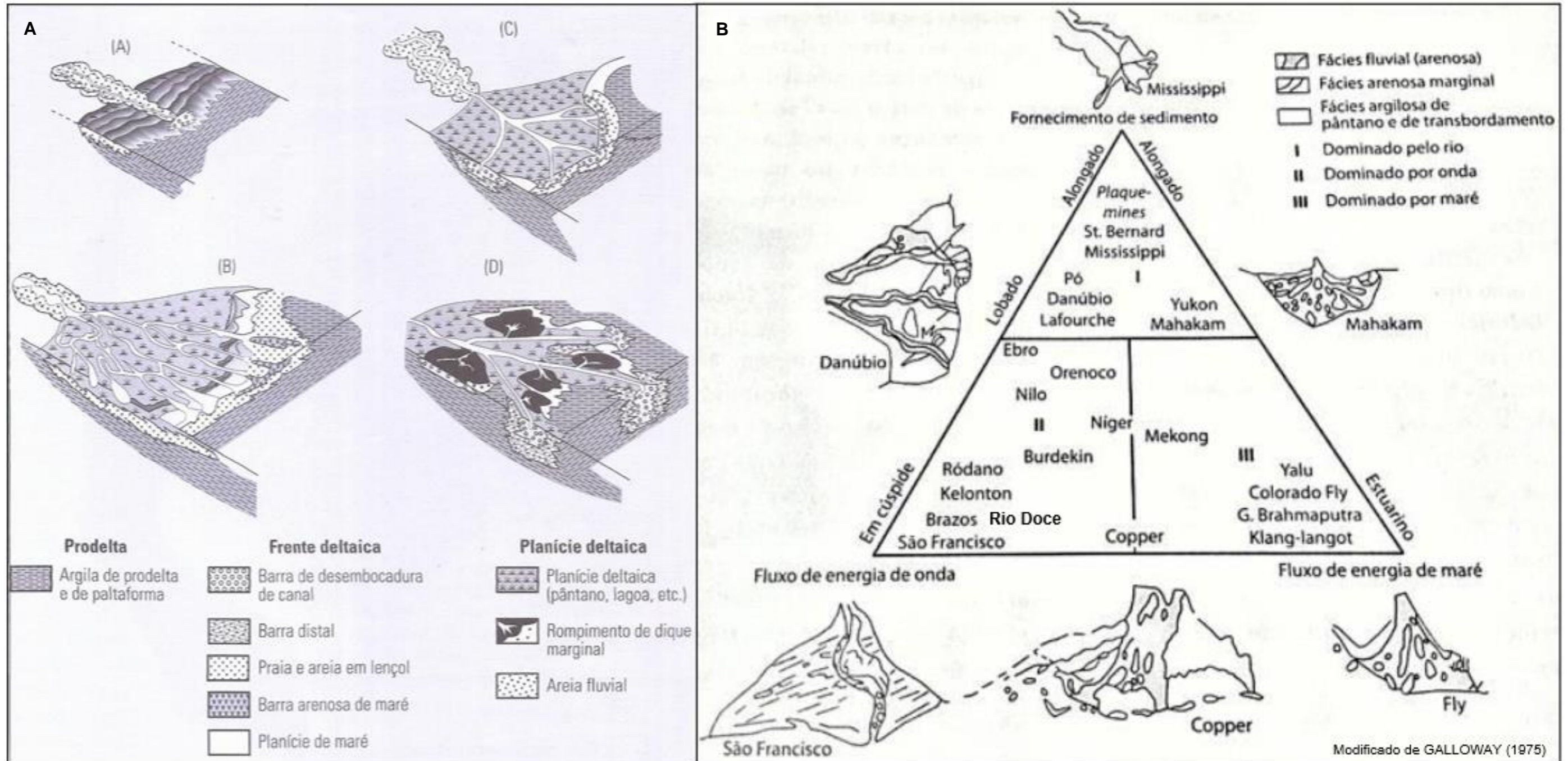
Uma classificação deltaica tripartite foi proposta por Galloway (1975), que levou em consideração parâmetros como a influência da carga sedimentar fluvial, ação da energia das ondas e a dinâmica das marés. Nesse sistema de classificação, o autor supracitado apresentou um diagrama triangular, cujos vértices correspondem ao processo dominante, onde as extremidades do triângulo resultam em três categorias de deltas, sendo-os: deltas dominados por rio, dominados por marés e dominados por ondas (GALLOWAY, 1975).

Essa classificação, ao longo dos anos, passou por várias revisões e aprimoramentos com o propósito de incluir novos atributos aos deltas como o tamanho dos grãos de sedimentos e feições geomórficas. No entanto, a grande maioria dos deltas modernos indicam características morfológicas mista, pois recebe influência de diversos processos que retrata a interação dos efeitos construtivos e destrutivos (READING; COLLINSON, 1996; BOGGS, 1995; POSTMA, 1990; MASSELINK; HUGHES, 2003; SEYBOLD et al., 2007; ROSSETTI, 2008).

No esquema que representa a classificação de Galloway (1975), os deltas são agrupados nas laterais (extremidades) do diagrama (Figura 3B) conforme os processos dominantes e o arranjo morfológico de cada tipo de delta. Como exemplo clássico de delta construtivo de controle fluvial destaca-se do rio Mississipi, cujos sedimentos avançam na frente da planície costeira construindo diques marginais, resultando numa feição morfológica denominada de pés-de-pássaro (*birdfoot*) (GALLOWAY, 1975; SEYBOLD et al., 2007; ROSSETTI, 2008; MUEHE, 2007; 2011).

Como exemplos de deltas destrutivos dominados por ondas, os principais são dos rios: São Francisco, na divisa entre Sergipe e Alagoas, Jequitinhonha, na Bahia, Paraíba do Sul, no Rio de Janeiro e do rio Doce, no Espírito Santo. Já para delta com aspectos altamente destrutivos formado por influência das marés, tem-se o do rio Amazonas (GALLOWAY, 1975; SEYBOLD et al., 2007; ROSSETTI, 2008; MUEHE, 2007; 2011).

Figura 3 – A Figura 3A representação da classificação de Fisher *et al.* (1969) com base nos processos construtivos e destrutivos de formação deltaica. Sendo assim, estabelecidos os seguintes arcabouços faciológicos: (A) delta destrutivo dominado por ondas, construído basicamente da associação de areias fluviais e litorâneas; (B) delta destrutivo dominado por marés, com extensos baixios de marés ou fácies de planícies arenosas; (C) delta construtivo lobado, associado as areias fluviais e de barras de desembocadura de canal e (D) delta construtivo alongado, com espessas barras de desembocadura de canal e barras digitadas. A Figura 3B apresenta o diagrama esquemático que ilustra a divisão tripartite da classificação deltaica proposta por Galloway (1975) com as seis categorias de delta apontadas por Coleman e Wright (1975).



Fonte: Extraído de Suguio (2003; 2010).

---

## - Feições morfológicas deltaicas

As três principais feições morfológicas que compartimentam um delta são: planície deltaica, frente deltaica e o prodelta, como descritas a seguir na Figura 4, logo abaixo. A planície deltaica corresponde a porção subaérea do delta, e que geralmente, o canal do rio principal subdivide-se em vários distributários, com canais ativos e abandonados, onde as áreas entre os canais formam as planícies interdistributárias, sendo separados entre si por ambientes de águas rasas e superfícies subaéreas ou em parte, submersas. Com isso, o fluxo fluvial total da bacia de drenagem que passa pelos vários canais distributários, transportam sedimentos para a frente deltaica (READING, 1979; ROSSETTI, 2008; SUGUIO, 2010).

Neste ambiente, as águas são rasas, principalmente entre os canais distributários, sendo formadas diversas feições geomórficas como: lagos, lagoas, baías, pântanos salinos, planícies de maré e manguezais, e tendo muita sensibilidade quanto ao clima predominante. Em termos fisiográficos, em razão de condições particulares de sedimentação, a planície deltaica integra umas das províncias sedimentares mais complexas em relação ao sistema deltaico (SUGUIO, 2003; 2010).

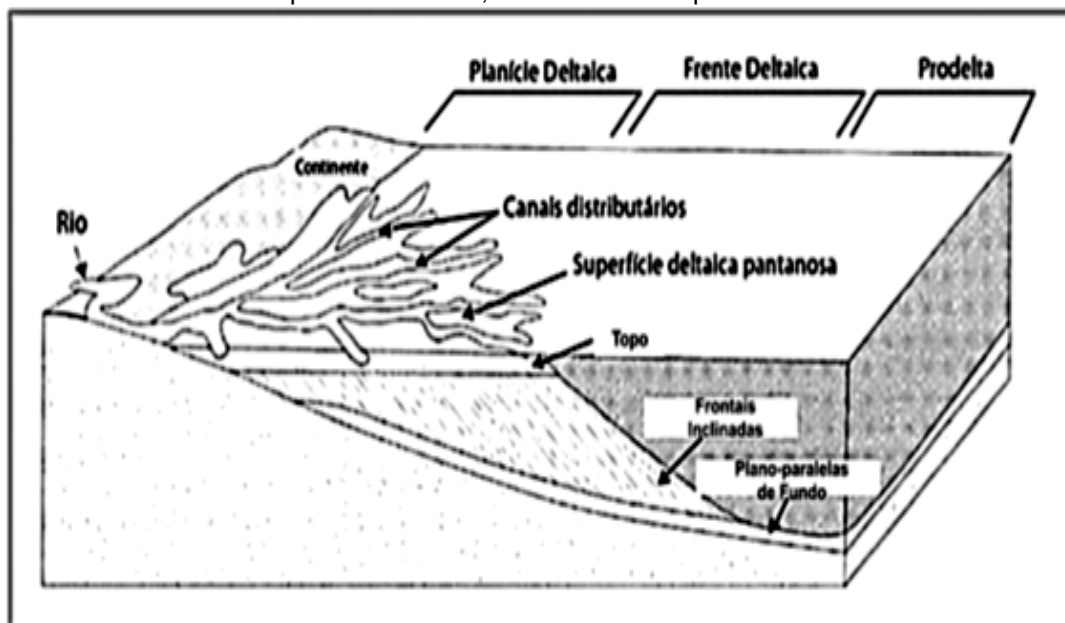
Dois tipos de planícies deltaicas são exemplificados: a) a dominada por processos fluviais caracterizada pela existência de cristas praias, que de forma gradual no segmento a jusante, pode evoluir para planícies de maré ou imediatamente chegar à frente deltaica. E b) dominada por marés, com desenvolvimento em zonas costeiras onde a amplitude das marés vai de moderada a alta (READING, 1979; SUGUIO, 2010).

Para tanto, a planície deltaica inferior sofre influência dos processos costeiros, primordialmente das correntes de maré. No caso da porção subaquosa, esta é constituída na frente das planícies no sentido do mar, formando as barras de desembocadura ou também denominada de frentes deltaicas, barras distais e prodelta (ROSSETTI, 2008).

A frente deltaica é formada pela área que abrange a bacia receptora a qual recebe os canais distributários que chegam transportando sedimentos, que na sequência são dispersados e retrabalhados sob influência dos processos costeiros, como as ondas, marés e correntes litorâneas. Conforme os processos dominantes, cinco tipos de frentes deltaicas podem existir: a) dominada por processos fluviais, b) dominada por ondas, c) dominadas por processos fluviais e ondas, d) dominada por

marés e e) dominada por processos fluviais, ondas e marés (READING,1979; SUGUIO, 2010).

Figura 4 - Aspectos morfológicos de um sistema deltaico, com a três compartimentações principais: planície deltaica, frente deltaica e prodelta.



Fonte:(Extraído de <http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia.pdf>).

O prodelta corresponde à região de baixa energia, onde ocorre a deposição de silte e argila transportadas em suspensão pelos canais fluviais (ROSSETTI, 2008), localizando-se após o nível de base das ondas. Trata-se de um ambiente de característica superficial plana (horizontal), com frequentes deslizamentos para os setores mais profundos. Ressaltando que não são todos os deltas que possuem prodelta (GUIMARÃES, 2014).

A seleção dos sedimentos, iniciando da foz, são de grãos finos sendo influenciada em parte pela diferença de densidade entre as águas fluviais e oceânicas. Quando existe a formação de estratificação bem delimitada das massas de água, evidencia-se o surgimento de uma cunha salina, por vezes, presentes nos estuários estratificados. Com isso, os sedimentos finos permanecem em suspensão na água por longas distâncias antes de se agruparem por floculação e ocorrer a decantação (GUIMARÃES, 2014).

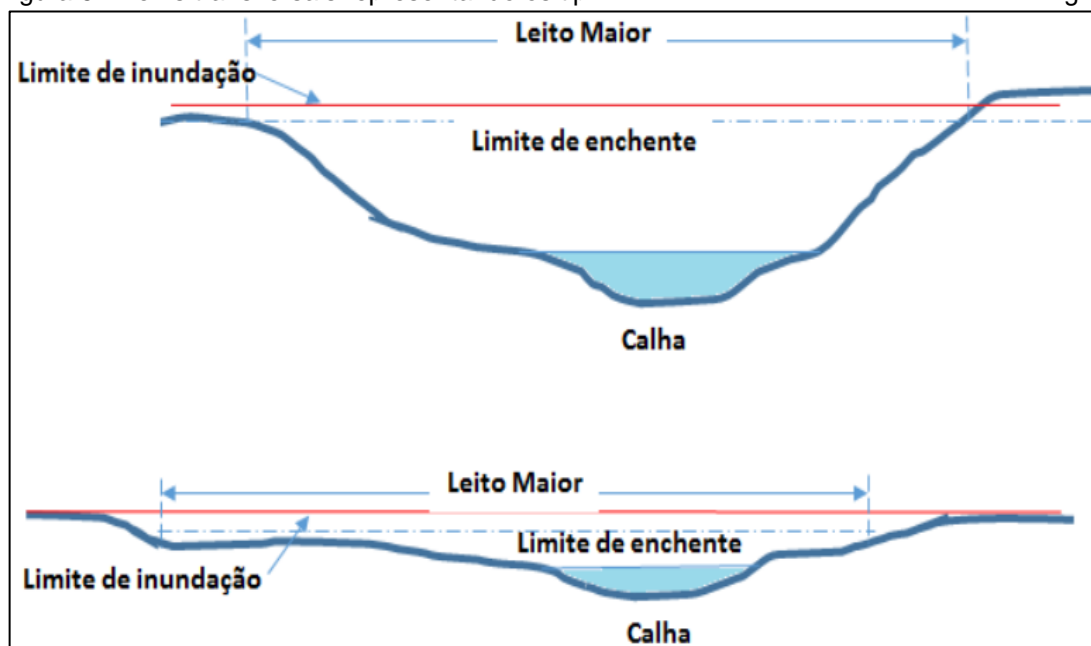
### 3.3. Processos fluviais indutores de inundação

## - Enchente, inundação, alagamento e enxurrada

As enchentes ou cheias correspondem ao aumento do nível das águas dos canais de drenagem, em decorrência do aumento da vazão, ao atingir a cota máxima do canal, mas sem ocorrer o transbordamento. Já, com a inundação acontece o transbordamento das águas dos cursos d'água, alcançando a planície de inundação ou áreas de várzeas. Por sua vez, o alagamento corresponde ao acúmulo efêmero das águas em locais específicos, devido à deficiência no sistema de drenagem (AMARAL; RIBEIRO, 2009; SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015; LICCO; MAC DOWELL, 2015).

Já a enxurrada refere-se ao escoamento superficial das águas em razão dos processos fluviais (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015; LICCO; MAC DOWELL, 2015). Os processos hidrológicos são apresentados por Valente (2009) e Licco; Mac Dowell (2015), de forma didática, em perfis característicos (Figura 5) de regiões montanhosas e planas.

Figura 5 - Perfis transversais representando os tipos de leitos de um rio com os cursos d'água.



Fonte: Adaptado de Valente (2009). Extraído de Licco; Mac Dowell (2015).

As inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com certa regularidade e atuam nos cursos d'água, frequentemente causados por chuvas fortes e repentinas ou chuvas de longa duração (AMARAL; RIBEIRO, 2009). Estes eventos são configurados como problemas geoambientais resultantes de fenômenos ou



perigos naturais de cunho hidrometeorológico, isto é, que dizem respeito a fatores atmosférico, hidrológico e/ou oceanográfico (UN-ISDR, 2002; SOUZA, 1998; AMARAL; RIBEIRO, 2009; SILVEIRA et al.; 2014, 2015). A Figura 6 demonstra e distingue uma situação normal da quantidade de água na calha de um curso d'água e durante os eventos de enchente, inundação e alagamento.

Figura 6 - Perfil esquemático representando uma simulação de enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Defesa Civil de São Bernardo do Campo – SP (2011).

Nas planícies de inundação associadas a vale estreitos, em situações naturais, o escoamento das águas pluviais é mais lento que em perímetros urbanos, devido a fatores antrópicos, como a impermeabilização do solo, retificação e assoreamento dos canais fluviais. A urbanização, quando ocorre mediante à ocupação sobre as planícies de inundação e/ou vertentes íngremes torna essas áreas vulneráveis. Mesmo em cidades com relevo relativamente plano, onde, teoricamente a infiltração seria facilitada, as consequências são catastróficas (TAVARES; SILVA, 2008; AMARAL; RIBEIRO, 2009).

No caso do alagamento, principalmente em perímetros urbanos, representa o acúmulo momentâneo de água numa determinada área devido à deficiência no sistema de drenagem, podendo ou não ter conexão com eventos de ordem fluvial. Já a enxurrada é o escoamento superficial acumulado e com alta intensidade de deslocamento, podendo ou não também estar relacionado às áreas controladas por processos fluviais. É frequente eventos de enxurradas em vias construídas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com elevada

---

declividade natural (MINISTÉRIO DAS CIDADES/IPT, 2007; AMARAL; RIBEIRO, 2009).

### **3.4. Mudanças climáticas e as inundações fluviais**

De acordo com o Programa para o Meio Ambiente (PMA), da Organização das Nações Unidas (ONU), a ocorrência de três fatores combinados: as mudanças climáticas, os padrões meteorológicos mais extremos (fortes chuvas a longo prazo) e as transformações no uso e cobertura da terra (a exemplo da supressão da vegetação natural), podem aumentar a intensidade e frequência dos riscos de inundações extremas (ONU, 2020).

Há indícios de que, com o aumento da temperatura global, as precipitações se tornem mais intensas. Uma possível elevação no nível do mar e na temperatura do ar pode intensificar a evaporação, situação que contribui na formação de nuvens. Com a alta temperatura, ocorre mais retenção de umidade no ar, levando a um aumento na intensidade, duração e frequência das chuvas (ONU, 2020).

As projeções futuras indicam que as inundações extremas irão se intensificar, afetando principalmente as construções e populações residentes em planícies fluviais e zonas costeiras baixas. Nesse sentido, à proporção de que o aquecimento global impulsiona a ocorrência de eventos climáticos mais extremos, os riscos são agravados em certas áreas. As inundações estão ocorrendo com muito mais frequência, principalmente nas cidades, que na maioria dos casos, devido a deficiência no sistema de drenagem, os alagamentos causam danos materiais e humanos (ONU, 2020).

As altas temperaturas e as frequentes inundações não estão sendo vistas como anormais, mas sim como um começo de um novo ciclo, com novos registros ano após ano. Os efeitos decorrentes das inundações para comunidades afetadas são enormes, com perdas de bens materiais e vidas humanas, no entanto, medidas e ação quanto ao gerenciamento de risco e desastres naturais podem ser tomadas, principalmente em termos de melhoria na infraestrutura em área urbanas, no sentido de enfrentar eventos futuros (ONU, 2020).

#### 4. DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O capítulo em questão apresenta os procedimentos metodológicos trilhados para construção da tese. Tendo início com a aquisição de informações documentais e cartográficas, passando por uma análise e discussão das técnicas, dos métodos utilizados e das respectivas aplicações e por fim, elaboração dos produtos cartográficos temáticos e modelagem da inundação na planície deltaica do rio Doce.

A metodologia deve ser pensada como a “espinha dorsal” de toda pesquisa, onde sua aplicação realiza-se a partir do domínio teórico-conceitual do tema, e da competência na manipulação e operacionalização do aparato instrumental técnico. Contudo, como corriqueiramente ocorre nos trabalhos de pesquisa, não se pode confundir as técnicas operacionais com o método (ROSS, 2014).

Dessa forma, evidencia-se que toda e qualquer pesquisa deve-se ancorar em três princípios: 1) domínio inerente a compreensão teórico-conceitual do conteúdo; 2) domínio e habilidade da metodologia a ser executada; 3) domínio operacional das técnicas a serem aplicadas na pesquisa (ROSS, 2014).

Nesse sentido, o estudo em tela está estruturado com base nos quatro níveis de pesquisa geográfica proposto por Libault (1971), sendo os seguintes níveis: compilatório, correlatório, semântico e normativo, onde a pesquisa perfaz as fases de início, meio e fim.

- **Nível compilatório**

Trata-se do nível que corresponde a fase inicial da pesquisa, sendo dividido em duas etapas. A primeira é a do levantamento bibliográfico sobre a temática em períodos científicos, monografias, dissertações e teses; aquisição de informações documentais (vetoriais e matriciais) como: cartas topográficas, curvas de nível, dados de geologia, geomorfologia, clima, hidrologia, Modelo Digital de Elevação (MDE), fotografias e imagens áreas etc. Além de dados coletados em campo (LIBAULT, 1971; OLIVEIRA; RIEDEL, 2012; ROSS, 2014).

A segunda etapa tem por objetivo principal a compilação das informações, devendo, contudo, no momento da seleção, saber quais dados tem maior relevância, em detrimento dos desnecessários, tornando assim os resultados da pesquisa mais

---

confiáveis e próximos da realidade (LIBAULT, 1971; OLIVEIRA; RIEDEL, 2012; ROSS, 2014).

- **Nível correlativo**

É o segundo nível que diz respeito à fase de correlação dos dados, que na sequência são interpretados, tratando-se assim, de uma etapa crucial, pois exige uma maior experiência na interpretação das informações por parte do pesquisador. Essa etapa da correlação é imprescindível para a seletividade dos dados, porém, não devendo se correlacionar dados de natureza distintas, heterogêneos, que nesse caso, quando não homogêneos, pode acarretar em interpretações inconsistentes (LIBAULT, 1971; ROSS, 2014).

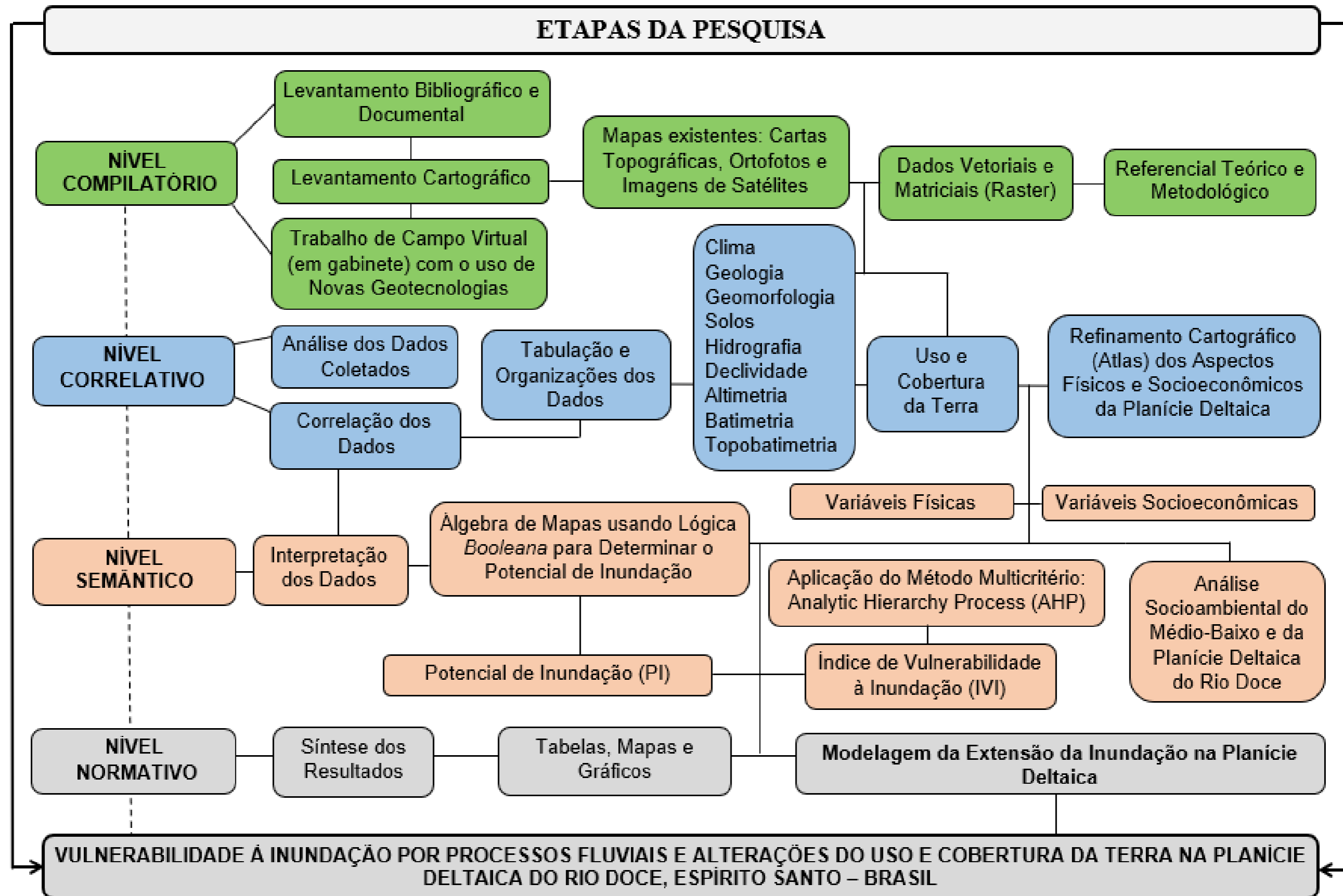
- **Nível semântico**

Trata-se do terceiro nível da pesquisa geográfica, e corresponde à fase interpretativa, na qual os resultados são estabelecidos por meio da seleção e correlação das informações com as etapas anteriores. No momento da interpretação, os dados deixam de ter um caráter mais generalista (informações factuais ou numéricas), apresentando um teor mais específico no que concerne à análise interpretativa. No entanto, é a ocasião de encontrar e aplicar leis, de compreender a forma como se comporta um determinado evento (fenômeno), devendo ser indicada as diretrizes que permita sua execução (LIBAULT, 1971; ROSS, 2014).

- **Nível normativo**

O quarto nível, representa a etapa da pesquisa em que os produtos se finalizam, ou originam-se modelos, onde são apresentados por meio de mapas, tabelas, cartogramas síntese ou gráficos que expressam de maneira mais simplificada e visual os produtos elaborados. O nível normativo não necessariamente corresponde a informações ou modelos representativos de pesquisa, mas na normalização prática dos resultados alcançados na pesquisa (LIBAULT, 1971; ROSS, 2014). Nesse sentido, o fluxograma a seguir (Figura 7) apresenta todas as etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 7 - Fluxograma representando as etapas da pesquisa.



#### 4.1. Etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa

Para atender aos objetivos propostos, a pesquisa foi dividida em três etapas: A primeira corresponde aos levantamentos bibliográficos em periódicos científicos, livros, monografias, dissertações e teses sobre a temática em tela. Além da aquisição de informações documentais, cartográficas (vetoriais e matriciais), disponibilizadas gratuitamente para *download* em meio digital nos *sites* ou impressos diretamente nas instituições especializadas.

A segunda etapa, que correspondeu aos trabalhos de campo<sup>2</sup> virtuais com o uso de novas geotecnologias e recursos cartográficos secundários (já existentes), teve como finalidade fazer o reconhecimento e levantar informações sobre as características da planície deltaica do rio Doce. Levantando Informações como: parâmetros altimétricos, declividade, aspectos geológicos e geomorfológicos, solos, rede de drenagem, batimétricos e uso e cobertura da terra.

Os levantamentos de campo quando realizados *in loco* (que não foi o caso dessa pesquisa, pois foram realizados campos virtuais amparados em recursos tecnológicos disponíveis na atualidade), são necessários principalmente para o reconhecimento dos aspectos físicos e antrópicos de um determinado recorte espacial geográfico, criação de acervo iconográfico (captura de fotografias) e coleta de pontos de coordenadas com auxílio do Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*).

Além disso, podem ser utilizados outros equipamentos de alta precisão como o GPS diferencial (DGPS - *Differential Global Positioning System*) ou aparelhos mais simples como o *eTrex 10 Garmim* e o *GPS Essentials*, este último disponível para aparelhos de telefone celular (com sistema operacional Android).

A terceira etapa ficou a cargo dos trabalhos de gabinete com o tratamento dos dados e elaboração dos produtos cartográficos temáticos em ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O sistema de projeção adotado é o Universal Transversa de Mercator (UTM), com sistema de referência (*Datum*), o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000<sup>3</sup> na Zona 24 S. O *software*

---

<sup>2</sup> Nesse trabalho, em razão de adversidades como falta de financiamento e da pandemia da Covid-19, os levantamentos de campo não foram realizados da maneira clássica, *in loco*, mas sim, de forma virtual com auxílio das novas geotecnologias.

<sup>3</sup> Em 25 de fevereiro de 2015, o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) foi oficializado como o único sistema geodésico de referência a ser adotado no Brasil. O intervalo de

---

utilizado foi o *ArcGIS 10.5<sup>TM</sup>*. (ESRI, 2016), com licença concedida para o Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias - LCGGEO/UFES.

#### **4.2. Elaboração dos produtos cartográficos temáticos em ambiente dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

Os produtos cartográficos temáticos foram elaborados em conforme com as técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (SR) em ambiente SIG. Nesse estudo os seguintes mapas foram construídos: i) localização da área de estudo, ii) climático, iii) geológico, iv) geomorfológico, v) rede de drenagem, vi) solos, vii) declividade, viii) altimétrico, ix) batimétrico, x) topobatimétrico, xi) uso e cobertura da terra, e xii) índice de vulnerabilidade à inundação.

O mapa de localização da planície deltaica foi elaborado a partir de dados vetoriais do limite dos Estados (Brasil) adquiridos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), limites municipais (Espírito Santo), arruamentos, trechos rodoviários, ferroviários, corpos d'água, rede de drenagem etc., disponibilizados para download no site do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN).

O mapa climático foi elaborado com base nos dados vetoriais e matriciais do clima do Brasil disponibilizados pelo Portal de Geotecnologias Forest-GIS. A classificação climática do arquivo é a de Köppen, tendo sido refinado com alta resolução para o território brasileiro por Alvares et al. (2013). O produto final ficou na escala espacial de 1:380.000.

O mapa geológico foi produzido a partir do plano informação vetorial (base de dados da Geodiversidade do Espírito Santo) disponível na plataforma *Geobank* no site da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2015) do Serviço Geológico do Brasil na escala de 1:100.000. A partir da aquisição dessas informações realizou-se no *software* o recorte (*clip*), correspondente à delimitação da área de estudo. Na sequência foi determinada a classificação geológica, com base no mapeamento da CPRM (2015). No entanto, foi necessário realizar ajustes e atualização na

---

temporal para implementação desse sistema de referência foi de 25 de fevereiro de 2005 a 25 de fevereiro de 2015. Antes do SIRGAS 2000, outros sistemas de referências eram utilizados como o SAD 69 (South American Datum 1969) e o Córrego Alegre. A utilização de outros sistemas de referência não oficiais pode ocasionar em inconsistências e imprecisões na manipulação das bases de dados cartográficas (IBGE, 2015).

classificação conforme análise compilatória de outros mapas da área, ficando o mapa final na escala de 1:380.000.

No caso do mapa geomorfológico, devido à inexistência de um mapeamento geomorfológico para a área, foi realizado uma compilação dos estudos desenvolvidos por Suguio et al (1982)<sup>4</sup>, Martin et al (1997)<sup>5</sup> e Polizel e Rossetti (2014)<sup>6</sup>, e assim, com base nas informações da Geodiversidade do Estado, referente a geologia (CPRM, 2015) foi construído o mapa geomorfológico da planície deltaica do Rio Doce.

A classificação das unidades geomorfológicas deu-se conforme trabalhos realizados pelos autores supracitados, principalmente das últimas autoras, por se tratar de uma classificação mais consistente e atual. A classificação foi complementada por observações dos aspectos físicos (feições morfológicas) com auxílio das ortofotos (2007-2008/2012-2015) e do MDT (altimetria/hipsometria e *hillshade*/modelo sombreado), sendo fundamentais na definição das unidades.

O mapa de solos foi elaborado a partir de dados vetoriais adquiridos no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013), na escala de 1:5.000.000 e da atualização de solos do Estado do Espírito Santo, realizado por Cunha et al (2016)<sup>7</sup>. Nesse trabalho, foram atualizadas informações referentes aos perfis de solos (com ênfase nas classes, legenda, taxonomia, símbolos e cores do mapeamento). Estes que tinham sido mapeados durante os levantamentos do projeto RadamBrasil (1983). As classes de solos foram reclassificadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013; 2018). Para a área de estudo, o mapa ficou representado na escala de 1:380.000.

O mapa de uso e cobertura da terra atual foi confeccionado com base no mapeamento de uso da terra já existente de 2012/2015 no formato vetorial e nos ortofotomosaicos de 2007-2008 na escala 1:15.000, com resolução espacial de 1m, e os ortofotomosaicos mais recentes de 2012-2015 em escala 1:10.000, com resolução

---

<sup>4</sup> Artigo: SUGUIO, K; MARTIN, L; DOMINGUEZ, J.M.L. Evolução da Planície Costeira do Rio Doce (ES) durante o quaternário: Influência das Flutuações do Nível do Mar. Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil: 93-116,1982.

<sup>5</sup> Livro: MARTIN, L; SUGUIO, K; DOMINGUEZ, J.M.L; FLEXOR, J.M. Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Belo Horizonte, CPRM, 1997, p.112.:il, mapas.

<sup>6</sup> Artigo: POLIZEL, S.P; ROSSETTI, D.F. Caracterização Morfológica do Delta do Rio Doce (ES) com base em análise multissensor. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 15, nº 2, 2014.

<sup>7</sup> Artigo: CUNHA, A.M; FEITOZA, H.N; FEITOZA, L.R; OLIVEIRA, F.S; LANI, J.L; CARDOSO, J.K.F; TRINDADE, F.S. Atualização da Legenda do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo e Implementação de Interface no Geobases para uso dos dados em SIG. Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Departamento de Geografia da UFES Julho - Dezembro, Nº 22, Volume II, ISSN 2175-3709, 2016.



---

espacial de 0,25m disponibilizados pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (IEMA).

A classificação e a atualização do mapa de uso e cobertura da terra, assim como as cores da legenda, foram determinadas segundo as normas estabelecidas no Manual de Uso da Terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), ficando o mapa na escala de 1:380.000.

O mapa de declividade foi elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (*ASTER GDEM*) da missão *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* disponibilizado gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey – USGS*). A missão SRTM, é fruto de uma parceria entre a *National Imagery and Mapping Agency (NIMA)* e a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, sendo adquiridos dados de radar durante o período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (duração de 11 dias), com os sensores acoplados à nave espacial *Endeavour*. Durante essa missão o ônibus espacial efetuou 16 órbitas diárias na Terra, totalizando 176 órbitas no decorrer da missão (EMBRAPA, 2018; USGS, 2020).

O mapa hipsométrico ou altimétrico foi elaborado a partir das curvas de nível com equidistâncias de 30m x 30m, extraídas do MDE (SRTM), com resolução espacial vertical de 30m (valor da célula ou pixel). Sendo assim, no software, para a criação do mapa foram utilizadas as seguintes funções: *ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN*.

O mapa topobatimétrico foi construído com dois tipos de dados: altimétricos e batimétricos. O primeiro passo foi extrair as curvas de nível do MDE (SRTM de 30 m) com equidistância de 30 metros, já com relação a batimetria, a partir das maiores profundidades até a isóbata de 30m, foram utilizadas as curvas disponibilizadas pela CPRM, e da isóbata de 30m até a linha de costa, foi realizado o processo de vetorização no software sobre as cartas náuticas (DNH).

Criando-se, uma nuvem de pontos das profundidades (informações vetoriais) e em seguida, com base nos pontos vetorizados foram traçadas as curvas batimétricas. Posteriormente foi feita a união das curvas batimétricas da CPRM com as que foram vetorizadas das cartas náuticas, sendo corrigidas e desconsideradas as inconsistências da união entre as duas informações vetoriais.

No Quadro 1 são apresentadas informações cartográficas (base de dados vetoriais e matriciais) com os temas, as respectivas fontes (sites onde foram

adquiridos os dados), escalas cartográficas e atributos analisados para cada mapa temático da área de estudo.

Quadro 1 - Informações referentes ao levantamento das bases de dados cartográficos utilizadas para a realização da pesquisa.

Temas	Fonte dos Dados e Ano	Escala/ Resolução Cartográfica	Finalidade da Utilização dos Dados
<b>Ortofotomosaico</b>	(IEMA, 2007/2008)	1:15.000/ Resolução espacial de 1m x 1 m	O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), disponibilizou, gratuitamente os ortofotomosaicos (imagens aéreas) dos anos de 2007-2008, juntamente com os dados de uso e cobertura da terra do Estado do Espírito Santo (formato vetorial), que auxiliou na classificação e atualização do uso da terra da área de estudo.
<b>Ortofotomosaico</b>	(IEMA, 2012-2015)	1:10.000/ Resolução espacial de 0,25 m x 0,25 m	Os ortofotomosaicos mais recentes são dos anos de 2012-2015, também fornecidas pelo IEMA. Com essas ortofotos (imagens aéreas), foi possível atualizar com maior precisão o uso e cobertura da terra da aérea de estudo, sendo adotado como método de classificação, o manual ou em tela, que corresponde ao processo de vetorização sobre a imagem para obter os polígonos referentes a cada uma das classes de uso e cobertura da terra.
<b>Curva de Nível</b>	(IEMA, 2015)	Resolução 5m x 5m Pontos Cotados (1m x 1m)	No IEMA foram adquiridas as curvas de nível com equidistância de 5 m x 5m e os pontos cotados de 1m x 1m (altitude), sendo informações vetoriais necessárias para auxiliar na construção do mapa hipsométrico (altimétrico) da área de estudo.
<b>Modelo Digital de Elevação – MDE (SRTM)</b>	(USGS, 2011; 2014)	Resolução 30 m x 30 m	No site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey – USGS) foi realizado o download do Modelo Digital de Elevação – MDE, desenvolvido por meio da Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, com resolução espacial vertical de 30 metros. As informações contidas no MDE foram necessárias para a elaboração dos mapas hipsométrico e da declividade da área de estudo.
<b>Plano de Informação Vetorial (geologia)</b>	(CPRM, 2014)	1:100.000	No site da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, foram adquiridas informações sobre a geodiversidade do Estado do Espírito Santo, incluindo dados sobre a geologia (no formato vetorial). O plano de informação da geologia foi utilizado como base para a elaboração dos mapas geológico e geomorfológico do delta do rio Doce.
<b>Informações sobre: Geologia e Geomorfologia</b>	RADAMBRASIL (1983) e DNPM (1974)	-	Por meio de documentos do projeto RADAMBRASIL e do Departamento Nacional de Produção Mineral, no Vol. 32, Folha SF. 23/24 - Rio de Janeiro/Vitória, foram extraídas as informações referentes a Geologia e Geomorfologia. Sendo importantes informações para auxiliar na construção dos mapas de geologia e geomorfologia da área de estudo.
<b>Plano de Informação Vetorial (Solos)</b>	(EMBRAPA, 2013); CUNHA et al.; 2016)	1:5.000.000	O plano de informação vetorial para a produção do mapa de solos foi adquirido com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. E teve as classes atualizadas conforme o trabalho de Cunha et al (2016) com base na Embrapa (2013) para o do Estado do Espírito.
<b>Planos de Informações Vetoriais (Brasil)</b>	(IBGE, 2015)	-	No site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram adquiridos gratuitamente para download o banco de dados com diversas informações vetoriais, principalmente dos limites territoriais dos municípios e estados brasileiros.
<b>Curvas Batimétricas (isóbatas)</b>	(CPRM, 2014)	-	Na Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), por meio da base de dados Geodiversidade do Espírito Santo, foram adquiridas as curvas batimétricas, da isóbata de 30m, até as regiões de águas oceânicas mais profundas.
<b>Cartas Náuticas</b>	(DNH/CHM, 1967; 2019)	1:300.000	A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), no âmbito do Serviço Hidrográfico Brasileiro, por intermédio do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), tem a competência de manter atualizadas todas as Cartas Náuticas em Águas Jurisdicionais Brasileiras. Essas cartas são produzidas e disponibilizadas pelo CHM em papel, no formato raster e cartas náuticas eletrônicas (Electronic Navigational Chart – ENC). No site da DHN da Marinha do Brasil, foram adquiridas para a área de estudo as seguintes Cartas Náuticas: <u>da Ponta Cumuruxatiba a Conceição da Barra e de Conceição da Barra a Vitória</u> , onde por meio destas, realizou-se a vetorização das cotas de profundidades (isóbatas), iniciando na cota de 30 m até a cota zero na linha de costa.
<b>Planos de Informações Vetoriais (Estado do Espírito Santo)</b>	(IJSN, 2012)	-	No site do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), realizou-se o download da base de dados no formato vetorial dos seguintes planos de informações: limite municipal, limites de bairros, malha ferroviária e malha rodoviária, bacias hidrográficas (rede de drenagem), arruamento e corpos d'água.
<b>Planos de Informações Vetoriais (Estado do Espírito Santo)</b>	(INCAPER, 2010)	-	No Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – (INCAPER), através do Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo – GEOBASES, foi feito o download da base de dados do Estado, com outros planos de informações complementares.

Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

---

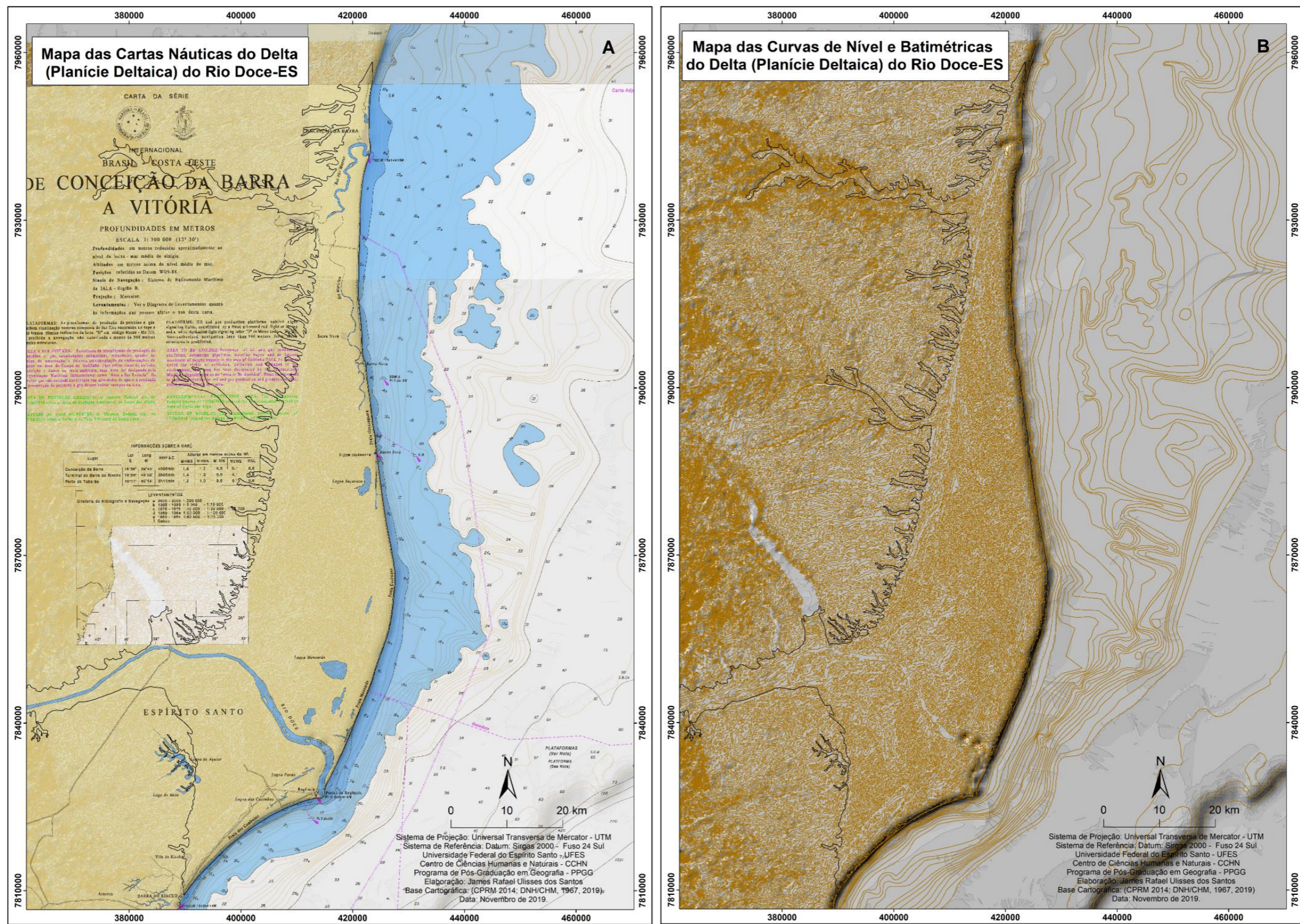
A Figura 8 A representa as cartas náuticas de Ponta Cumuruxatiba à Conceição da Barra e de Conceição da Barra a Vitória, que foram necessárias para a obtenção das cotas batimétricas (a partir da isóbata de 30m em direção a costa, onde pode ser observada no mapa A na cor azul claro, até a cota 0m linha de costa) da frente deltaica do rio Doce. Nessa área realizou-se a vetorização, em ambiente SIG, dos pontos de profundidade com a posterior criação das curvas batimétricas. A (Figura 8 B), corresponde à união das curvas de nível altimétricas com a batimetria, onde criou-se um único arquivo vetorial, e usado no processo de interpolação, para dá origem ao modelo topobatimétrico.

Com o modelo topobatimétrico torna-se possível observar as características topográficas e uma visão dos aspectos geológico-geomorfológicos da planície deltaica do rio Doce (porção continental) e das características morfológicas, litológicas e sedimentares marinhas que sobrepõem à extensão da plataforma continental interna. Além do gradiente de profundidade das regiões abissais (porção oceânica até aproximadamente a isóbata de 250m).

As Figuras 9 A e B correspondem aos ortofotomosaicos dos anos de 2007-2008 e 2012-2015 respectivamente da área de estudo, que foram utilizados para a classificação e atualização do uso e cobertura da terra. As imagens aéreas são fundamentais para uma análise mais detalhada de um determinado recorte espacial, principalmente no que concerne à sua evolução temporal.

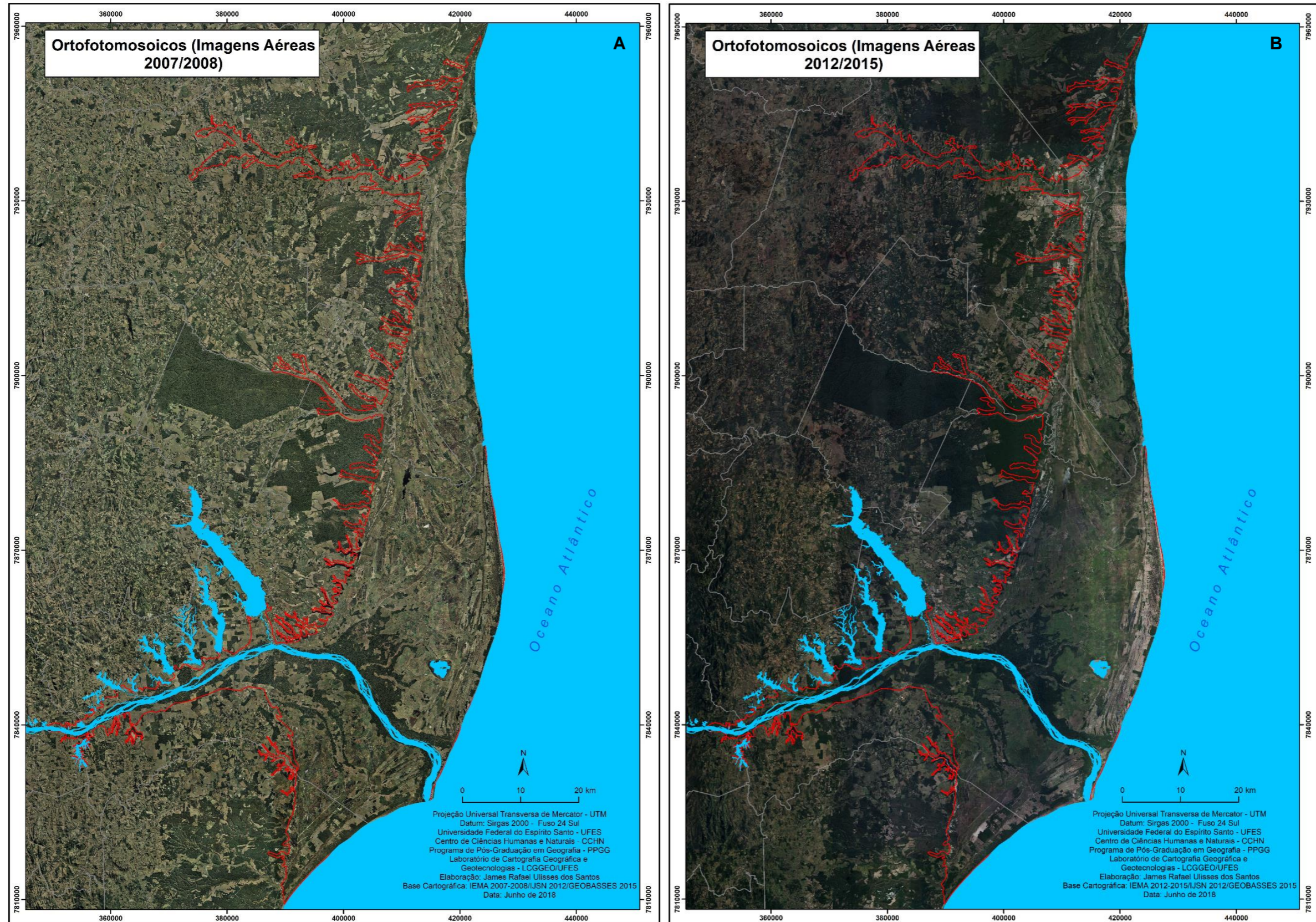
A classificação do uso e cobertura da terra com base em imagens áreas (ortofotos), apresenta uma vantagem significativa se comparada à classificação usando imagens de satélites que não dispõem de uma boa resolução espacial, tornando as análises imprecisas. As imagens de 2007/2008 tem uma resolução espacial de 1m x 1m, já as de 2012/2015 apresentam resolução de 0,25m x 0,25m. Isso demonstra que a determinação do uso e cobertura da terra tendo como técnica a classificação manual ou em tela (vetorização em tela) sobre as ortofotos, apresentará resultados mais satisfatórios e próximos da realidade, mas não descartando a necessidade de correções e validações *in loco*.

Figura 8 – A Figura 8A representa o mapa das cartas náuticas e a Figura 8B, o mapa das curvas de nível e as isóbatas da área de estudo.



Fonte: (DNH/CHM, 2019); (CPRM, 2014). Elaborado por SANTOS, J.R.U (2019)

Figura 9 – A Figura 9A corresponde ao mapa dos ortofotomosaicos de 2007/2008 e a Figura 9B, ao mapa dos ortofotomosaicos de 2012/2015.



Fonte: (IEMA, 2019). Elaborado por SANTOS, J.R.U (2019).

---

### 4.3. Métodos de Modelagem Multicritérios Aplicados

#### 4.3.1. Método ou Lógica *Booleana*

A modelagem com base na lógica ou método *booleano* tem como diretriz a integração de mapas (binários) resultantes da aplicação de operadores designando condições. Desse modo, cada mapa é manipulado como uma condição que pode ser considerado como um plano de informação (PI), trazendo evidências. Para isso, os PIs de evidências são correlacionados para sustentar uma hipótese ou preposição (MEIRELLES et al.,2007).

Os modelos que utilizam o método/lógica *booleana* têm como principal característica sua simplicidade. Os mapas são logicamente combinados (análogos a sobreposição) em ambiente SIG, onde a combinação é de fácil aplicação. Contudo, na prática, a combinação *booleana*, é comumente inapropriada, tendo em vista que cada variável adotada na modelagem tem o mesmo grau de importância (MEIRELLES et al.,2007).

A atribuição de pesos baseado no método *booleano* é o caso mais simples quando os mapas de entrada são do tipo binários, ou seja, onde em cada mapa é estabelecido um único fator de peso. Porém, quando são usados mapas com múltiplas classes, é atribuído um peso diferente a cada classe de cada mapa, com isso resultando em uma forma de aferição por pesos mais versátil (MEIRELLES et al.,2007).

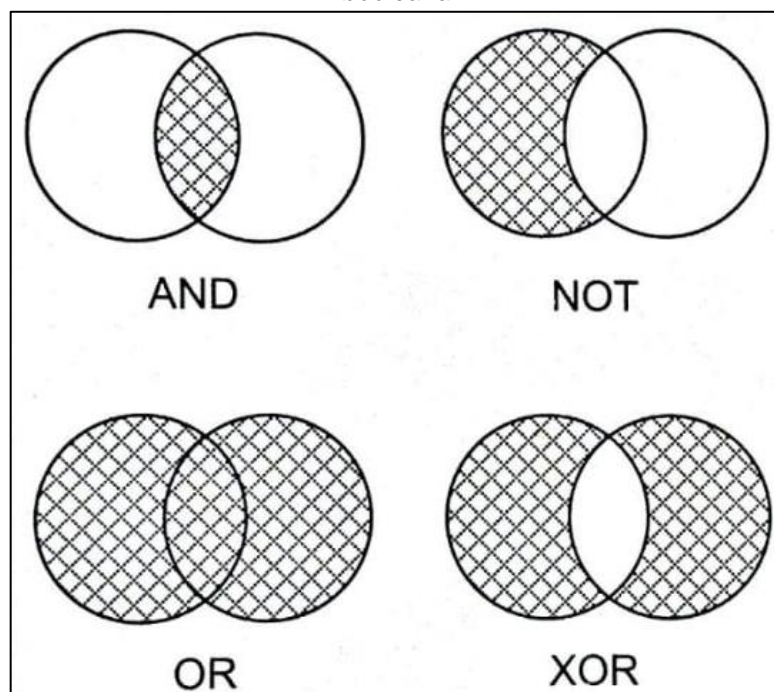
No entanto, outros modelos que tem como base a sobreposição por pesos possibilita uma combinação mais flexível dos mapas do que procedimentos baseados apenas na lógica *booleana*. Além disso, os pesos contidos nas tabelas dos mapas podem ser ajustados ou adaptados à medida que o pesquisador julgue necessário durante o domínio da aplicação em análise (MEIRELLES et al.,2007).

Na atualidade, é possível aludir que o uso da lógica *booleana* ainda representa o estado da arte no que concerne a classificação de informações geográficas, tanto por meio de procedimentos manuais como automáticos. Apesar desse método apresentar algumas inconsistências quanto a precisão intrínseca na forma de modelagem, trata-se de um dos procedimentos mais aplicados em termos de classificação espacial (MEIRELLES et al.,2007).

Para o cruzamento (sobreposição) de fatores ou variáveis temáticos manualmente, faz-se necessário a utilização de um “e”, ou seja, “se” isto “e” isto, então classifica-se como “aquilo”. Portanto, na classificação *booleana*, são obtidos resultados com valores binários, sendo de 0 ou 1, isto é, “*pertence*” à classe ou “*não pertence*” à classe, “*há risco*” ou “*não há risco*”, assim sucessivamente (MEIRELLES et al.,2007).

O esquema da Figura 10, demonstra como dois conjuntos de atributos A e B podem ser combinados através da lógica *booleana*. Como exemplo de operação combinada entre dois conjuntos adotando-se essa lógica, pode-se considerar hipoteticamente a execução da seguinte regra de classificação: “*Se o solo é não alcalino AND declividade = 5% THEN a área é apropriada para irrigação*”. Contudo, em ambiente SIG, essa forma de cálculo pode ser realizada em qualquer base de dados para a elaboração de mapas derivados, estes que podem ser empregos em tomada de decisão (MEIRELLES et al.,2007).

Figura 10 - Esquema representativo da combinação convencional de dois *Pis*, com o uso da lógica *booleana*.



Fonte: Adaptado de Burrough (1987), extraído de Meirelles et al (2007)

A lógica *booleana* foi um dos métodos adotados para modelar a extensão da inundação na planície deltaica do rio Doce, pela sua simples operacionalização e



---

manipulação dos dados usando álgebra de mapas em SIG. Para tanto, todos os pesos e coeficientes usados no cálculo para a elaboração dos mapas do potencial de inundação estão inseridos nas tabelas 2 a 6.

#### **4.3.2. Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)**

O método *AHP*, foi desenvolvido na década de 1970 pelo professor Tomas L. Saaty, na escola Wharton da Universidade da Pensilvânia. Trata-se do método multicritério mais difundido e utilizado em tomada de decisão e na resolução de problemas de múltiplos critérios (SAATY, 1977, 1987, 1990; AMARAL, 2006; PINESE JÚNIOR, 2010; RESENDE *et al.*; 2017; PIMENTA *et al.*; 2019).

A lógica de funcionamento desse método apresenta semelhanças com o comportamento da mente humana, visto que, ao se deparar com uma gama de variáveis (manipuláveis ou não), que engloba um evento complexo, ocorre uma integração em conjunto, conforme características semelhantes. A fragmentação de um problema em níveis (grupos) estabelece um sistema hierarquizado (em camadas) onde cada grupo pode conter mais de um fator ou variável (SAATY, 1991; SILVA; NUNES, 2009).

No processo hierárquico, a partir de comparações, procura-se separar uma problemática genérica em considerações de menor relevância, porém, não devendo excluir a atuação dos problemas menos importantes, na determinação geral. Isto posto, ao lidar com um fato complexo, torna-se mais didático fragmentá-lo em partes menores para análises e posteriormente reagrupá-las na resposta (solução) do problema central (CERRI; PAULA, 2012; REZENDE *et al.*; 2017).

No esquema da hierarquia do AHP são delineados os fatores ou variáveis que farão parte da matriz de paridades, e em seguida, são estabelecidos os graus de relevância de cada conjunto, para assim progredir nas etapas de comparações entre os elementos. A estrutura do AHP, segundo Silva e Nunes (2009) e Rezende *et al.* (2017), divide-se em dois níveis: a) o primeiro corresponde ao objeto de estudo; b) o segundo refere-se à seleção das variáveis/classes e outros possíveis níveis, envolvendo os parâmetros ou subgrupos de cada fator do grau anterior.

A partir da delimitação do recorte espacial e do tema do estudo, seleciona-se as variáveis e os coeficientes de atribuição de pesos que serão utilizadas no método, sendo então factível a elaboração da Matriz de Comparação Pareada. Para tanto,

adota-se a escala de Saaty (1977), na qual o valor 1 corresponde ao mínimo, e o 9 ao valor máximo de intensidade de importância de um elemento sobre o outro (Tabela 1).

Tabela 1 - Escala absoluta de Saaty, com os pesos para correlação pareada entre os atributos no processo decisório multicritério com a AHP.

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Justificativa</b>
1	Igual importância	As duas atividades contribuem equitativamente para o objetivo
3	Importância moderada de um sobre o outro fator	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra
5	Essencial ou forte importância	Julgamento e experiência favorecendo fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância Extrema	Evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é a mais expressiva possível na ordem de afirmação
2,4,6,8	Valores intermediários entre os julgamentos adjacentes	Quando há necessidade de compromisso

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Dessa forma, após a estruturação da matriz hierárquica apreciou-se, minuciosamente, as variáveis, fazendo o comparativo de uma com outra. Para realizar a paridade entre variáveis, é necessário o emprego de dados consistentes, ou julgar a importância relativa de cada fator. O AHP transforma informações apreciadas em valores numéricos organizados e pareados conforme a dimensão do problema. Sendo assim, o peso numérico (prioridade), deriva-se para cada componente da hierarquia, possibilitando que variáveis diferentes e constantemente incalculáveis possam ser equiparadas mutuamente (PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

Após estabelecer os parâmetros de pesos para comparar os fatores de forma consoante ao nível de importância, cria-se a matriz de paridade (comparação), determinando as relevâncias recíprocas, sendo uma matriz quadrada com pesos mútuos. Assim, transversalmente os pesos são únicos, visto que, cada elemento comparado a ele próprio é similar a unidade (AMARAL, 2006; SILVA; NUNES, 2009; SANTOS et al., 2010; CERRI; PAULA, 2012; REZENDE et al.; 2017).

A partir da criação da matriz, calcula-se a paridade mútua, dividindo os valores da linha pela soma da coluna em evidência, sendo estabelecidos os pesos finais. A somatória de cada variável é dividida pela ordem (da matriz), determinando-se, assim, o valor ponderado do peso corrigido de cada variável (PINESE JÚNIOR, 2010; REZENDE et al.; 2017).

Com o cálculo da matriz finalizado, é necessária ainda uma validação de consistência dos resultados atingidos, segundo as diretrizes propostas por Saaty (1977;1980), onde, contudo, o resultado final da matriz é realizado mediante o cálculo do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC) (PINESE JÚNIOR, 2010; CERRI; PAULA, 2012; SANTOS et al.; 2010; REZENDE et al.; 2017).

O Índice de Consistência (IC) é empregado com a finalidade de alcançar uma estimativa adequada quanto à resposta estatística referente aos valores derivados do método (AHP), sendo preciso averiguar se o fator (valor do  $\lambda_{max}$ ), se aproxima dos parâmetros empregados no cálculo. Essa análise é realizada através da equação 1.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)} \quad \text{Eq.1}$$

Equação 1 - Cálculo do Índice de Consistência.

Para efetuar o cálculo da Razão de Consistência (RC), é necessário ter disponível o valor do índice Randômico, que é adquirido da tabela de valores da matriz quadrada de ordem  $n$ , desenvolvido pelo *Oak Ridge National Laboratory - ORNL* (EUA), que disponibiliza valores conforme a quantidade de variáveis definidas para o cálculo do método (AHP). Para os 3 indicadores (variáveis), por exemplo, o valor do IR é 0,58, e assim, sucessivamente como indicado no Quadro 2 (RESENDE et al.; 2017).

Quadro 2 - Cálculo das prioridades (consistências) dos valores de Índice Randômico (IR) para matrizes quadradas de ordem  $n$ .

Ordem da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: SAATY (1977).

Dessa forma, com os valores de IC e IR definidos, calcula-se a Razão de Consistência (RC), devendo ter o valor menor que 0,10 (10%), tornando os dados,

assim, mais consistentes (SAATY, 1977; 1980; PINESE JÚNIOR, 2010), onde a RC é calculada através da equação 2. O procedimento é essencial para representar a concordância do IC e a credibilidade do RC em relação aos dados produzidos com base na experiência do pesquisador, ou em caso de eventuais inconsistências na pesquisa, e assim, viabilizando a atribuição de novas notas/pesos a matriz de avaliação que integra a classificação final (SILVA; NUNES, 2009; RESENDE et al.; 2017; PIMENTA et al.; 2019).

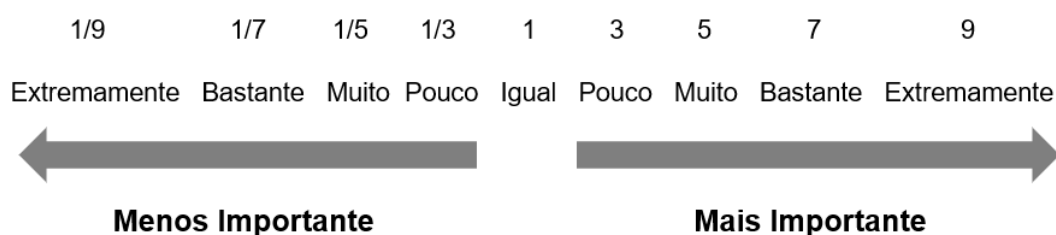
Equação 2 - Cálculo da Razão de Consistência.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Eq. 2}$$

A análise quantitativa como fator decisório entre dois parâmetros, passa por problemas relacionados a: erros na mensuração das variáveis, neutralidade nas avaliações e disponibilidade de dados, tal como inconsistências e ambivalências concernentes ao processo de avaliação comparada (CHANG et al.; 2009; PIMENTA et al.; 2019).

Desse modo, existe uma variedade de estudos apoiados na escala absoluta de importância, os quais comparam valores fracionados entre 1/9 a 9, pois cria-se uma nova escala comparando o grau de importância de um fator sobre o outro (Figura 11). Para isso, o pesquisador deve verificar se o parâmetro “X” é mais relevante que o “Y”, ou seja, se é menos ou mais importante (quando no caso, “X” é mais satisfatório que “Y”) (CHANG et al.; 2009; PIMENTA et al.; 2019). A matriz passa a ser avaliada devido ao seu autovalor com o propósito de examinar a coerência dos julgamentos, onde esse processo cria uma “razão de coerência”, sendo igual a 1, caso todas as verificações estejam coerentes reciprocamente (COELHO, 2017).

Figura 11 - Escala de importância das variáveis do método AHP, para comparação pareada.

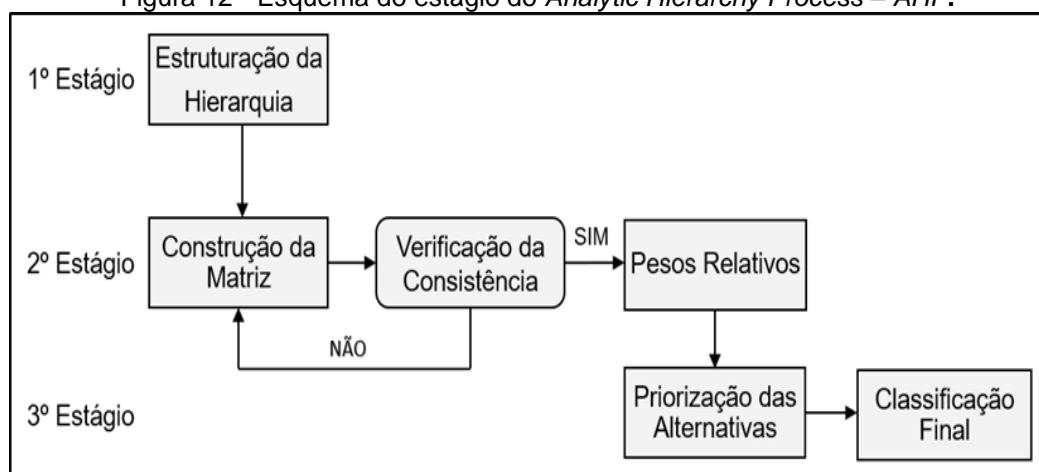


Fonte: Adaptado de Saaty (1987). Extraído de Pimenta et al. (2019).

Segundo Silva e Nunes (2009) o processo de decisão baseado na *Analytic Hierarchy Process* - AHP é compreendido e aplicável por meio de seis fases, sendo agrupadas em três estágios (Figura 12), como demonstrado mais detalhadamente a seguir:

- Estágio 01 - Estruturação da Hierarquia de Decisão
  - ❖ Estruturação da hierarquia;
- Estágio 02 - Construção da Matriz de Comparação Pareada
  - ❖ Construção da matriz;
  - ❖ Verificações de consistência;
  - ❖ Definir o valor da importância relativa (peso) de cada fator;
- Estágio 03 - Priorização das Alternativas e Definição das Classes de Vulnerabilidade
  - ❖ Priorização das alternativas;
  - ❖ Classificação final

Figura 12 - Esquema do estágio do *Analytic Hierarchy Process* – AHP.



Fonte: Adaptado de Silva e Nunes (2009).

### - Índice de vulnerabilidade a inundações (IVI)

Uma das formas de calcular o IVI é através da raiz quadrada da média geométrica dos parâmetros de classificação ou a soma das variáveis ponderadas distintivamente. E nesse sentido, um método multicritério que evita a atribuição de pesos aleatórios, é o *Processo Hierárquico Analítico (AHP)*, que tem sido largamente aplicado em problemas de tomada de decisão, por especialistas nas áreas de geografia, ciências marinhas e hidrometeorologia (GORNITZ,1991; YIN et al., 2012).

Segundo Yin et al (2012), existe um elevado grau de incerteza nas ponderações consideradas para algumas variáveis em razão das diferenças de natureza das

variáveis. Um exemplo pode ser referido ao declive costeiro que se mantem, a maior parte do tempo, estático, o uso da terra passa por mudanças muito lentas, ao passo que o aumento do nível do mar pode ser mais dinâmico.

A vulnerabilidade passa a ser analisada e classificada através de duas categorias de variáveis: a) variáveis oceânicas que compreendem o aumento do nível do mar, faixa média de maré e altura média da onda; e b) variáveis continentais<sup>8</sup>, que englobam a geomorfologia, elevação, declividade, erosão da linha de costa e uso da terra. Essas variáveis representam as duas principais dimensões que interagem influenciando a resposta costeira ao aumento do nível do mar, e consequentes inundações (YIN et al., 2012).

Para tanto, ainda conforme Yin et al (2012), é complexo mensurar com precisão a relativa influência de ambas as variáveis devido ao alto grau de incerteza no ambiente local. Em áreas que apresentam condições específicas, como por exemplo, altas elevações costeiras (penhascos rochosos), as variáveis oceanográficas podem ser irrelevantes frente à vulnerabilidade a inundação. Por outro lado, em áreas de baixas altitudes, as variáveis oceânicas passam a ser muito mais efetivas.

Nesse sentido, Yin et al (2012) tendo como base trabalhos de vários especialistas, quanto a importância de paridade entre as variáveis, adotaram o CVI que constitui uma estrutura hierarquizada de 3 camadas, sendo o cálculo representado por meio da equação 3.

Equação 3 - Fórmula para o cálculo de Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC).

$$CVI = \sum_{i=1}^n F_i * W_i \quad \text{Eq. 3}$$

Onde  $F_i$  representa o ranking de vulnerabilidade do fator  $i$  e  $W_i$  é o peso do fator  $i$ . Com isso, os valores de vulnerabilidade das variáveis existentes nas tabelas de atributos são referentes ao ID específico de cada segmento costeiro. Assim, os valores ponderados podem ser integrados utilizando a ferramenta *Spatial Join* no módulo

---

<sup>8</sup> Para o cálculo do índice de vulnerabilidade a inundação nesse trabalho adotou-se também a proposta metodológica de Yin et al (2012), sendo utilizadas e adaptadas somente as variáveis continentais, uma vez que, as variáveis oceanográficas não fazem parte dos objetivos do trabalho.

“Overlay” (do software ArcGIS) em ambiente SIG. E nesse caso, um dos métodos mais utilizados para classificar o IVI é o Quartering (YIN et al., 2012).

#### 4.4. Pesos atribuídos a cada uma das variáveis utilizadas no cálculo da álgebra de mapas com a aplicação dos métodos: lógica booleana e AHP

Para a realização do cálculo da vulnerabilidade à inundação, as variáveis adotadas precisaram ser convertidas do formato vetorial (caso estejam nesse formato) para o formato matricial (*raster*), sendo atribuídos pesos conforme o conhecimento das características da área de estudo e a experiência do pesquisador. Nesse estudo a modelagem foi determinada de maneira integrada com a adoção das seguintes variáveis: declividade, geologia, solos, geomorfologia e uso e cobertura da terra. Desse modo, as variáveis com suas respectivas classes e pesos são representadas nas Tabelas 2,3,4,5 e 6.

Tabela 2 - Declividade com os respectivos pesos de cada classe adotados na modelagem da vulnerabilidade a inundação da área de estudo

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Pesos</b>
1,00% - 1,86%	7
1,86% - 2,71%	6
2,71% - 3,57%	5
3,57% - 4,43%	4
4,43% - 5,29%	3
5,29% - 6,14%	2
>= 6,14%	1

Fonte: SANTOS, J.R.U (2022).

Tabela 3 - Geologia com os pesos de cada unidade usados no cálculo da modelagem da vulnerabilidade a inundação da área de estudo

<b>Unidades Geológicas</b>	<b>Pesos</b>
Depósitos Colúvio-Aluvionares	2
Depósitos Fluvio lagunares	10
Depósitos Fluvio marinhos	10
Depósitos Sedimentares Costeiros Indiferenciados	4
Depósitos de Bancos/Barras Longitudinais	2
Depósitos de Cordões Litorâneos Pleistocênicos	6
Depósitos de Cordões Litorâneos Holocênicos	8
Depósitos de Paleocanais Fluviais	4

Fonte: SANTOS, J.R.U (2022).

Tabela 4 - Solos com pesos de cada classe atribuídos na modelagem da vulnerabilidade inundacional da área de estudo.

<b>Classes de Solos</b>	<b>Pesos</b>
Latossolos Amarelos Coesos	6
Argissolos Amarelos Distróficos	4
Cambissolos Eutróficos	2
Espodosolos	4
Gleissolos e Organossolos sem Influência Marinha	10
Gleissolos sob Influência Marinha	9
Neossolos Quartzarênicos (Areias Quartzosas Marinhas)	10

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020)

Tabela 5 - Geomorfologia com os pesos de cada unidade e empregados na modelagem da vulnerabilidade inundacional da área de estudo.

<b>Unidades Geomorfológicas</b>	<b>Pesos</b>
Bancos/Barras de Canais Fluviais	2
Cordões Litorâneos Holocênicos/Cristas de Praia	9
Cordões Litorâneos Pleistocênicos	8
Paleocanais Fluviais	6
Planície Interdistributária	3
Planícies Fluviolagunares	10
Planícies Fluviomarinhas	10
Spit	6
Terraços Fluviais	4

Fonte: SANTOS, J.R.U (2022)

Tabela 6 - Uso e cobertura da terra com os pesos utilizados para integrar o cálculo da vulnerabilidade a inundação da área de estudo

<b>Classes de Uso e Cobertura da Terra</b>	<b>Pesos</b>
Afloramento Rochoso	1
Brejo	10
Cultivos Agrícolas	9
Extração Mineral	8
Macega	7
Mangue	9
Corpos d'Água	10
Mata Nativa	1
Outros	3
Pastagem	10
Reflorestamento – Eucalipto	2
Reflorestamento – Seringueira	2
Restinga	6
Solo Exposto	9
Área Urbanizada	4

Fonte: SANTOS, J.R.U (2022)



#### 4.5. Matrizes de comparação pareada e determinação estatística dos pesos das variáveis do método AHP para a inundação da planície deltaica do rio Doce

Para determinar a vulnerabilidade em relação à inundação da planície deltaica do rio Doce foi utilizada a escala fundamental de comparações de Saaty (1977), que usa os fatores de maior importância para alcançar o resultado, como se verifica na Tabela 7. Assim, a matriz indica o quanto cada variável da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada variável equivalente na linha superior. Quando uma variável é comparada com ela mesma, o único resultado é 1, visto que tem igual importância. Na Tabela 8, são representados os valores de maior relevância para o estudo.

O cálculo das prioridades dos critérios foi feito adicionando uma linha na tabela onde realizou-se as somas dos valores das colunas. Na sequência, a tabela foi normalizada dividindo-se o valor de cada célula pela soma da respectiva coluna.

Tabela 7 - Matriz de comparação pareada da área de estudo.

<b>Fatores</b>	Declividade	Geologia	Solos	Geomorfologia	Uso da Terra
Declividade	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Geologia	3	1	1/3	1/5	1/7
Solos	5	3	1	1/3	1/5
Geomorfologia	7	5	3	1	1/3
Uso da Terra	9	7	5	3	1
<b>Soma</b>	<b>25</b>	<b>16,333</b>	<b>9,533</b>	<b>4,68</b>	<b>1,79</b>

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020)

Tabela 8 - Valores de interesse para o modelo (método AHP).

<b>Fatores</b>	Declividade	Geologia	Solos	Geomorfologia	Uso da Terra
Declividade	1				
Geologia	3	1			
Solos	5	3	1		
Geomorfologia	7	5	3	1	
Uso da Terra	9	7	5	3	1

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020)

A partir dos valores de importância correspondente às variáveis, foram determinados os pesos para cada variável, onde se divide cada elemento pela somatória dos elementos da coluna a que ele pertence, e realiza-se uma média entre as colunas, estabelecendo, dessa forma, cada peso (Tabela 9). Segundo Santos et al. (2010, p.126) “Dependendo do número de casas decimais, pode ocorrer uma pequena variação em cada peso calculado”. E quanto ao Índice de Consistência (IC)

seu valor foi de 0,0605, sendo dividido pelo Índice Randômico (IR), que para 5 variáveis corresponde a 1,12, chegando na Razão de Consistência (RC) de 0,054.

Tabela 9 - Determinação dos pesos para cada variável da área de estudo.

Fatores	Declividade	Geologia	Solos	Geomorfologia	Uso da Terra	Pesos
Declividade	1/25 = 0,04	0,333/16, 333 = 0,0204	0,20/9,533 = 0,0210	0,143/4,68 = 0,0306	0,111/1,79 = 0,0620	<b>0,174</b>
	Geologia	3/25 = 0,12	1/16,333 = 0,0612	0,333/9,533 = 0,0349	0,20/4,68 = 0,0427	
Solos		5/25 = 0,20	3/16,333 = 0,1837	1/9,533 = 0,1049	0,333/4,68 = 0,0712	0,20/1,79 = 0,1117
	Geomorfologia	7/25 = 0,28	5/16,333 = 0,3061	3/9,533 = 0,3147	1/4,68 = 0,2137	0,333/1,79 = 0,1860
Uso da Terra		9/25 = 0,36	7/16,333 = 0,4286	5/9,533 = 0,5245	3/4,68 = 0,6410	1/1,79 = 0,5587

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020)

#### 4.6. Procedimento operacional usando álgebra de mapas em SIG para o cálculo da vulnerabilidade a inundação

A vulnerabilidade à inundação, integrando variáveis naturais e socioeconômicas, foi determinada aplicando-se a técnica de álgebra de mapas, através de métodos multicritérios em SIG. Dessa forma, tendo como exemplo (de um dos métodos multicritério adotados), o método AHP proposto por Saaty (1977), onde foram somadas, com os respectivos pesos apresentados na tabela 4, as variáveis: declividade, geologia, solos, geomorfologia e uso e cobertura da terra (Figura 13)<sup>9</sup>.

Utilizando a Combinação Linear Ponderada (CLP) são estabelecidos os produtos cartográficos finais de vulnerabilidade à inundação (VI) com as seguintes classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Sendo processados em ambiente SIG, utilizando o *software ArcGis™* 10.5 (ESRI, 2016), na extensão *ArcMap* →

<sup>9</sup> O esquema representado na Figura 13, demonstra a maneira como as variáveis (declividade, geologia, solos, geomorfologia e uso e cobertura da terra), foram sobrepostas usando a técnica de álgebra de mapas através do método multicritério AHP, no software ArcGis 10.5, gerando assim os mapas finais de vulnerabilidade a inundação. Lembrando que esse tipo de modelagem algébrica, integrando variáveis, para gerar um produto final, também é denominado de lógica *booleana*.

---

*ArcTollbox* → *Spatial Analyst Tools* → *Map Álgebra* → *Raster Calculator*. O cálculo da VI é representado a seguir:

Para o cálculo da VI, segue-se a somatória algébrica ( $\sum V$ ), conforme as equações 4 e 5:

Equação 4 - Fórmula para o cálculo da vulnerabilidade à inundação com o uso do método/lógica *Booleana*.

$$V_{INUN} = (DECL+GEOL+SOL+GEOMOR+UCT) \quad \text{Eq. 4}$$

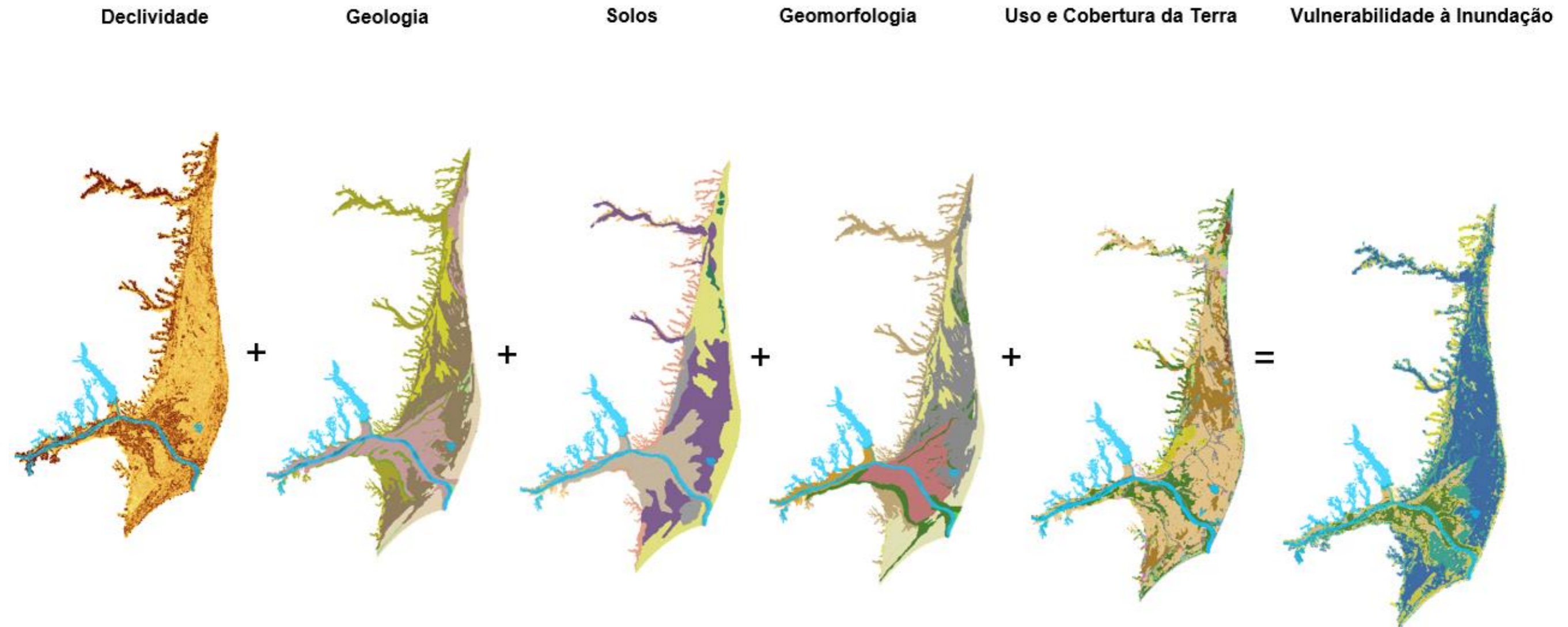
Equa o 5 - Fórmula para o cálculo da vulnerabilidade   inunda o usando o método AHP.

$$V_{INUN} = (DECL*0,174+GEOL*0,3387+SOL*0,6515+GEOMOR*1,3005+UCT*2,5128)$$

Eq. 5

Onde:  $V_{INUN}$  = Vulnerabilidade a Inunda o; DECL= Declividade; GEOL= Geologia; SOL= Solos; GEOMOR= Geomorfologia; UCT= Uso e Cobertura da Terra

Figura 13 - Representação do esquema metodológico da vulnerabilidade à inundação da planície deltaica do rio Doce, com base nos métodos Lógica *Booleana* e AHP, usando a técnica de  lgebra de mapas em ambiente SIG.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2021).

O esquema acima representa as variáveis utilizadas para a modelagem da vulnerabilidade   inunda o na planície deltaica do rio Doce, por meio do método AHP (as mesmas variáveis são usadas para o cálculo, tanto no método AHP como no *Booleano*, o que muda é o produto final da inunda o), sendo calculado por meio de  lgebra de mapas em ambiente SIG, através da seguinte fórmula com seus respectivos pesos:

$$V_{INUN} = (DECL * 0,174 + GEOL * 0,3387 + SOL * 0,6515 + GEOMOR * 1,3005 + UCT * 2,5128)$$

## 5. REFINAMENTO CARTOGRÁFICO PARA APLICAÇÃO DOS MODELOS DE INUNDAÇÃO: Atlas da Planície Deltaica do Rio Doce

O termo “atlas”, que hoje conhecemos, foi usado para determinar publicações que reúnem um conjunto de mapas. Tendo sido adotado por Mercator, como resultado de muitos anos de trabalho, foram agrupados diversos mapas que Mercator chamou de Atlas. Contudo, a publicação só ocorreu em 1595, quatro meses após sua morte, através de seu filho Rumold. A razão pela qual o termo *atlas* foi adotado ainda é motivo de discussões (DUARTE, 2002; SANT’ANA; GARBIN, 2019).

Para tanto, existem duas versões para a escolha do termo atlas. A primeira diz respeito a uma homenagem feita ao rei Atlas, da Mauritânia. A segunda teria sido uma referência a divindade grega Atlas, que conforme a mitologia, por ter ficado ao lado dos gigantes contra os deuses e com a intenção de derrubar o céu, acabou sendo condenado por Zeus a sustentá-lo nos ombros (DUARTE, 2002; SANT’ANA; GARBIN, 2019).

Na composição do atlas, dos aspectos físicos e socioambientais da planície deltaica do rio Doce foram elaborados mapas inéditos que tratam do clima, geologia, geomorfologia, solos, rede de drenagem, declividade, altimetria, batimetria, topobatimetria e uso e cobertura da terra, que necessitaram passar por uma adequação quanto as escalas, classes, e demais atualizações. Ressalta-se que dentre os mapas elaborados cinco foram utilizados nos modelos de inundação, por ser caracterizados como de maior relevância para o estudo, sendo-os: declividade, geologia, solos, geomorfologia e uso e cobertura da terra.

### 5.1. Aspectos climáticos

O clima predominante na planície deltaica é o tropical quente e úmido com verão chuvoso e inverno menos chuvoso (Figura 14), de características não uniforme (tipo climático Aw de KÖPPEN, 1948), determinado por uma série de fatores físicos locais como latitude, continentalidade, relevo e efeitos de massas de ar, sendo este último um dos principais aspectos na determinação do clima (SUGUIO *et al.*; 1982; FERREIRA, 2006; COELHO, 2007, 2019).

Os ventos prevalentes são de nordeste e sudeste, onde os ventos de NE estão associados às brisas marinhas diurnas e os ventos de SE, relacionados à ocorrência

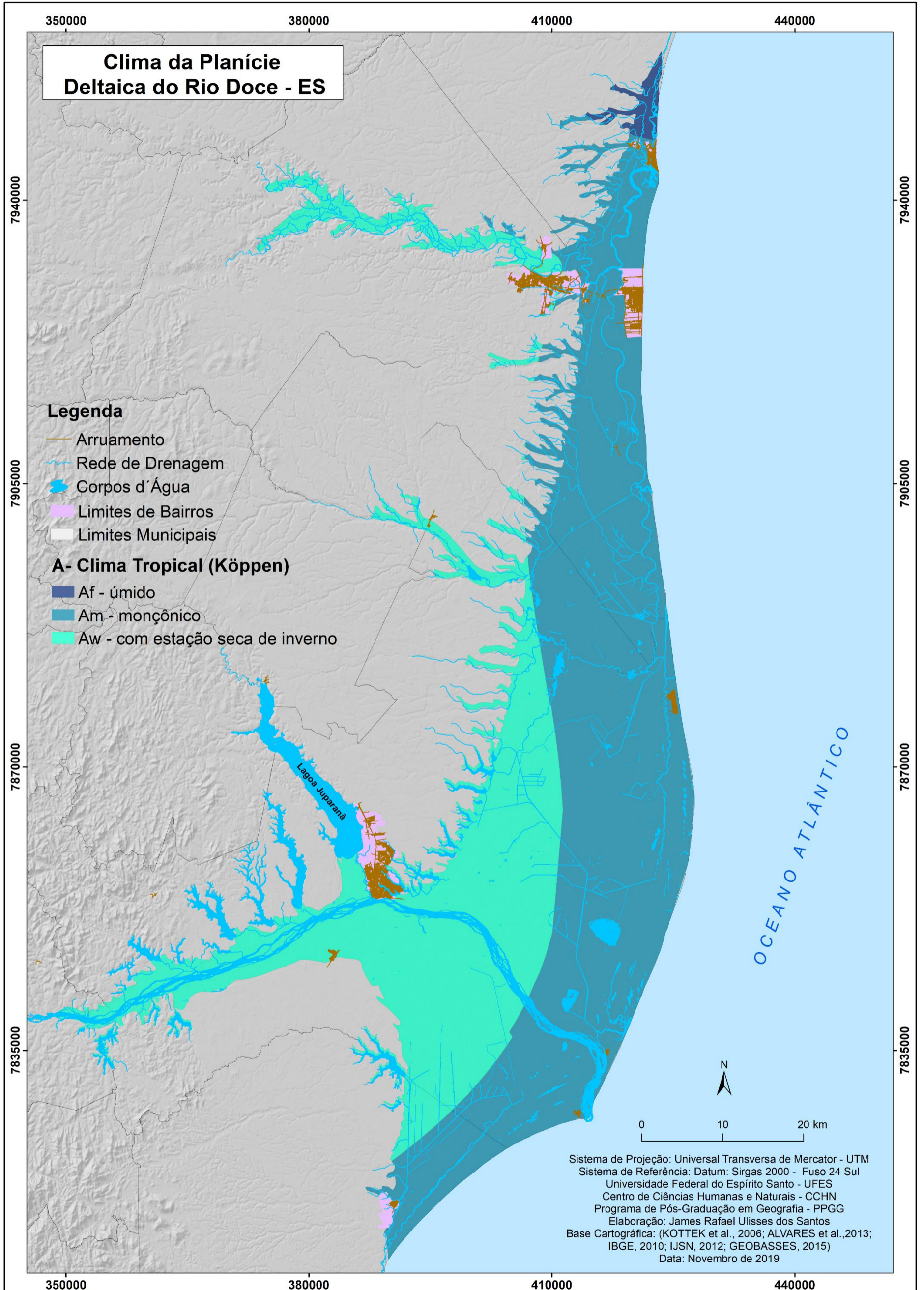
---

de frentes frias que, frequentemente, atingem a região, principalmente no inverno (BANDEIRA JÚNIOR *et al.*; 1975; SUGUIO *et al.*; 1982; POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

As maiores precipitações ocorrem no verão, com estação seca no outono e no inverno, mas essas estações podem registrar chuvas frontais em função da *Massa Polar Atlântica (MPA)*. As temperaturas médias anuais são altas, ficando entre 22° C e 26° C, e mesmo em junho e julho que são os meses mais frios, as médias ultrapassam os 18° C em altitudes mais elevadas, de até 500m (com a média das máximas de 28° a 30° C), e as mínimas ficam em torno de 15° C. A umidade do ar é aproximadamente de 90% (bastante elevada) nas regiões serranas e imediações litorâneas, ficando a amplitude térmica diária mais elevada que a anual, com variação de 10° a 15° C (ALBINO, *et al.*, 2006; 2018; COELHO, 2007, 2019).

No inverno a umidade do ar atinge níveis menores, em função da atuação da circulação anti-horária descendente do *Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS*. A associação com a *MPA* faz o inverno se tornar seco. Durante o verão, o efeito de anticiclone subtropical fica estacionado sobre as águas oceânicas (CUPOLILLO, 2008.; CUPOLILLO *et al.*; 2008).

Figura 14 - Mapa dos tipos de clima, conforme a classificação de Köppen, da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 5.2. Aspectos geológicos

A planície deltaica do rio Doce encontra-se inserida na bacia sedimentar do Espírito Santo-Mucuri, representando uma área emersa de 18.000 km<sup>2</sup> e submersa de 200.000 km<sup>2</sup>. Tendo como limite ao norte o complexo vulcânico Abrolhos e, ao sul, com o arco Vitória, que evoluiu sobre terrenos pré-cambriano formados por rochas magmáticas (ígneas) e metamórficas. O acúmulo de sedimentos (*sin rifte*), que formou a Bacia do Espírito Santo-Mucuri, é retratado pela Formação Cricaré, de idade Neocomiano/Aptiano que apresenta uma espessura aproximada de 5.000 m. E existindo sobre essa unidade a Formação Mariricu, do Neoptiano (MILANI *et al.*, 2001; MOHRIAK, 2003; POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

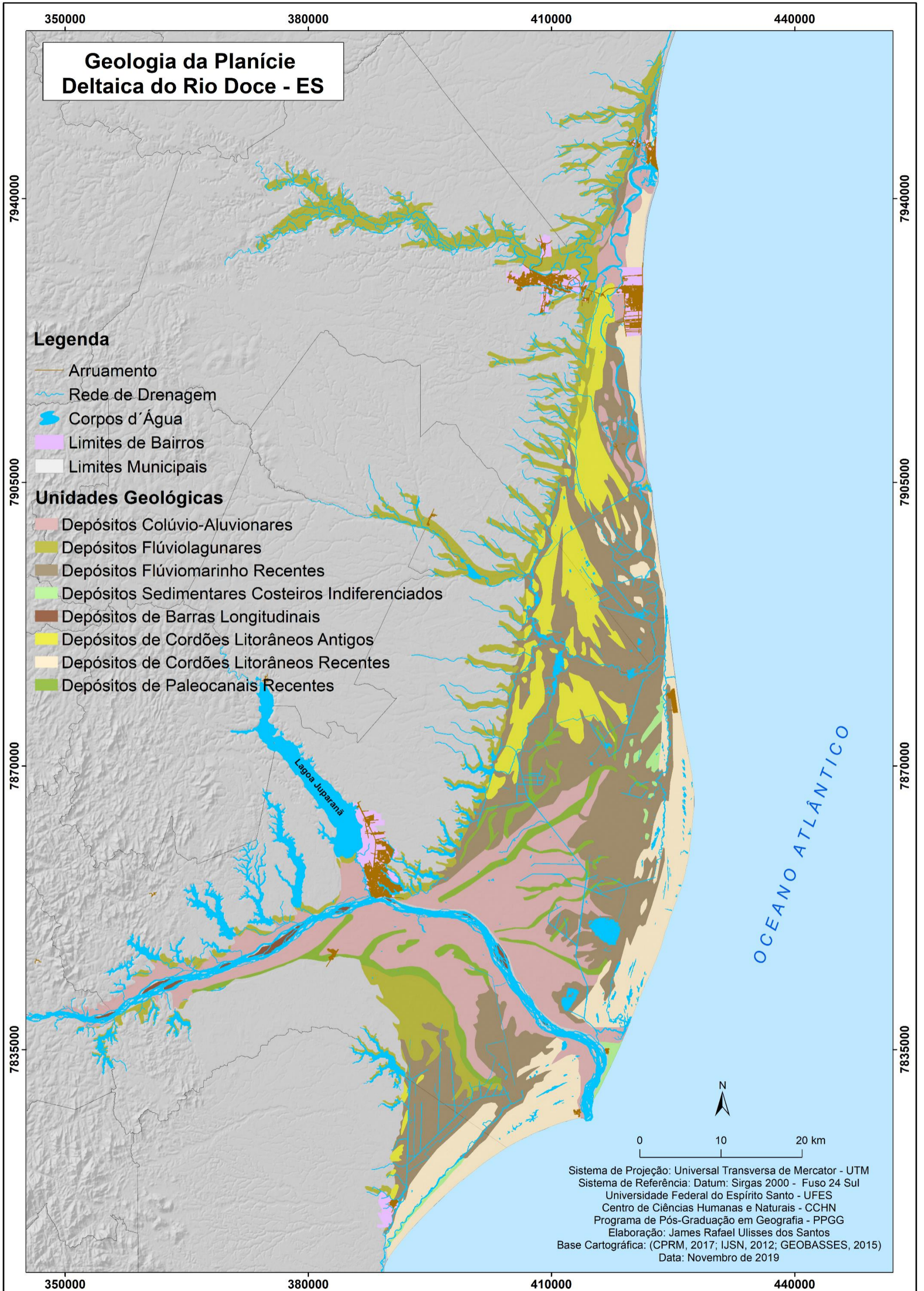
Nesse sentido, a fase marinha que deu origem a essa bacia é expressa pelo Grupo Barra Nova, de idade Albiana e pelo Grupo Espírito Santo, iniciando no Cenomaniano ao Recente, este último grupo integra a Formação Barreiras do Mioceno. Em relação aos depósitos que formam a planície deltaica do rio Doce, são do período quaternário constituídos por sedimentos arenosos e argilosos (IBGE, 1987; POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

A geologia mapeada (Figura 15) é resultado da evolução quaternária (pleistoceno e holoceno). Na planície deltaica existe uma série de depósitos sedimentares, como o dos cordões litorâneos pleistocênicos que são constituídos por sedimentos arenosos de coloração branqueada e castanha e/ou cores escuras em função da incorporação de matéria orgânica. Apresenta arranjos sedimentares (singenéticos), com estratificação cruzada, semelhante à espinha-de-peixe, de angulosidade baixa, indicando um ambiente de natureza marinha coincidente com o nível de baixamar (CPRM, 2015).

Com relação aos depósitos aluviais e coluviais indiferenciados, são encontrados nos vales com frequência acima do limite alcançado pela penúltima transgressão marinha, durante o Pleistoceno, podendo também estar presente em vales de diferentes idades. No entanto, esses depósitos carecem de análises mais detalhadas para caracterizar e detectar diferenças de composição (CPRM, 2015).



Figura 15 - Mapa geológico da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

---

Os depósitos fluviolagunares recentes são encontrados nas planícies de inundação, sendo constituídos por sedimentos ricos em matéria orgânica (silticos e/ou arenoargilosos), com conchas de moluscos característicos de ambiente lagunar. Ressalta-se o fato desses depósitos demarcarem o contato entre os terraços pleistocênicos e holocênicos, e aparecendo também no baixo curso dos extensos vales, porém sem a adição de sedimentos fluviais (CPRM, 2015).

Durante a fase de submersão ocorrida anterior, a 5100 anos AP em função da subida do nível do mar, acontece a construção de sistemas lagunares que se consolidou por trás das ilhas barreiras próximas a foz do rio Doce. A partir de 5100 anos AP, com a regressão marinha, ocorreu o esvaziamento das lagunas existentes, e que simultaneamente, o ambiente era colmatado formando pântanos (DOMINGUEZ *et al.*, 1981,1983; MARTIN *et al.*,1993; 1997; ALBINO, 1999).

Entre 3.900 e 2.500 anos AP ocorreu uma transgressão marinha que possibilitou, parcialmente, a reconstituição do ambiente lagunar. Atualmente, esses depósitos lagunares são identificados a sudoeste de Conceição da Barra (com expansão para o sul), no sentido da foz do rio Doce e com alcance até a vila do Riacho (DOMINGUEZ *et al.*, 1981,1983; MARTIN *et al.*,1993; 1997; ALBINO, 1999).

Os depósitos fluviais apresentam aspectos aluvionares, formados por areias quartzosas grossas, angulosas e mal selecionadas e conglomerados intercalados com sedimentos argilo-siltosos e argilosos. Destaca-se a presença de micas. Esses depósitos são associados à planície de inundação do rio Doce e aos depósitos aluvionares, com uma concentração maior de cascalho, areia e argila (CPRM, 2015).

Os depósitos de paleocanais fluviais podem ser encontrados no vale do rio Macabu e seus afluentes, constituídos por sedimentos areno-argilosos de idade pleistocênica. Por terem sido depositados numa época em que o nível de base do rio era superior ao atual, estão atualmente parcialmente erodidos. São identificados também depósitos fluviais holocênicos na foz do rio Doce, nos deltas lagunares e no baixo curso dos rios São Mateus, Itapemirim e Macaé (CPRM, 2015).

Os depósitos de cordões litorâneos holocênicos são identificados ao longo de uma faixa (sul a norte) que bordeja a planície deltaica em direção a linha de costa. Desse modo, dois tipos de cordões litorâneos são descritos: os constituídos por processos eólicos e os formados por processos marinhos, sendo caracterizados como depósitos de praia, litologicamente originados de areias quartzosas de granulometria diversificada (PIAZZA; ARAÚJO,1972; CPRM, 2015).

---

Os depósitos marinhos recentes formados por sedimentos holocênicos são identificados nos terraços marinhos nas adjacências da foz do rio Doce e nos alinhamentos de cristas de praias, de maneira contínua e com pouco espaçamento. São representados também pelos arenitos de praia (CPRM, 2015).

### 5.3. Aspectos geomorfológicos

A planície deltaica do rio Doce foi caracterizada fisiograficamente por Suguio *et al* (1982), em três províncias geomorfológicas: a) Região Serrana, Planície de Tabuleiros e Planície Costeira<sup>10</sup>. No entanto, como a área de estudo corresponde às delimitações da planície costeira, somente essa unidade geomorfológica será descrita.

Morfologicamente, a planície deltaica apresenta uma forma semilunar crescente, assimétrica e convexa no sentido do mar, tendo uma largura máxima na direção E-W aproximada de 55 km, e com extensão máxima de 150 km na direção N-S. Algumas feições morfológicas predominam como os terraços marinhos pleistocênicos (internos e mais antigos), encontram-se sob cobertura vegetal arbórea. E os terraços marinhos holocênicos (mais recentes), ocupados por vegetação do tipo psamofítica, que se desenvolve em terrenos arenosos (SUGUIO, 2003).

A rede de drenagem é bastante densa, onde os rios Doce e São Mateus, desempenham uma importante função no transporte e na sedimentação quaternária. No caso particular do rio Doce, seu canal principal, tem uma extensão de 750 km, com a bacia de drenagem ocupando uma área aproximada de 83.000 km<sup>2</sup>, cortando a planície deltaica na sua porção meridional. O rio São Mateus, de menor expressividade, desagua na porção setentrional (SUGUIO, 2003).

De acordo com Polizel e Rossetti (2014), estudar o delta (planície deltaica) do rio Doce requer uma interpretação complexa, devido à abundância de feições morfológicas e/ou fisiográficas que denotam uma diversidade de subambientes de origem sedimentar, com intercalações de períodos deposicionais e erosivos. A sua formação progradacional de geometria cuspidada peculiar de deltas, submetido à atuação de onda, tem sido associada à descida do nível do mar, que correspondeu a média transgressão holocênica (POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

---

<sup>10</sup> Nesse trabalho só a província geomorfológica Planície Costeira do rio Doce será caracterizada, tendo em vista que corresponde ao perímetro da área de estudo. Além disso, será denominada de Planície Deltaica do rio Doce em função da proposta de terminologia do trabalho.

---

As autoras realizaram o mapeamento geomorfológico do delta do rio Doce em conformidade com a drenagem e os ambientes de deposição e descreveram as seguintes unidades: cordão litorâneo/*spit*, paleocanal, planícies interdistributárias, flúvio-estuarinas/lagunares/marinhas rasas e terraços fluviais na porção interna do sistema fluvial (POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

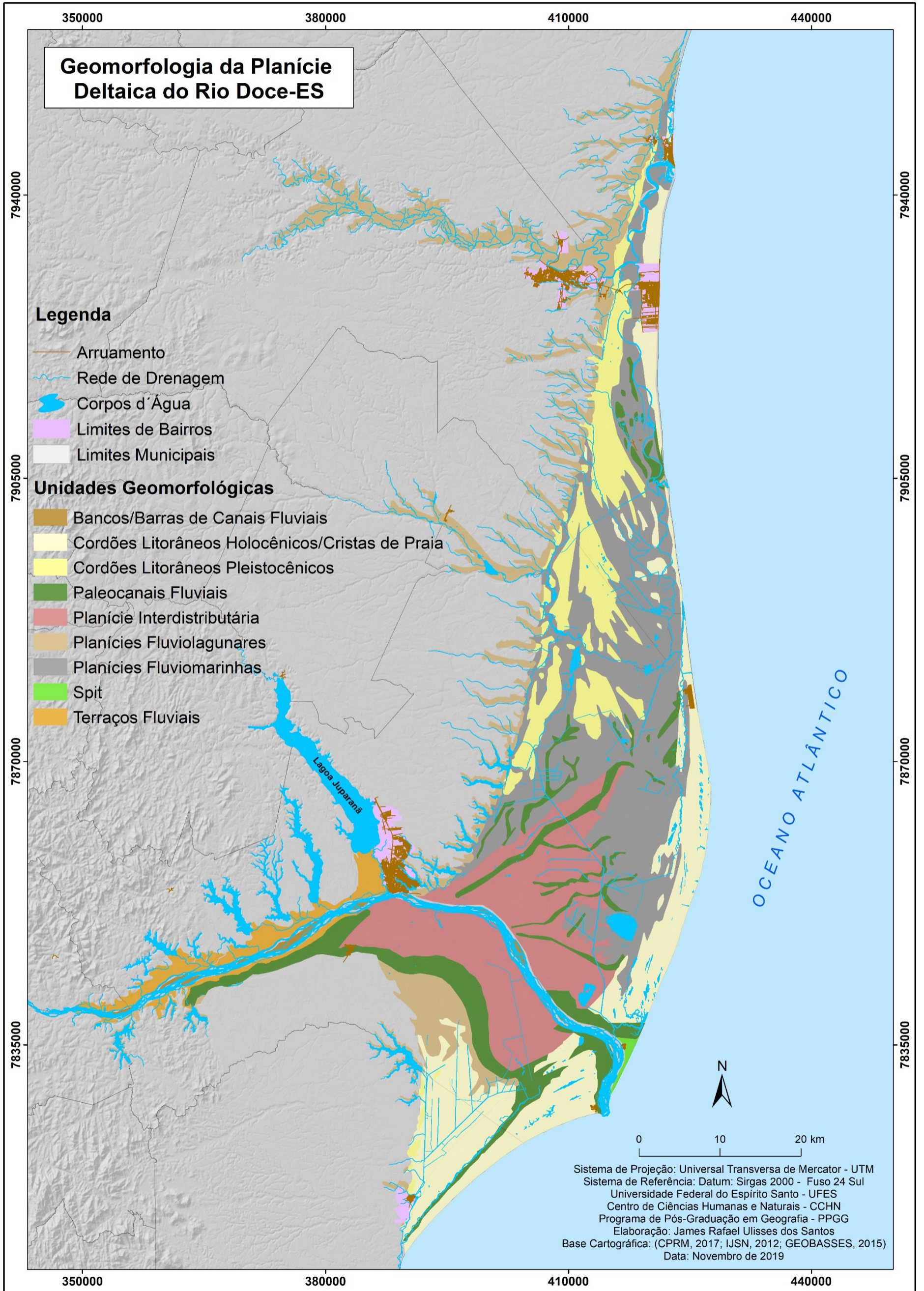
Por ser do tipo dominado por ondas, a evolução do delta sofreu ação da deriva litorânea, além do transporte e deposição de sedimentos fluviais e das flutuações do nível médio do mar (NNM). As reconstituições paleo-geomorfológicas das cristas de praia durante a progradação holocênica, permitiram identificar descontinuidades dos alinhamentos em às mudanças direcionais da corrente de deriva litorânea (DOMINGUEZ et al., 1981; 1983; MARTIN et al., 1996; 1997; OLIVEIRA et al., 2015).

As mudanças na frequência direcional das ondas incidentes na costa durante a evolução do delta do rio Doce, foram identificadas através de modelos numéricos, apoiados em padrões atuais de ventos e no efeito da refração de ondas na faixa litorânea. Com a modelagem foi constatado que a capacidade de dispersão de sedimentos é simultânea com a evolução deltaica, evidenciada pelas observações morfoestratigráficas (BITTENCOURT et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015).

A atuação da deriva é identificada até hoje e tem o sentido prioritário da mobilidade dos sedimentos predominante de sul para norte, caracterizando uma progradação mais proeminente da planície costeira no setor norte da foz. No setor sul da foz, a linha de costa evidencia uma orientação na direção sudeste, favorecendo assim, a deposição dos sedimentos fluviais. Os sedimentos transportados devido à ação da deriva litorânea sofrem um barramento em função do efeito molhe hidráulico formado a partir da dinâmica fluvial (DOMINGUEZ et al. 1983; MARTIN et al. 1993; OLIVEIRA et al., 2015).

Diante do exposto, a classificação e caracterização das feições geomorfológicas (Figura 16) foram realizadas a partir da compilação dos mapeamentos existentes e resultou em uma nova classificação, conforme a seguir:

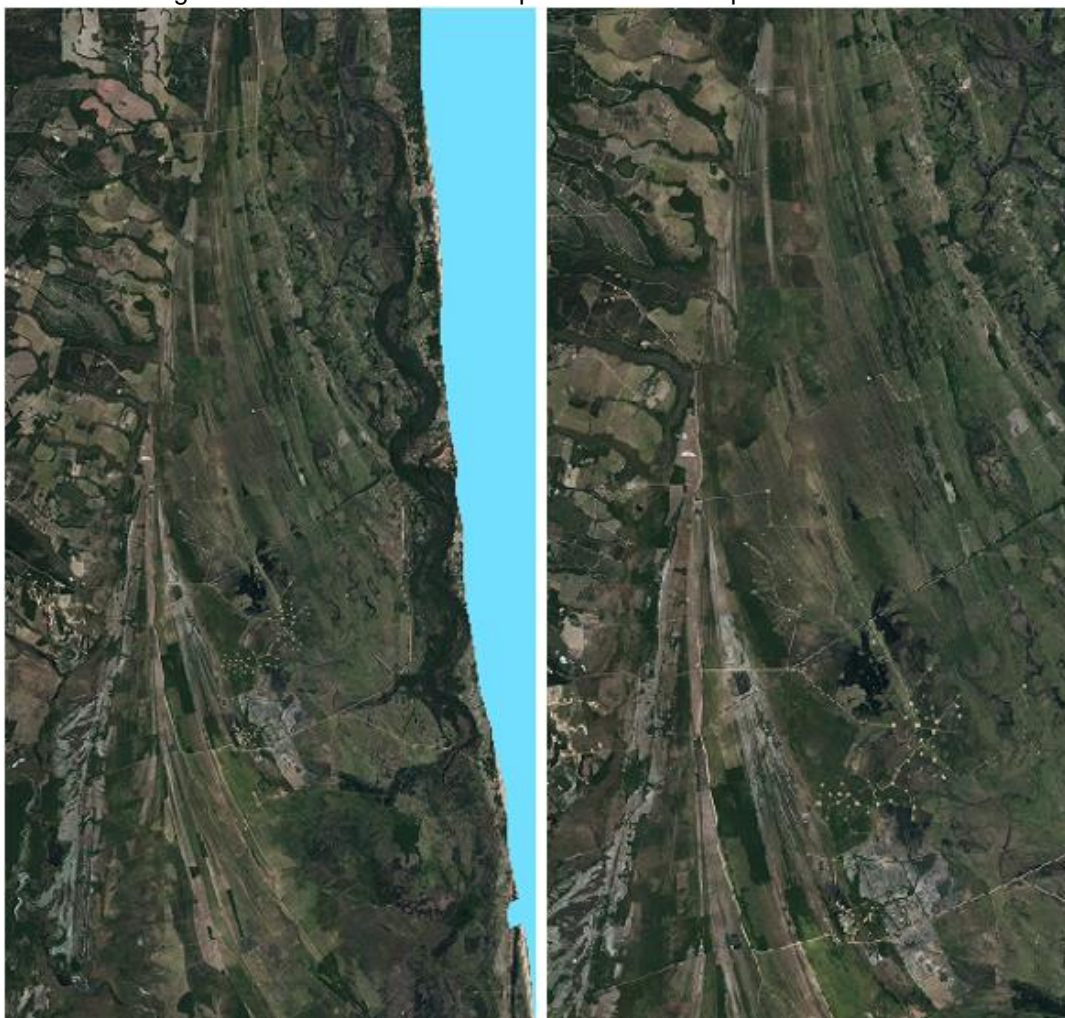
Figura 16 - Mapa das unidades geomorfológicas da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

Os cordões litorâneos pleistocênicos (Figura 17), também denominados de cordões arenosos (*cordons sableux*) ou cristas de praia (*beach ridges*), configuram-se como cristas alongadas, de alturas variáveis, frequentemente baixas, que formam as pós-praias (*backshores*) (SUGUIO, 2003). Os feixes de cristas dos cordões, quando dispostos em direções discordantes, caracterizam mudanças na orientação das correntes longitudinais associadas às variações da dinâmica costeira (MARTIN; SUGUIO, 1992; SUGUIO, 2003).

Figura 17 - Cordões litorâneos pleistocênicos na planície deltaica.



Fonte: IEMA (2015)

A sucessão horizontal (acrecção lateral) dos cordões constituem as planícies de cordões litorâneos ou cristas de praia, onde se formam os terraços de construção marinha (*wavebuilt terraces*). Quando se localizam acima do alcance das ondas em

relação ao nível médio de preamar de marés excepcionais (sizígia), correspondem a níveis relativos do mar maiores que o atual (MARTIN; SUGUIO, 1992; SUGUIO, 2003).

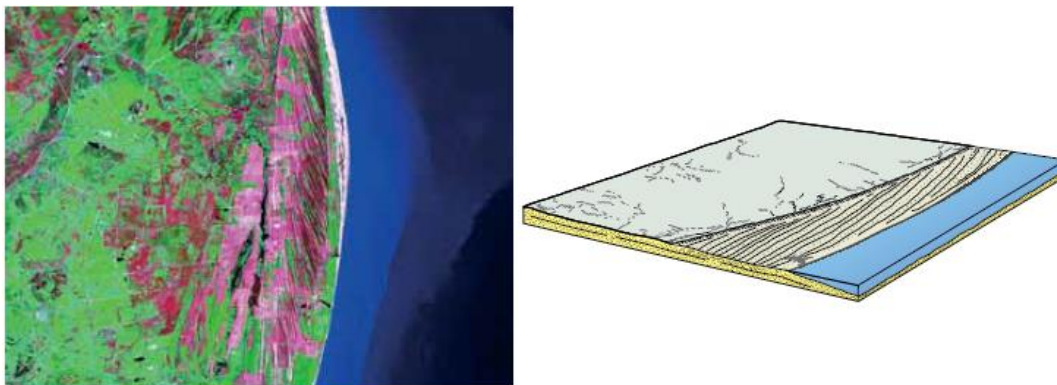
Os cordões litorâneos holocênicos estão distribuídos na planície deltaica ao longo de uma faixa que bordejia a linha de costa e se estendem de norte a sul, com maior largura ao sul (margem direita da foz do rio Doce) e estreitamento da porção central ao extremo norte (Figura 18). Apresentando geometria de sequências truncadas em diferentes ângulos relacionadas às alterações no regime de ondas, correntes e variação do nível do mar (Figura 19). Surgem, geralmente, associados a praias arenosas e, com maior regularidade, nas proximidades de grandes sistemas deltaicos e são formações arenosas alongadas, individuais ou em feixes progradantes comumente paralelas à praia atual (IBGE, 2009; MEDEIROS, 2016).

Figura 18 - Vista dos cordões litorâneos holocênicos (cristas de praia) na planície deltaica.



Fonte: IEMA (2015).

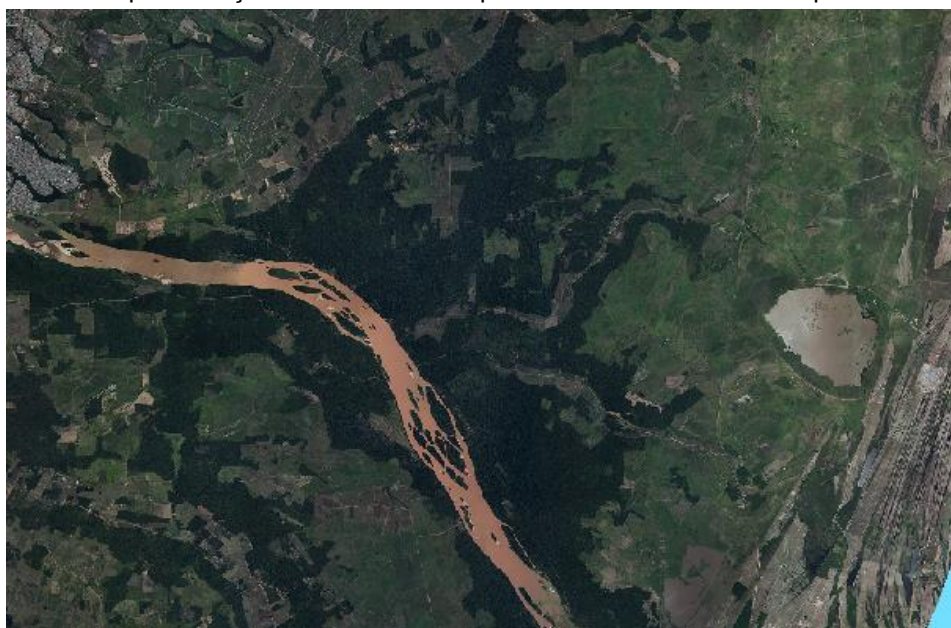
Figura 19 - Comparativo entre Imagem de satélite e modelo hipotético dos cordões litorâneos holocênicos.



Fonte: IBGE (2009)

Um subambiente de destaque na planície deltaica é a planície interdistributária (Figura 20), que corresponde a uma área alagada e de baixa energia entre canais distributários, com relevo suave, onde se formam lagoas e pântanos (SUGUIO, 2003; POLIZEL, 2014). Os sedimentos desse subambiente são depositados por duas maneiras: a) sedimentação de granulometria fina em suspensão e, b) deposição de sedimentos arenosos com feição de leques de transbordamento, formada a partir do momento em que o canal principal aumenta sua descarga, e quando o fluxo rompe seus diques marginais, formando leques que progradam sobre as planícies interdistributárias (CHISTOFOLETTI, 1981; POLIZEL, 2014).

Figura 20 - Representação do subambiente planície interdistributária na planície deltaica.



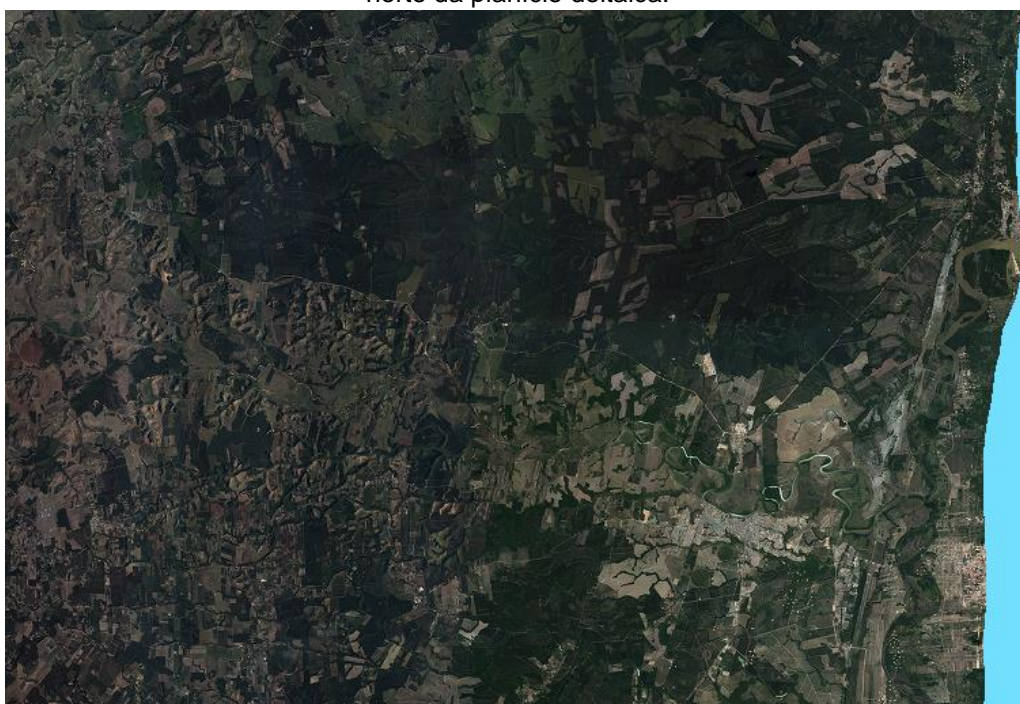
Fonte: IEMA (2015)



O processo dinâmico que resultou na formação dos depósitos da planície interdistributária contribuiu também para a destruição dos cordões litorâneos e esporões (*spits*). Com isso, ilhas foram originadas em meio aos depósitos de planície interdistributária evidenciando que, no passado, os cordões litorâneos existiam em toda a extensão da planície deltaica, vindo a ser formados a partir das fases iniciais do processo de progradação (POLIZEL; ROSSETTI, 2014).

O subambiente planície fluviolagunar/lacustre é resultante da interação de processos de acumulação fluvial e lacustre (Figura 21), podendo conter em seu interior, canais anastomosados, paleomeandros (*oxbow lakes*) e diques marginais. Em área sob a ação de processos associados à acumulação fluvial e lacustre, exposta a inundações periódicas com barramentos, verifica-se a formação de lagos ou lagoas (IBGE, 2009).

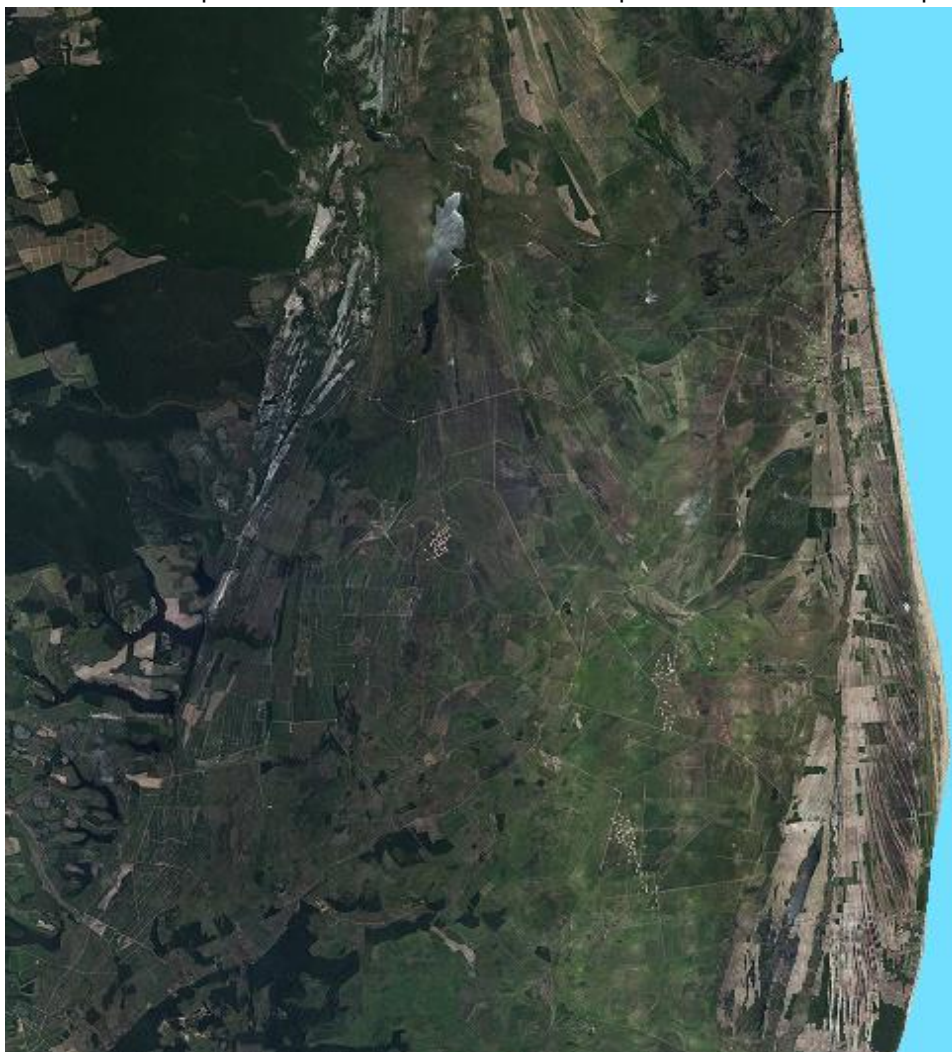
Figura 21 - Vista do subambiente planície fluviolagunar, cuja maior extensão localiza-se no setor norte da planície deltaica.



Fonte: IEMA (2015)

A planície fluviomarinha é uma feição morfológica resultante dos efeitos combinados de processos sedimentares fluviais e marinhos, submetida a frequentes inundações (Figura 22). Esse subambiente deltaico pode estar associado a canais fluviais, manguezais e cordões litorâneos, com ocorrência nas baixadas litorâneas e próximo às desembocaduras fluviais (IBGE, 2009).

Figura 22 - Visão da maior parte da extensão do subambiente planície fluviomarinha na planície deltaica.



Fonte: IEMA (2015).

Além disso, são ambientes condicionados à alta salinidade e baixas concentrações de oxigênio. Processos físicos (geológico-geomorfológicos), químicos, biológicos, de elevado teor de nutrientes e produtividade tornam essas áreas essenciais para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas, porém sendo ambientes frágeis e vulneráveis devido, principalmente, as ações antrópicas voltadas para o sistema agropecuário, industrial e a expansão urbana (CAVALCANTI, 2004; GUEDES et al., 2018).

Na planície deltaica verifica-se a existência de paleodrenagem evidenciada pela presença de paleocanais fluviais (*palaeochannel*), com destaque para os dois maiores das margens esquerda e direita do rio Doce, correspondendo aos antigos canais do rio principal (Figura 23). As paleodrenagens apresentam aspecto de canal

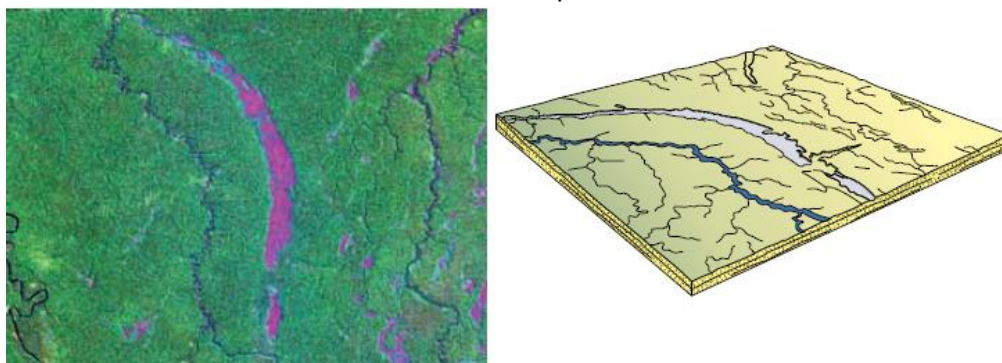
(paleocanal), podendo ser originado de um meandro abandonado, que na sequência passou pelo processo de colmatação dos sedimentos e estão presentes nas planícies, nos terraços fluviais e nas margens lacustres (Figura 24). No entanto, há casos específicos em que seu surgimento pode estar relacionado à atividade neotectônica (IBGE, 2009; MEDEIROS, 2016).

Figura 23 - Representação dos paleocanais (peleodrenagens), na planície deltaica, com destaque para o maior paleocanal, localizado na margem direita do canal principal do rio Doce.



Fonte: IEMA (2015).

Figura 24 - Paleodrenagem ou paleocanais fluviais sendo representado por meio de uma imagem de satélite e de um modelo hipotético de relevo.



Fonte: IBGE (2009)

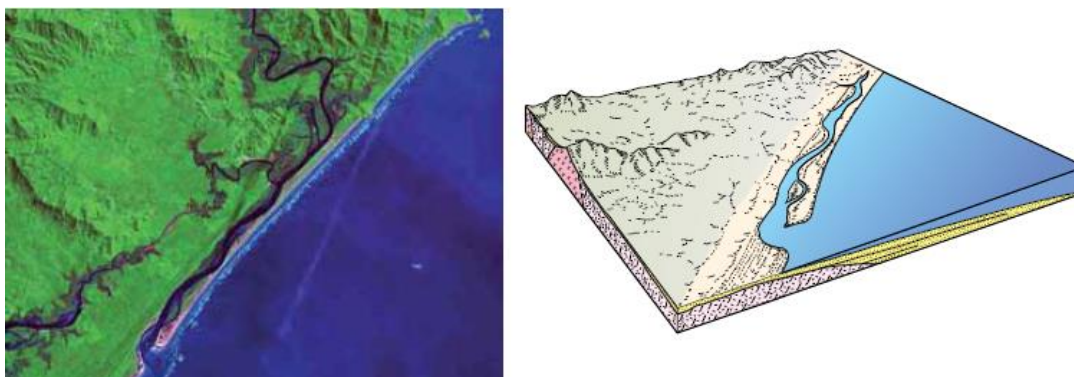
Outras feições geomorfológicas são identificadas na planície deltaica, como o esporão, principalmente na margem esquerda da desembocadura do rio Doce (Figura 25). Um esporão (*barrier spit*) é uma feição linear subparalela à linha de praia, formada pelo acúmulo de sedimentos resultantes de processos costeiros (Figura 26). Funciona como um tipo de barreira litorânea, associada aos cordões litorâneos, contribuindo parcialmente no fechamento das embocaduras fluviais, angras, baías e lagunas (IBGE, 2009).

Figura 25 - Vista da feição morfológica *spit*, identificada na desembocadura do rio Doce.



Fonte: IEMA (2015).

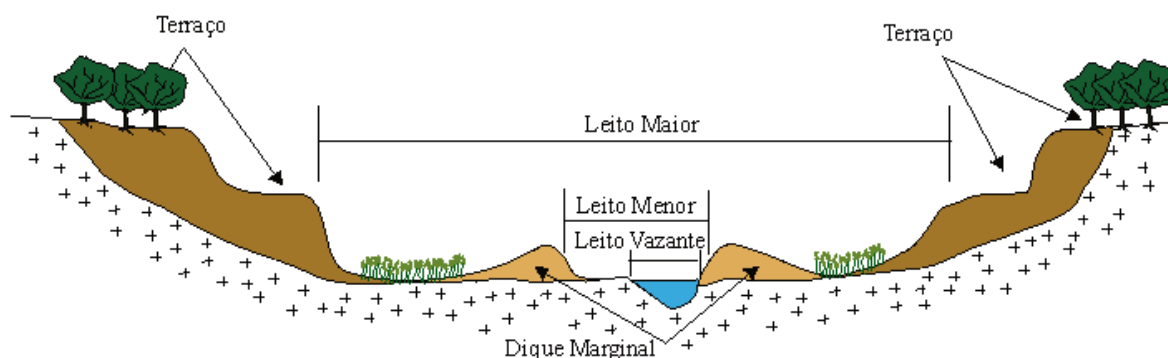
Figura 26 - Imagem de satélite e modelo da feição morfológica quaternária esporão, que corresponde a um pontal ou barreira subparalela a linha de praia.



Fonte: IBGE (2009)

O terraço fluvial é presente na planície deltaica do rio Doce (Figura 27). Correspondem às formas de deposição fluvial suavemente inclinadas, exibindo ruptura de declive em relação ao leito do rio e as várzeas atuais, localizadas em nível inferior, sendo esculpida em razão das mudanças de escoamento e reativação da erosão. Os terraços são compostos por aluviões finos a grossos, de idade pleistocênica e holocênica, além de serem identificados nos segmentos marginais de mares, lagos, lagoas e rios, podendo ser erosivos (abrasivos) e deposicionais (IBGE, 2009; SUGUIO, 1998; MAGALHÃES JR; BARROS, 2020).

Figura 27 - Representação do perfil transversal de um rio (tipos de leitos), e com ênfase para os terraços fluviais.



Fonte: <https://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter11.html>

#### 5.4. Solos

---

A planície deltaica do rio Doce apresenta quatro classes de solos predominantes: Cambissolos Eutróficos, Gleissolos, Organossolos sem influência marinha e Neossolos Quartzarênicos, também denominados de Areias Quartzosas Marinhas (Figura 28).

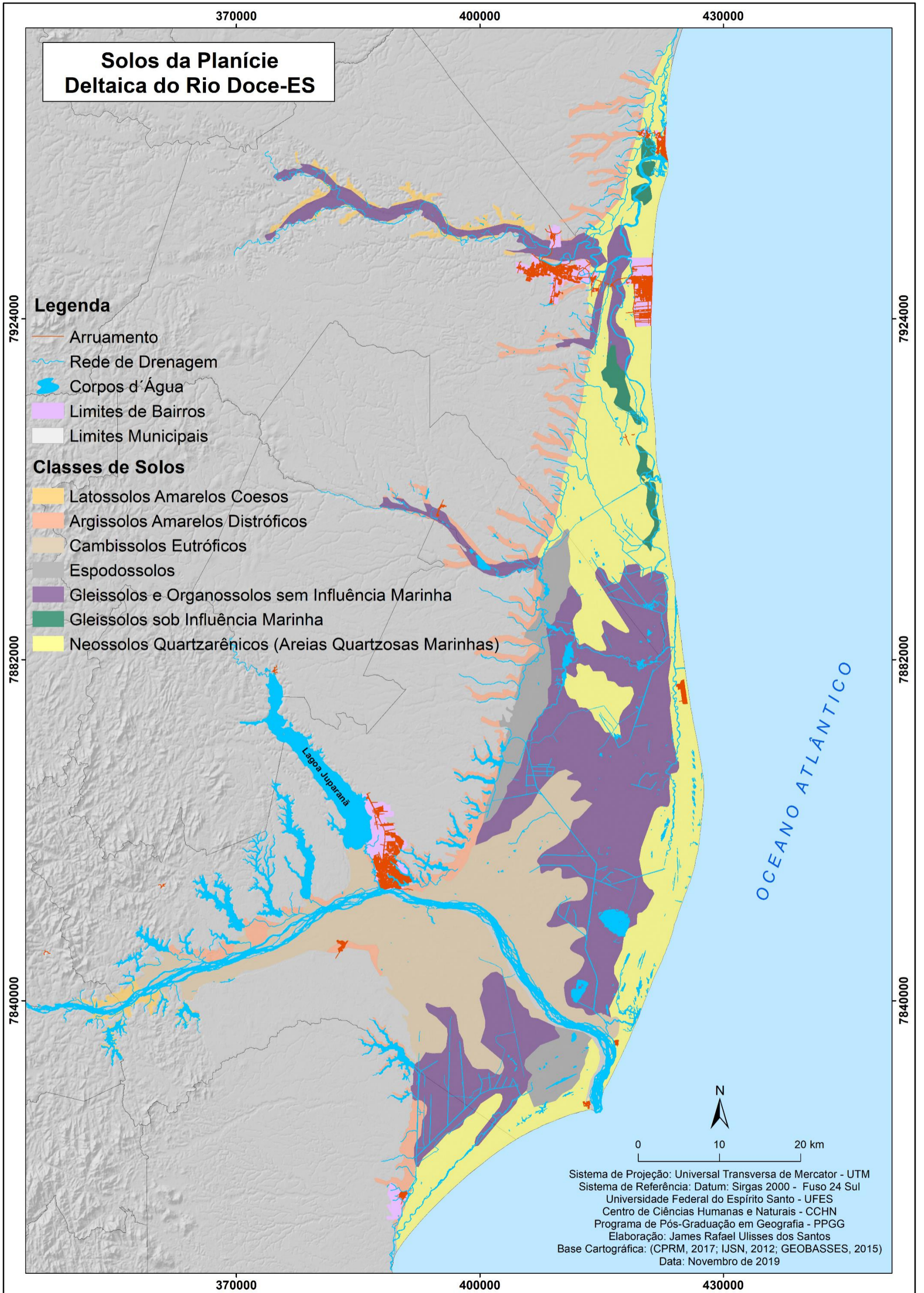
Os Cambissolos na planície deltaica têm características de solos alóctones, que foram provavelmente transportados dos Tabuleiros Costeiros, e depositados nos setores centro-oeste/sul, estando sobre as feições morfológicas dos terraços fluviais, planície interdistributária e paleocanais fluviais. Abrange uma extensão aproximada de 601km<sup>2</sup>, representando um percentual de 20,51%, nas porções de relevo suave ondulado e ondulado. Os setores com essa classe de solos são os únicos da área de estudo com vegetação natural (fragmentos de vegetação da Mata Atlântica).

Essa mancha da classe de Cambissolos se distribui sob vegetação natural, razão pela qual a própria impossibilita a atividade agropecuária. No entanto, podem ser encontrados sob os mais diferentes usos agrícolas apesar da sua pouca espessura, material pedregoso e baixa saturação que impõem elevadas limitações para a agricultura. Em regiões com relevo de declividades mais acentuadas são destinados à pecuária ou reflorestamento (LEPSCH, 2011).

Os Gleissolos e Organossolos, sem influência marinha, estão dispostos principalmente na porção centro-sul e noroeste da planície deltaica, sobre as feições geomorfológicas planícies fluviomarina e fluviolagunar, o que representa 909,47 km<sup>2</sup> e 31,03% da área. Essas classes de solos encontram-se sobre relevo plano ou com suave ondulação, correspondendo aos setores com as menores altitudes e declividades. A forma de uso e cobertura da terra predominante é pastagem, sendo justificada pela expressiva atividade pecuária extensiva.

Os Gleissolos são encontrados com maior frequência nas várzeas, permanecendo a maior parte do ano encharcados (saturados por água). Essa saturação por longo período de tempo propicia o desenvolvimento de uma coloração peculiar de padrões acinzentados. Seu uso na agricultura, necessita primeiramente passar por um processo de drenagem, além de proteção periódica contra inundações (LEPSCH, 2011; EMBRAPA, 2013; 2018).

Figura 28 - Mapa das classes de solos da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

---

Os Organossolos apresentam uma coloração escura, sendo compostos principalmente de matéria orgânica constituída do elevado acúmulo de restos vegetais, em ambiente onde a decomposição é bastante lenta. São caracterizados com horizonte hístico com mais de 40 cm de espessura ou no mínimo 30 cm, quando exposto direto sobre rocha (LEPSCH, 2011; EMBRAPA, 2013; 2018).

Os Neossolos Quartzarênicos ou Areias Quartzosas Marinhas estão dispostos na planície deltaica em dois setores específicos: ocupam a extensão litorânea da borda deltaica de norte a sul sobre os Cordões Litorâneos Holocênicos (Cristas de Praia), e de norte/noroeste cobrindo os setores que correspondem aos Cordões Litorâneos Pleistocênicos. O uso da terra é composto por brejo, pastagem e vegetação de restinga. Essa classe de solos abrange cerca de 835,23 km<sup>2</sup> o que corresponde a 28,50% do total da área.

Os Neossolos Quartzarênicos, sob influência marinha quando em contato com o lençol freático, denomina-se de Areias Quartzosas Hidromórficas. São encontradas nas planícies de inundação dos rios. Em regiões costeiras, as Áreas Quartzosas existem com ou sem influência marinha, apresentando um horizonte A incipiente (Ai) e sendo localizados na zona costeira abaixo da vegetação de restinga e das dunas fixas (GUERRA; BOTELHO, 2011).

Outras classes de solos também foram identificadas na planície deltaica, tais como a dos Argissolos Amarelos Distróficos, Latossolos Amarelos Coesos e Espodossolos. Destaca-se a última classe, que apresenta duas manchas principais de solos que ocupam aproximadamente 149,98 km<sup>2</sup>, equivalendo a 5,12% da área.

## **5.5. Drenagem e uso dos recursos hídricos**

Os aspectos topográficos do Estado do Espírito Santo indicam que as altitudes mais elevadas são identificadas no interior do Estado, porém não regularmente são observadas altitudes de forma decrescente e paralelas à direção da linha de costa. Desse modo, as formas de relevo com características escalonadas exercem um controle estrutural sobre padrões de drenagem (Figura 29) e na disponibilidade hídrica (IEMA, 2004; COELHO, 2007; 2019).

No que concerne à disponibilidade total de água por setores da bacia hidrográfica do rio Doce, o setor que compreende o canal principal é o que detém as maiores demandas na bacia. A conjunção de atributos naturais como a própria



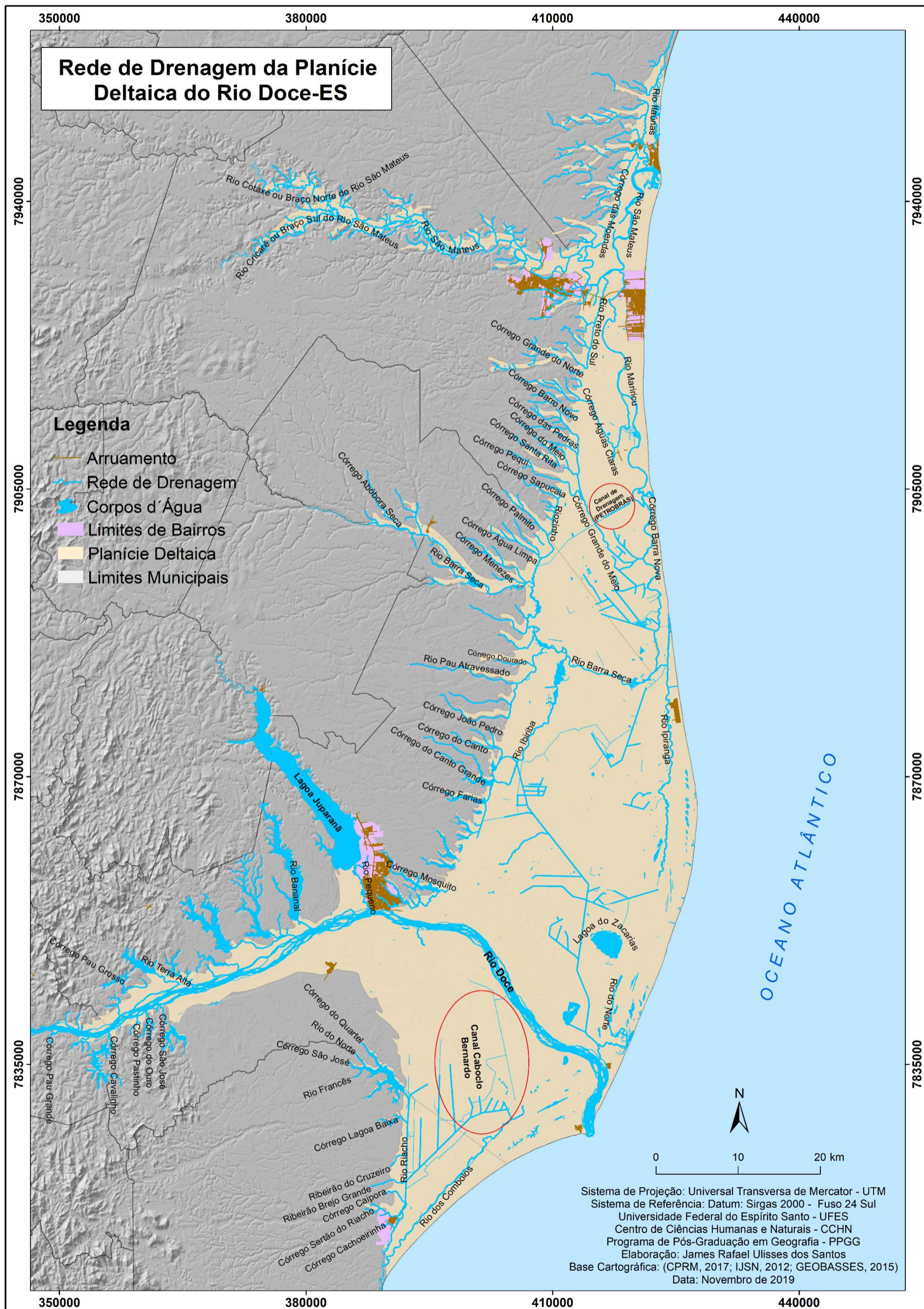
---

configuração da bacia, com menor dimensão (área) e captação das águas pluviais neste segmento, contribui para a formação de cursos d'água pouco expressivos e de baixa vazão, resultando em volume de água total reduzido (ANA, 2005, COELHO, 2009, 2019).

Conforme Coelho (2019), baseado em dados da série histórica de vazão, além das mudanças climáticas, que tem alterado o regime pluviométrico em várias regiões do Brasil e do mundo, a bacia do rio Doce apresentou uma redução significativa na vazão hídrica no Espírito Santo, em decorrência de variados fatores antrópicos, como ocupação e devastação das matas nativas, durante as décadas do chamado ciclo madeireiro, implantação de ferrovias, mineração, silvicultura com o plantio de eucalipto, sistema de irrigação, agropecuária, processo de urbanização dentre outros. Além desses usos, ressalta-se as ações realizadas diretamente no canal causando mudanças na dinâmica fluvial, como a construção de barragens e/ou transposição (RAMOS, 2012; COELHO, 2019).

Com relação a dinâmica fluvial, a redução nas taxas de vazão, devido à grande demanda, poderá acarretar o aumento de alterações morfodinâmicas, a médio e longo prazo, na extensão do canal principal. A exemplo tem-se a diminuição da quantidade de sedimentos transportada e depositada na foz, levando a maior perda que reposição de material carregado, o que intensifica a erosão costeira (COELHO, 2009).

Figura 29 - Mapa da Drenagem da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

### **5.5.1. Os canais de drenagem nas várzeas do rio Riacho (setor sul da planície deltaica do rio Doce): usos e finalidades.**

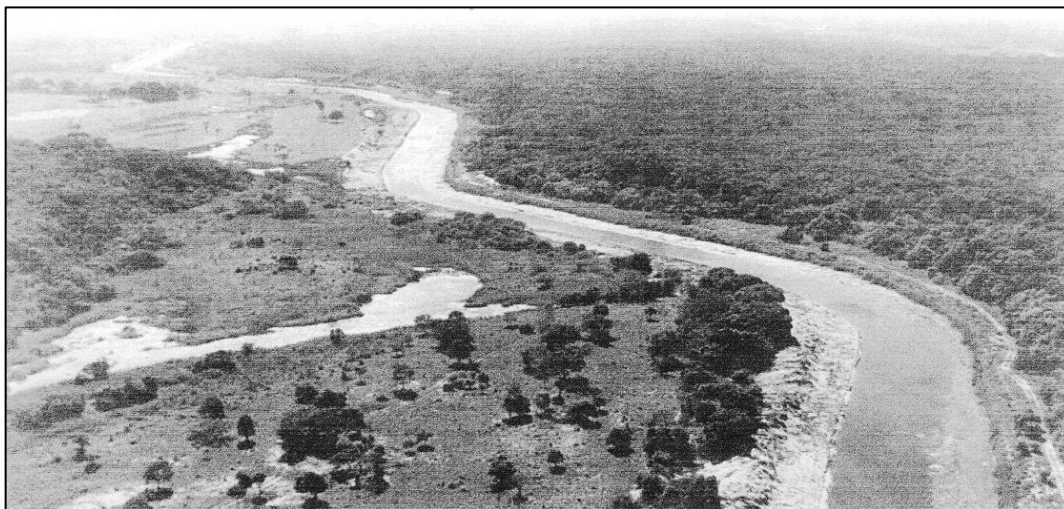
A configuração da rede de drenagem atual da planície deltaica indica a influência de transformações históricas que ocorreram nos canais fluviais, sobretudo, entre as décadas de 1960 a 1990, com a construção de canais artificiais para fornecimento de água a indústria de celulose. Fato que acarretou em mudanças socioambientais na paisagem local (Figura 30).

As alterações ocorreram principalmente no setor sul, no limite dos municípios de Linhares e Aracruz. A obra tinha como escopo inserir o Espírito Santo no processo desenvolvimentista pelo qual o Brasil estava passando à época, com isso, pretendendo viabilizar a modernização da agricultura capixaba. No entanto, uma das finalidades da obra era fornecer água para a Aracruz Celulose (atual Fibria), esta que, atualmente, ainda exerce o controle das águas dos canais do rio Riacho para abastecer seus reservatórios (REBELLO, 2012).

O rio Riacho e seus tributários tiveram suas várzeas modificadas com a construção de canais artificiais, de maneira que, depois das terras serem drenadas e preparadas, foram repartidas em propriedades destinadas a produção agrícola. A escolha dessa área deu-se em razão da sua proximidade e ligação com rodovias estaduais e a rodovia federal BR-101, que assim, viabilizaria o escoamento da produção. Um fator importante é que, na época já se começava implantar a eletricidade rural, tornando a região mais atrativa (MENDES, 1978; REBELLO, 2012).

Uma ação conjunta da Aracruz Celulose com as prefeituras dos municípios de Linhares e Aracruz formaram uma parceria para contratar um consórcio de empresas de consultoria com a intenção de resolver o problema das terras alagadiças. Na época, a proposta indicada pelos consultores levava em conta a antiga outorga de água promulgada pelo Ministério de Minas e Energia, conforme a Portaria 210, de 22 de fevereiro de 1974, a qual autorizava a retirada de até 10 m<sup>3</sup> (dez metros cúbicos) por segundo de água do rio Doce (REBELLO, 2012).

Figura 30 - Vista panorâmica do canal de drenagem Caboclo Bernardo, que liga o rio Riacho a indústria da antiga Aracruz Celulose (atual Fibria).

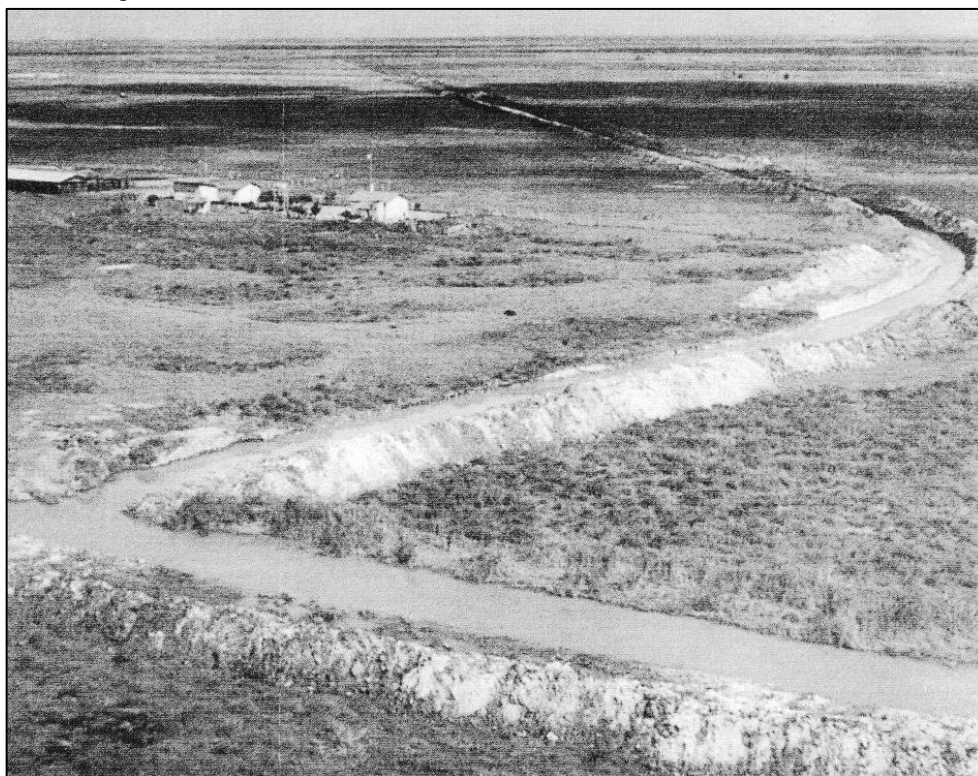


Fonte: Aracruz Celulose S.A (2000). Extraído de Rebello (2012).

Para tanto, como solução para resolver o problema da baixa vazão em decorrência dos críticos períodos de secas cíclicas da região, foi apresentado um projeto que aumentaria a disponibilidade hídrica da bacia do rio Riacho nos municípios de Linhares e Aracruz, aproveitando a estrutura dos antigos canais do DNOS, para transpor as águas do rio Riacho, por meio da construção de um novo canal, sendo este denominado de canal Caboclo Bernardo (Figura 31). No entanto, esse canal não foi construído para atender ao setor agropecuário, mas sim a indústria da Aracruz Celulose (COELHO, 2007; REBELLO, 2012).

O objetivo central do projeto era aumentar a disponibilidade hídrica nos municípios supracitados para com isso, fortalecer a região de maneira sustentável afim de promover um desenvolvimento econômico e social a partir da captação de água a jusante da margem direita do rio Doce no município de Linhares, aproveitando a estrutura existente dos antigos canais de drenagem artificiais do DNOS (CENTRO DE ESTUDOS AMBIENTAIS, 1999; REBELLO, 2012).

Figura 31 - Na imagem observa-se o trecho onde o rio Riacho é conectado ao canal Caboclo Bernardo.



Fonte: Aracruz Celulose S.A (2000). Extraído de Rebello (2012).

O projeto de transposição de parte das águas da bacia hidrográfica do rio Riacho que culminou na ligação entre o rio de mesmo nome ao canal de drenagem artificial Caboclo Bernardo, foi uma das obras de engenharia mais antagônicas da região norte do Estado do Espírito Santo. Essa obra causou impactos ambientais e sociais, além de ter alterado significativamente a paisagem da região.

A situação mais atual de como se encontra o canal Caboclo Bernardo é representada nas imagens abaixo. Na Figura 32 observa-se que as margens estão desprotegidas, sem a presença de matas ciliares e/ou vegetação ripária, isso acarreta em solapamento das margens, resultando em assoreamento do leito, conseqüentemente deixando o canal mais largo e raso. Já na Figura 33, nota-se que houve uma tentativa de contenção da erosão das margens por meio de colocação de barras metálicas (verticais), essa técnica pode funcionar apenas de forma paliativa.

Figura 32 - Vista parcial do canal Caboclo Bernardo.



Fonte: PERINI, J.C.F (2011).

Figura 33 - Canal Caboclo Bernardo, onde observa-se a presença de barras metálicas para conter a erosão das margens.



Fonte: PERINI, J.C.F (2011).

## 5.6. Declividade

Para Florenzano (2008, p.17), “declividade é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal. Ela pode ser expressa em graus ou em porcentagem”. Desse modo, todos os métodos empregados para análise do território, que tem por base a modelagem numérica dos aspectos naturais ou decisões lógicas, têm a declividade como variável indispensável (VALERIANO, 2008).

A análise da declividade das vertentes/encostas permite demonstrar a disposição das inclinações de uma superfície do terreno na paisagem, além de ser uma variável relevante na análise do balanço morfogênese/pedogênese, visto que a inclinação das vertentes é um aspecto que contribui para sua instabilidade, motivada pelo elevado fluxo pluviométrico superficial, que pode ter como consequência o desenvolvimento de processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa (SILVEIRA et al., 2006).

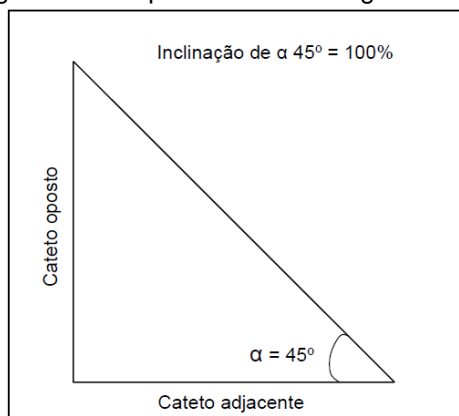
Segundo Silveira et al. (2006), a compreensão do ângulo de inclinação da declividade é imprescindível, pois quanto maior o ângulo, mais rápida será a energia potencial das águas pluviais convertida em energia cinética, o que acelera a velocidade dos corpos d’água e sua competência de deslocamento. Estes processos favorecem o surgimento de processos erosivos, responsáveis pelo modelado das formas de relevo (morfogênese). A declividade das vertentes pode ser expressa em graus por meio da relação trigonométrica:

$$\text{Tangente } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}}$$

Na qual a distância horizontal entre dois pontos representa o cateto adjacente e a distância vertical corresponde ao cateto oposto.

Logo o valor absoluto de 100% de declividade é equivalente ao valor do ângulo ( $\alpha$ ) de 45° de inclinação (Figura 34). A *Diferença de Nível* é a distância vertical entre o plano de referência e a cota (altitude) de um ponto no terreno, sendo por consequente, *Declividade* a relação entre a Diferença de Nível e a Distância Horizontal (SILVEIRA et al., 2006), como demonstrado na Equação 6 abaixo:

Figura 34 - Esquema representativo de uma vertente no triângulo retângulo pela correlação trigonométrica para calcular o ângulo de inclinação.



Fonte: Elaborado por Silveira et al. (2006).

Equação 6 - Fórmula da Declividade.

$$d\% = \frac{DN}{DH} \times 100 \quad \text{Eq.6}$$

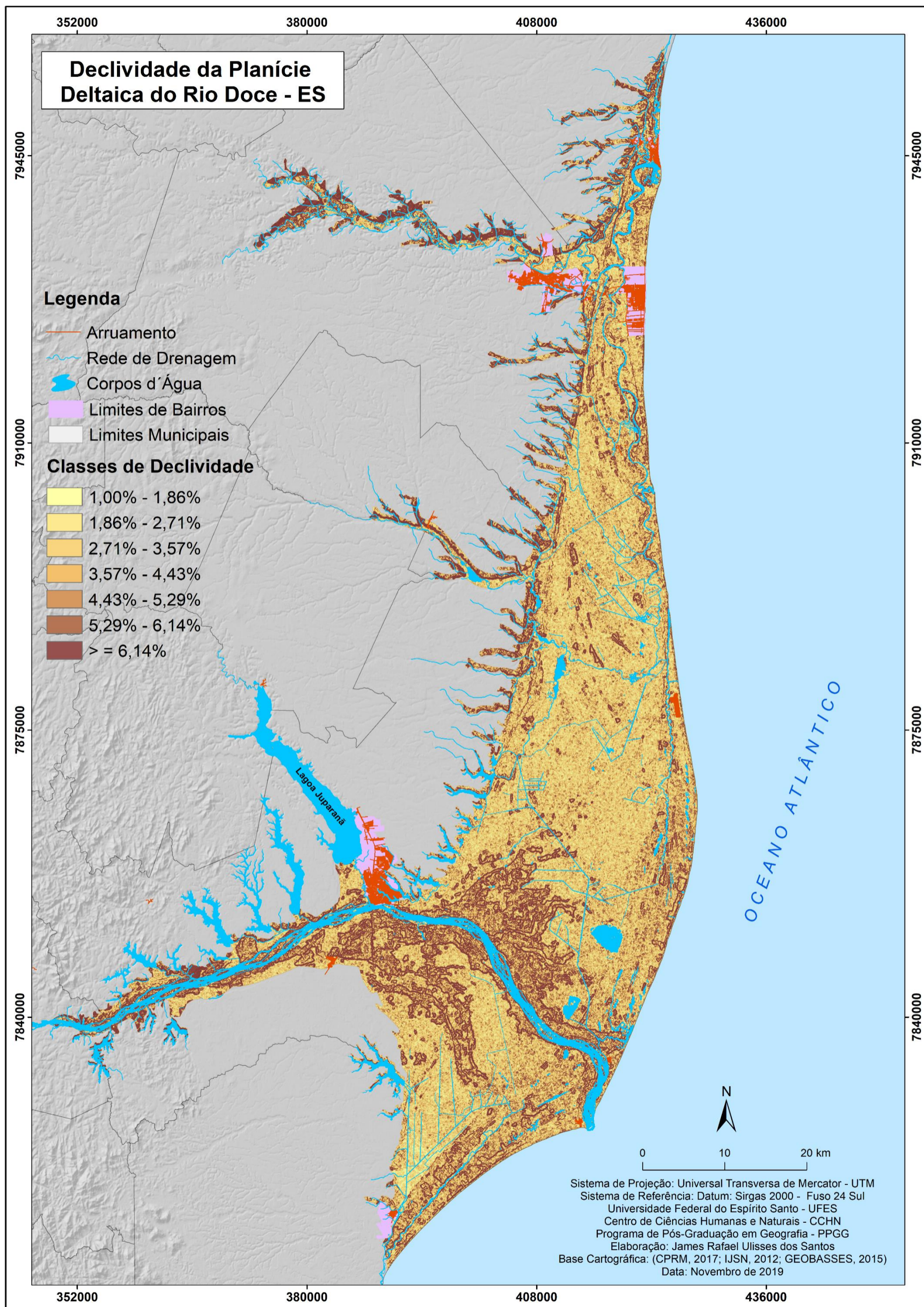
Uma das mais típicas formas de representar a declividade do relevo é por meio de produtos cartográficos, ou seja, mapas que são apresentados em classes agrupadas com intervalos que podem variar conforme o objetivo proposto e aos aspectos naturais da paisagem analisada.

A distribuição e o comportamento espacial das classes de declividade da planície deltaica são demonstrados no mapa (Figura 35). Conforme se evidencia, por se tratar de um ambiente deltaico o ângulo de inclinação das classes de declividade são pouco acentuados, devido ao relevo praticamente plano ou suave ondulado. Sendo assim, iniciando dos setores mais planos para os mais ondulados, as classes tiveram os seguintes intervalos: 1,00% - 1,86%, 1,86% - 2,71%, 2,71% - 3,57%, 3,57% - 4,43%, 4,43% - 5,29%, 5,29% - 6,14% e  $\geq 6,14\%$ .

As menores declividades foram registradas nas porções da planície que correspondem as feições (subambientes deltaicos) geomorfológicas das planícies fluviomarinhas e fluviolagunares, já as maiores declividades foram verificadas nos terraços fluviais, na planície Interdistributária, paleocanais fluviais e nos cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos.



Figura 35 - Mapa da declividade (clinográfico) do delta do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 5.7. Altimetria (hipsometria)

A altimetria ou hipsometria é a representação do relevo através das curvas de nível, sendo uma importante variável de análise devido às informações quantitativas as quais representa. As curvas de nível são linhas que, em intervalos equivalentes, conectam pontos de mesma altitude, e tendo a cota zero como o nível médio do mar. Sua equidistância varia conforme a escala cartográfica do mapa (IBGE, 2009).

Para tanto, em escala de 1:50.000 é mais habitual que se adote equidistância de 20 metros, na escala de 1:200.000, é mais frequente utilizar as curvas de nível com intervalos de 100m. Para escalas menores, como mapas em escala de 1:1.000.000, os intervalos das curvas de nível são variados. A variabilidade de escala dos mapas é indispensável pois formas de relevo com altitudes menores podem não ser contempladas no grupo das terras baixas, e as curvas de nível muito juntas iriam sobrecarregar o traçado em regiões de elevadas altitudes (IBGE, 2009).

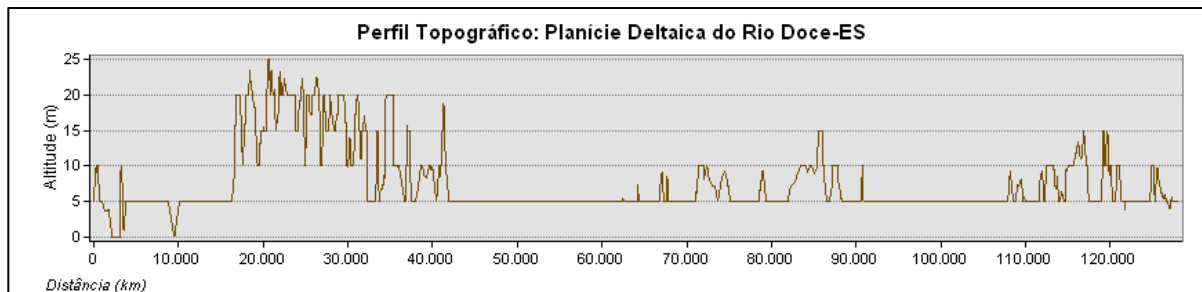
Um outro artifício adotado para representar as feições morfológicas, derivado de informações quantitativas presente em um mapa de curvas de nível, é o perfil topográfico. O traçado do perfil sobre o mapa nos dá uma noção de maior percepção das feições do relevo na área escolhida, e assim, o traçado pode ser realizado seguindo o curso dos vales fluviais ou perpendiculares a estes, conforme o objetivo do estudo. Geralmente, o traçado é feito em linha reta, podendo ser também representado em segmentos associados a áreas de interesse exclusivo, a exemplo de estradas de rodagem e/ou da rede de drenagem (IBGE, 2009).

A hipsometria, quando representada através de mapas temáticos ou de perfis topográficos, torna-se um recurso importante para o reconhecimento e análise de superfícies delineadas em patamares altimétricos previamente determinados. O mapa, e principalmente o perfil topográfico, quando reproduzidos em escala de detalhe, são cabíveis de análises quantitativas mais precisas no que concerne à extensão de interflúvios, aprofundamento da drenagem e a declividade das vertentes. Estas informações complementam as já existentes de cunho qualitativo no estudo da evolução geomorfológica/relevo (IBGE, 2009).

Para a área de estudo, foi elaborado o perfil topográfico traçado teve início no setor sul, percorrendo todo a sua extensão até o setor norte. Assim, podem ser evidenciadas as irregularidades superficiais, as quais se alinham com as feições

morfológicas da planície deltaica, além das altitudes alcançadas e das distâncias atingidas (Figura 36).

Figura 36 - Representação do perfil topográfico traçado de sul a norte da planície deltaica do rio Doce.

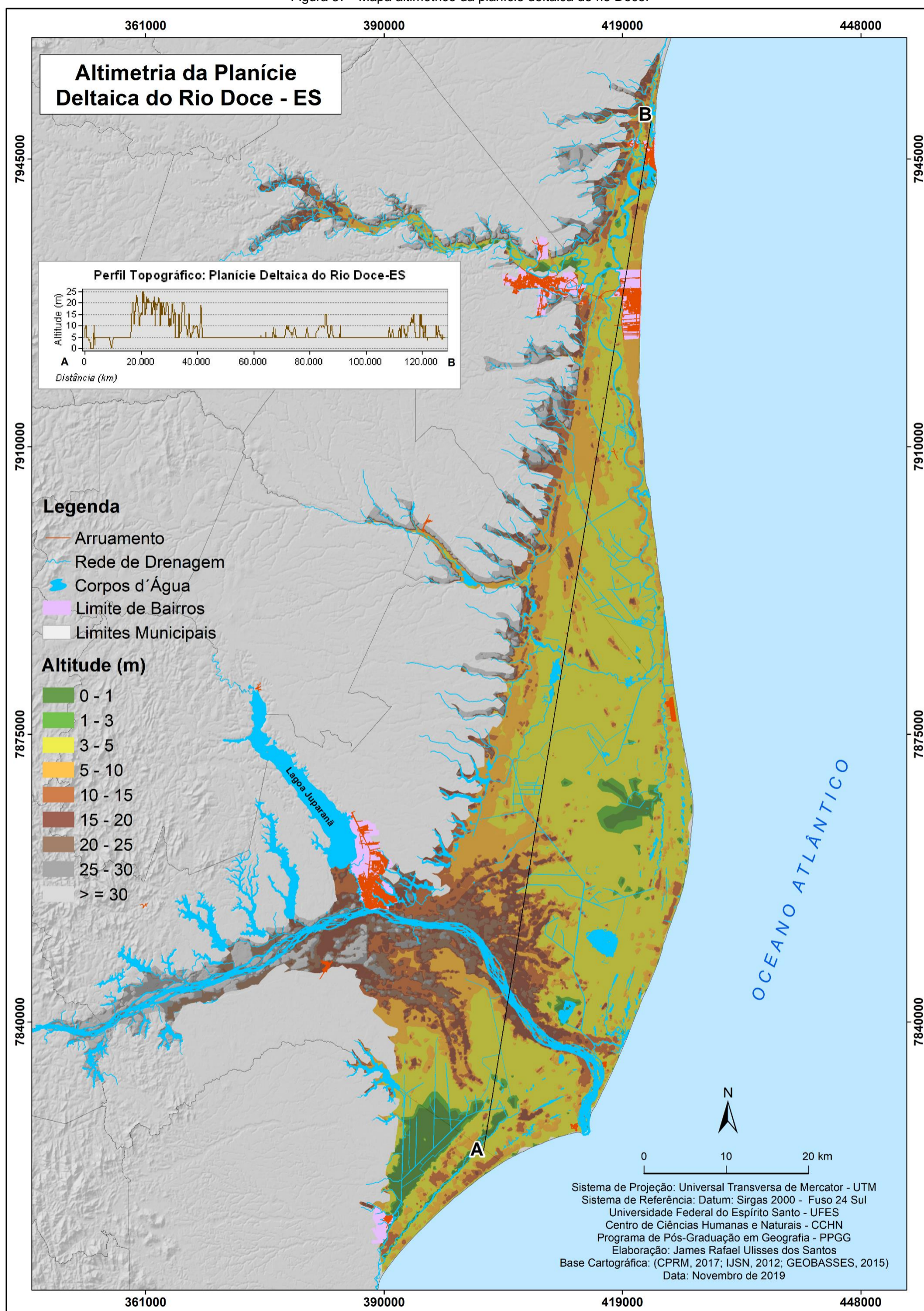


Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

Sabemos que “a hipsometria representa o terreno (relevo) em termos de altitude, acima ou abaixo de um plano de referência, seja em curvas, em sombreado ou em cores” (SANT’ANA; GARBIN, 2019.p 58). A Figura 37 representa o mapa altimétrico da planície deltaica, com a espacialização das diferentes altitudes topográficas ou das formas de relevo.

As menores altitudes, de 0m a 5m, foram verificadas ao longo de toda extensão que compreende às planícies fluvioamarinhas, as planícies fluvioalagunares e os cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos (cristas de praia), representadas nas cores verde escuro, amarelo escuro e claro. As altitudes intermediárias, 5m a 15m, correspondem principalmente às planícies interdistributárias, aos paleocanais fluviais e aos terraços fluviais, nas cores amarelo claro a laranja escuro. As porções com as maiores altitudes, 20m a > 30m, extrapolam a área de estudo, alcançando os tabuleiros costeiros e parte da região serrana do Espírito Santo.

Figura 37 - Mapa altimétrico da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 5.8. Batimetria

### 5.8.1. Plataforma continental interna

A plataforma continental defronte à costa do Estado do Espírito Santo foi determinada por França (1979), conforme dois compartimentos fisiográficos: o Bahia-Espírito Santo, que vai de Belmonte (BA) até Regência (ES) e o embaçamento de Tubarão, que inicia em Regência e termina em Itapemirim (ES). O primeiro compartimento apresenta como aspectos, uma plataforma com largura média de 230 km, sendo consequência de atividades vulcânicas que originaram o arquipélago e o Banco (oceânico) de Abrolhos (ALBINO, 1999).

A zona mais interna do banco, até a isóbata de 20 m, é marcada por uma topografia suave devido ao aporte de sedimentos terrígenos holocênicos. A porção intermediária, entre as isóbatas de 20 m e 50 m, apresenta-se com topo plano e declividade média de 45 cm/km e a parte externa, entre as isóbatas de 50 m a 80 m, comporta-se de forma mais íngreme com 80 cm/km. Já para o último setor, constata-se pequenos bancos, entrecortados por estreitos canais de paredes escarpadas. Pressupõe-se que os segmentos de topo destes canais tenham sido preenchidos pelos escassos, mas constantes, sedimentos da contribuição fluvial. São também consideradas inúmeras edificações biogênicas, com predominância de algas calcárias e corais (FRANÇA, 1979; ALBINO, 1999).

No segundo compartimento, a plataforma apresenta-se significativamente estreita, tendo uma largura média aproximada de 50 km e mínima de 40 km, nas adjacências de Santa Cruz, que fica a 45 km ao norte de Vitória. Neste trecho são evidenciadas ravinas subparalelas que se prolongam por cerca de 40 km ao sul de Regência, sendo incisões delgadas e expressivas na plataforma, ao nível da isóbata de 60m. Provavelmente estes vales estreitos teriam facilitado a movimentação submarina da carga sedimentar do rio Doce (FRANÇA, 1979; ALBINO, 1999).

No que concerne a composição mineralógica dos sedimentos, a plataforma continental é revestida principalmente por sedimentos carbonáticos, com teores de Carbonato de Cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) superiores a 75%. Nesse revestimento sedimentar da plataforma continental de Salvador até Vitória, foram identificadas dez assembleias de bioclastos, com prevalência de algas coralinas, briozoários, moluscos e

---

foraminíferos bentônicos (KOWSMANN; COSTA, 1979; MELO et al., 1975; ALBINO, 1999).

### **5.8.2. Características batimétricas da plataforma continental interna associada à planície deltaica do rio Doce?**

A batimetria da plataforma continental interna nas adjacências da planície deltaica do rio Doce, da praia de Povoação até Barra do Riacho indicam que as isóbatas seguem o contorno da linha de costa, e apresentam-se orientadas caoticamente nas proximidades de Barra do Saí à Baía de Vitória. Próximo a foz do rio Doce, as isóbatas estão dispostas linearmente, seguindo a orientação da linha de costa. Da desembocadura do rio ao litoral norte, a isóbata de 10 m situa-se a cerca de 5 km da praia (ALBINO, 1999).

Defronte à praia de Comboios, a zona submersa tem uma declividade acentuada, no setor próximo à costa, estando a isóbata de 12 m a menos de 1 km da praia. Em direção ao mar aberto as isóbatas são dispostas linearmente, no sentido do litoral. A configuração das isóbatas, com equidistâncias próximas e lineares a linha de costa, nas imediações da planície deltaica do rio Doce, indica um substrato sedimentar afetado (alterado) pelo efeito da refração das ondas a partir das isóbatas inferiores a 30 m (ALBINO, 1999).

A declividade da *antepraia* tende a aumentar a partir das imediações da praia de Comboios, permanecendo na direção sul até a Baía de Vitória. Acompanhando a isóbata de 20 m pode-se observar que esta encontra-se a uma distância de 10 km da costa na imediação da foz do rio Doce, a 5 km nas proximidades da foz do rio Riacho, a 3 km da foz do rio Reis Magos e a apenas 1,5 km da entrada do Porto de Tubarão (Baía de Vitória). De Barra do Saí a Baía de Vitória, várias morfologias são definidas a partir da isóbata de 30 m, no sentido da linha de costa e costa afora. Na direção da praia as isóbatas apresentam-se mais ou menos lineares e próximas entre si, evidenciando a grande variação de profundidade, a pequena distância (ALBINO, 1999).

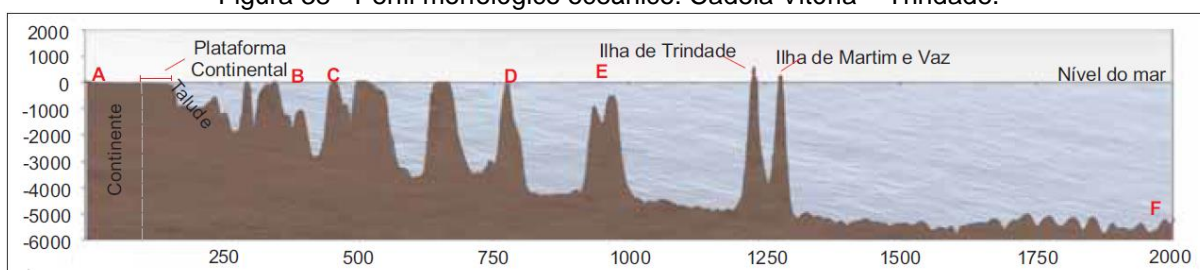
Na zona submersa próxima a linha de costa, a declividade mais acentuada verifica-se nas imediações das praias de Barra do Saí, Potiri e Coqueiral, onde a isóbata de 10 m fica a menos de 1 km da linha de costa. Partindo de Santa Cruz, esta isóbata fica a cerca de 2,5 km da linha de costa e se mantendo nesta distância até a

praia de Bicanga. Nas imediações de Carapebus e Vitória esta isábata torna-se a se aproximar da costa. E a partir de 30 m no sentido costa afora, as isóbatas exibem um fundo submerso dissecado, com ausência de padrão morfométrico definido, indicando a existência de um substrato sólido controlando a morfologia (ALBINO, 1999).

Os mapas e modelos batimétricos tridimensionais do fundo oceânico, podem ser articulados em escalas cartográficas e espaciais, e sendo apresentados em modelos 3D (três dimensões), permitindo, assim, uma melhor visualização e compreensão do comportamento do relevo submarino, a exemplo da costa brasileira. Mapas e Modelos 3D parciais do Oceano Atlântico foram elaborados, usando tecnologia multifeixe, através do projeto: Levantamento da Plataforma Continental Brasileira (LEPLAC) XVI em 2010. Esse levantamento foi realizado numa parceria entre a Marinha do Brasil (DHN/CHM), da seção de geomorfologia e sob coordenação do IBGE (IBGE, 2011).

Alguns trechos da Plataforma Continental Brasileira foram representados em perfis, a exemplo do perfil morfológico/topobatimétrico da cadeia oceânica Vitória - Trindade, (Figura 38), que mostra o traçado, iniciando na linha de costa (plataforma continental interna em 0 m) até a profundidade de -6.000 m e distâncias inicial de 250 km a 2000 km (IBGE, 2011).

Figura 38 - Perfil morfológico oceânico: Cadeia Vitória – Trindade.



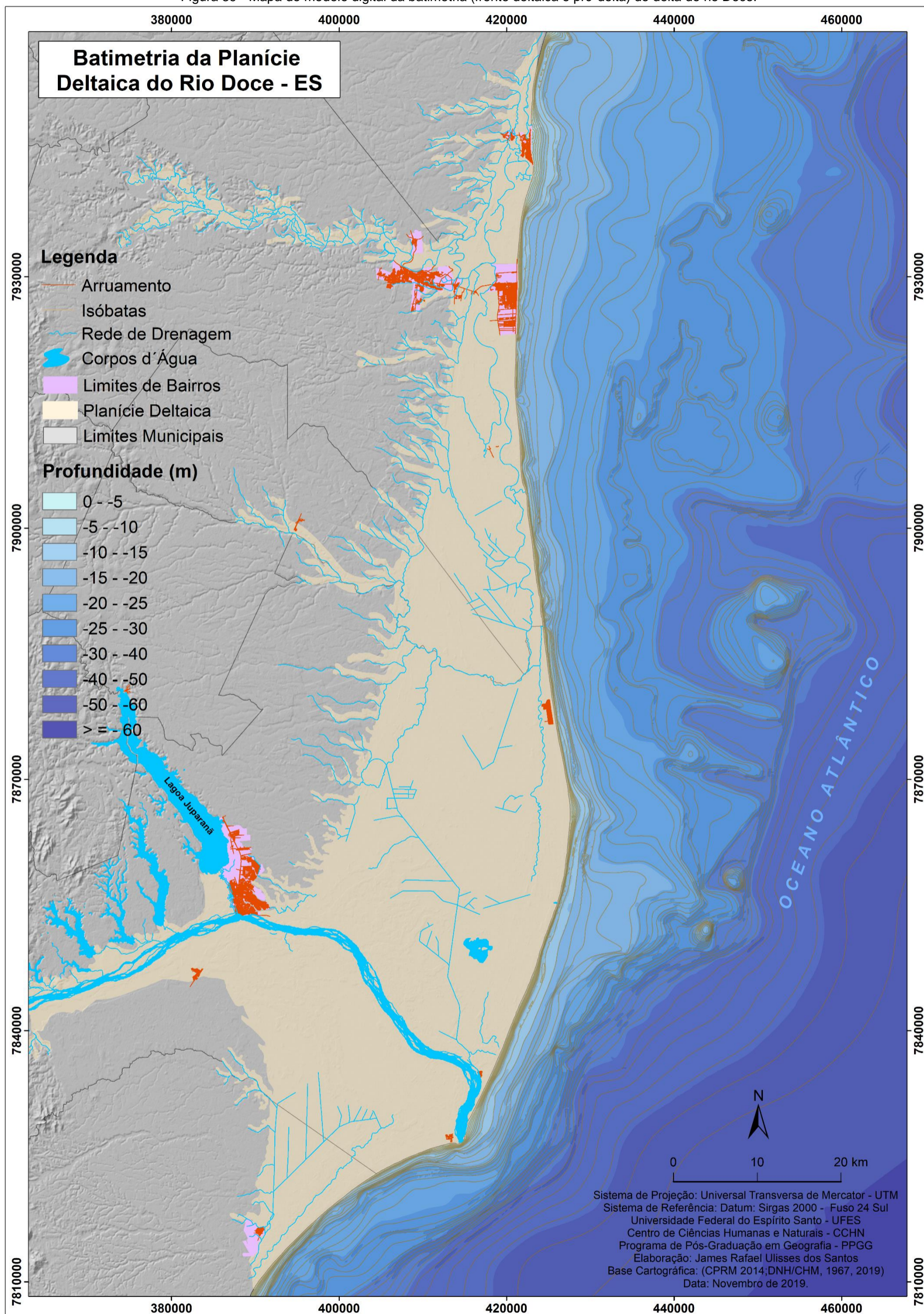
Fonte: USGS (2010). Extraído de IBGE (2011).

As profundidades são indispensáveis para representar a espacialização das isóbatas, permitindo, dessa forma, a visualização da topografia submarina e auxiliando na orientação para a navegação (GAGG, 2016). A Figura 39 reproduz o Modelo Digital de Profundidade (MDP) (Batimétrico), da área de estudo, sendo destacadas as profundidades num gradiente de cores azuis. Os tons mais claros correspondem as menores profundidades (frente deltaica), já os tons mais escuros indicam as maiores profundidades (prodelta). As curvas e os valores batimétricos seguem as mesmas diretrizes representativas das curvas de nível (IBGE, 2011).

Para a área de estudo a posição da frente deltaica, pode ser demonstrado a partir da isóbata de 10m até a de 30m, e o setor de prodelta iniciando na isóbata de 30m até profundidades superiores a 60m. Ressaltando-se que essas profundidades podem sofrer variações (das áreas mais rasas para as mais profundas), devido as irregularidades morfológicas do fundo oceânico, visto que, na porção prodelta podem ser verificados alguns setores com o valor da isóbata inferior ao do seu entorno.



Figura 39 - Mapa do modelo digital da batimetria (frente deltaica e pró-delta) do delta do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 5.9. Topobatimetria

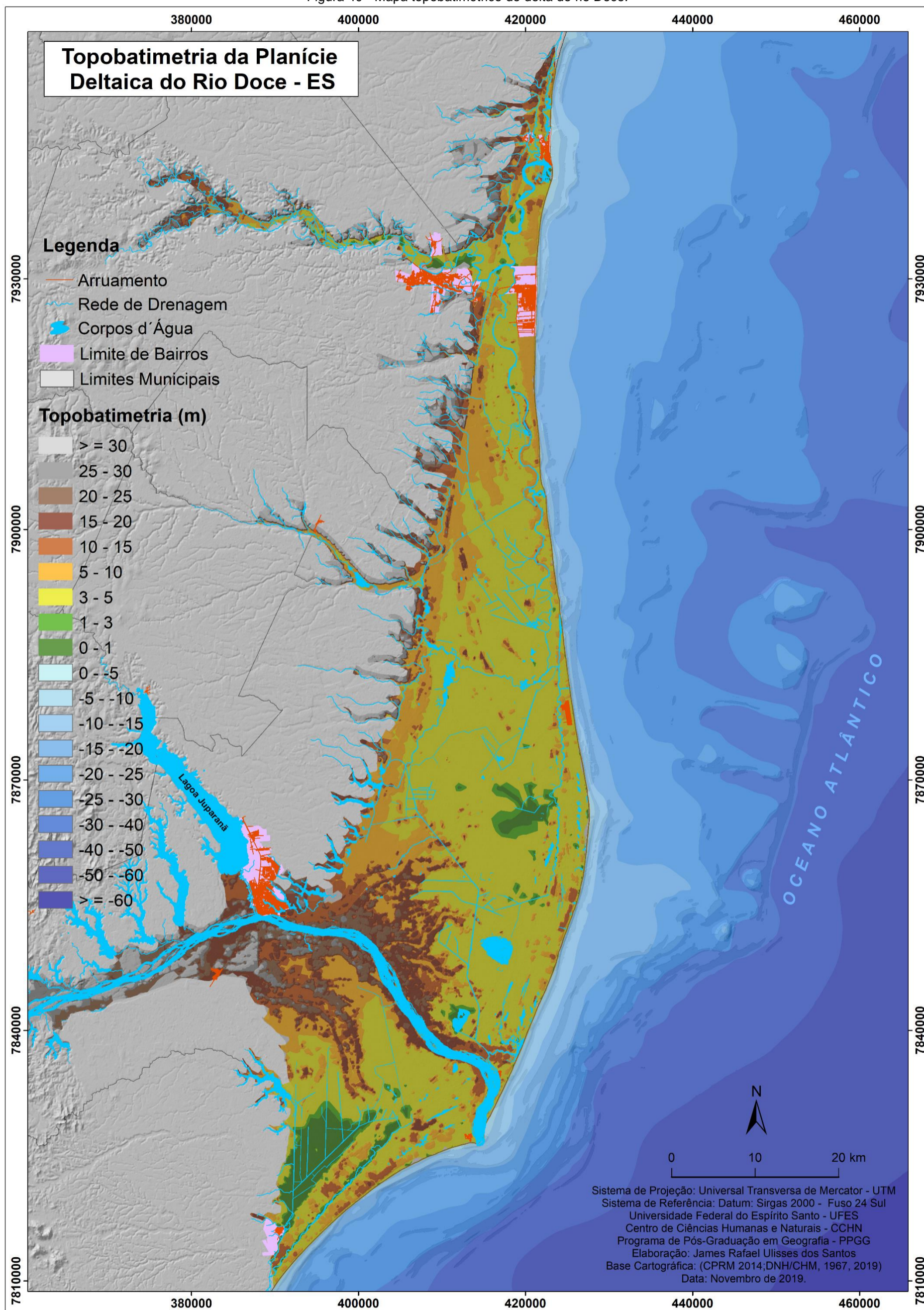
O planeta Terra, em sua maior parte, é coberto pela massa líquida dos oceanos, mares, rios, lagos, lagoas, reservatórios, dentre outros. Sendo assim, quando se soma os espaços preenchidos pelas águas brasileiras, que equivale a 3,5 milhões de km<sup>2</sup> e a extensão da plataforma continental de 963 mil km<sup>2</sup>, a área do Brasil passa a ser 52% maior quando se leva em conta somente a área continental, com 8,5 milhões de km<sup>2</sup>. Alguns trabalhos de campo são realizados nestes ambientes, requerendo por vezes, técnicas e métodos específicos diferentes daqueles efetuados em ambientes terrestres (GAGG, 2016; IBGE, 2016).

Levando em consideração a segurança da navegação, produzir uma cartografia voltada para atividades em regiões submersas torna-se um desafio devido as próprias adversidades específicas para esse contexto. Quanto as cartas náuticas, boa parte delas podem sofrer desatualizações nas suas informações batimétricas em função da dinâmica dos sistemas hídricos, a exemplo do surgimento de processos erosivos e deposicionais em rios, lagos e regiões costeiras (GAGG, 2016; IBGE, 2016).

A integração de dados altimétricos continentais (altitudes) e oceânicos (profundidades ou batimetria) são de grande relevância, principalmente, na perspectiva cartográfica, a exemplo, da avaliação precisa de riscos em ambientes costeiros. Para o cenário brasileiro, essa situação não é satisfatória, tendo em vista a descontinuidade entre os níveis de referência (“zeros”) das elevações disponibilizadas pela cartografia terrestre e das profundidades (isóbatas) fornecidas pela cartografia náutica, sem falar na falta de informações indispensáveis para integração destes referenciais. A diferença entre os referenciais é pertinente para análise de mudanças no nível do mar, fato que dificulta a delimitação, nos mapas, da linha de costa (GAGG, 2016; IBGE, 2016).

O mapa topobatimétrico (Figura 40), representa a união entre a altimetria e a batimetria da área de estudo. Dessa forma, nota-se o limite dos “zeros” entre a porção subárea representada pela planície deltaica e seus subambientes terrestres, e a porção subaquosa que se inicia no ponto divisório com o continente e avança sobre a plataforma continental interna de forma gradual (da menor para maior profundidade), sendo composta pela frente deltaica e o prodelta.

Figura 40 - Mapa topobatimétrico do delta do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 5.10. Uso e cobertura da terra

### 5.10.1. A devastação das matas nativas durante o ciclo madeireiro (1910 a 1960) no médio-baixo rio Doce, Espírito Santo.

O início do processo de supressão da vegetação nativa dessa região ocorreu, de maneira mais expressiva, no médio-baixo curso do rio Doce, nas imediações dos municípios de Linhares e Colatina, onde eram empregadas técnicas e instrumentos primitivos como o machado para o corte das árvores. Com isso, logo após a derrubada, os troncos eram transportados por juntas de bois, ao longo das trilhas (picadas) feitas na mata, que chegando as margens, as toras eram lançadas nas águas do rio Doce, seguindo a correnteza na direção de Povoação, comunidade situada na foz, onde eram levadas de navio para outros lugares do Brasil e do exterior (STRAUCH, 1955; COELHO, 2009).

A retirada inicial da vegetação natural data da primeira metade do século XIX, tratando-se de um período com quase inexistência de estradas apropriadas para o transporte da madeira. No entanto, uma fração das toras ficavam encalhadas nos bancos (sedimentares) arenosos próximos a desembocadura do rio Doce, impossibilitando a chegada até o local de embarque nos navios (BORGIO et al.; 1996; COELHO, 2009).

O chamado ciclo madeireiro, nessa porção do baixo-médio rio Doce, teve seu momento áureo no intervalo que compreende os anos de 1910 a 1960, sendo marcado pelo surgimento de um número expressivo de serrarias nos arredores das matas, desencadeando, assim, no final desse período, o começo do esgotamento das matas da região, devido à expansão dessa prática e dos métodos mais eficazes de corte e carregamento. Como exemplo, destacou-se o município de Aracruz, onde em sua sede (rua principal), tinha mais de 42 serrarias em função da grande reserva de madeira oriunda do vale do rio Doce e norte do Estado do Espírito Santo (BORGIO et al.; 1996; COELHO, 2009).

A degradação das matas a montante de Colatina ocorreu de maneira mais acelerada, principalmente devido ao avanço da estrada de ferro (Vitória-Minas) para o interior. Uma parcela da madeira cortada era levada de trem pela ferrovia e a outra fração era transportada por uma empresa multinacional responsável por sua extração. Esse processo dizimou em menos de quatro décadas boa parte da vegetação natural da região, inclusive as matas ciliares que aos poucos foram sendo substituídas pela

---

cultura agrícola do café e a pastagem. Este processo era estimulado pela implantação da ferrovia e o aparecimento dos primeiros colonos que possibilitaram a prosperidade dos primeiros núcleos populacionais e posterior consolidação dos municípios, como Colatina (BORGIO et al.; 1996; COELHO, 2009).

#### **5.10.2. Panorama atual dos aspectos socioeconômicos da planície deltaica.**

O quadro socioeconômico da planície deltaica do rio Doce, região que compreende os municípios de Aracruz, Linhares, Jaguaré, São Mateus e Conceição da Barra (Figura 41), apresenta os seguintes setores como predominantes: industrial, comércio e serviços e a atividade agropecuária.

O setor industrial tem maior destaque nos municípios de Aracruz e Linhares, com a presença de empresas como a FIBRIA Aracruz, considerada a maior produtora mundial de fibra curta e branqueada de eucalipto (matéria-prima usada para fabricar papel), localizada no município de Aracruz (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

Destacam-se também indústrias como a Brandão Metalúrgica S/A (Brametal), Perfilados Rio Doce, Indústria de Sucos Mais. Além das agroindústrias Ducoco, a Trop Fruit, a Imetame (voltada para a produção de rochas ornamentais), e a multinacional Weg Motores fabricante de motores elétricos da linha branca, em Linhares. O município tem destaque ainda como polo moveleiro (um dos mais importantes do país), que o projeta a nível nacional e internacional (PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020).

A atividade agrícola tem grande expressão na planície deltaica, com destaque para o plantio do café Conilon, sendo a principal cultura agrícola e a que mais contribui como fonte de receita para Aracruz. Nesse município, a cultura do café Conilon ocupa a área de 4.000 hectares, com uma produção anual de cerca de 120 mil sacas (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

O município de Jaguaré é o maior produtor de café Conilon do Estado do Espírito Santo (com projeção nacional e internacional), ocupando uma área de cultivo entre 20.000 ha e 22.000 ha, sendo mais de 85% da área cultivada com sistema de irrigação. O café no município responde por mais de 80% da renda bruta (anual) dos agricultores, além de gerar dezenas de empregos diretos e indiretos durante o período de colheita (IBGE, 1998, 2004; INCAPER, 2011).

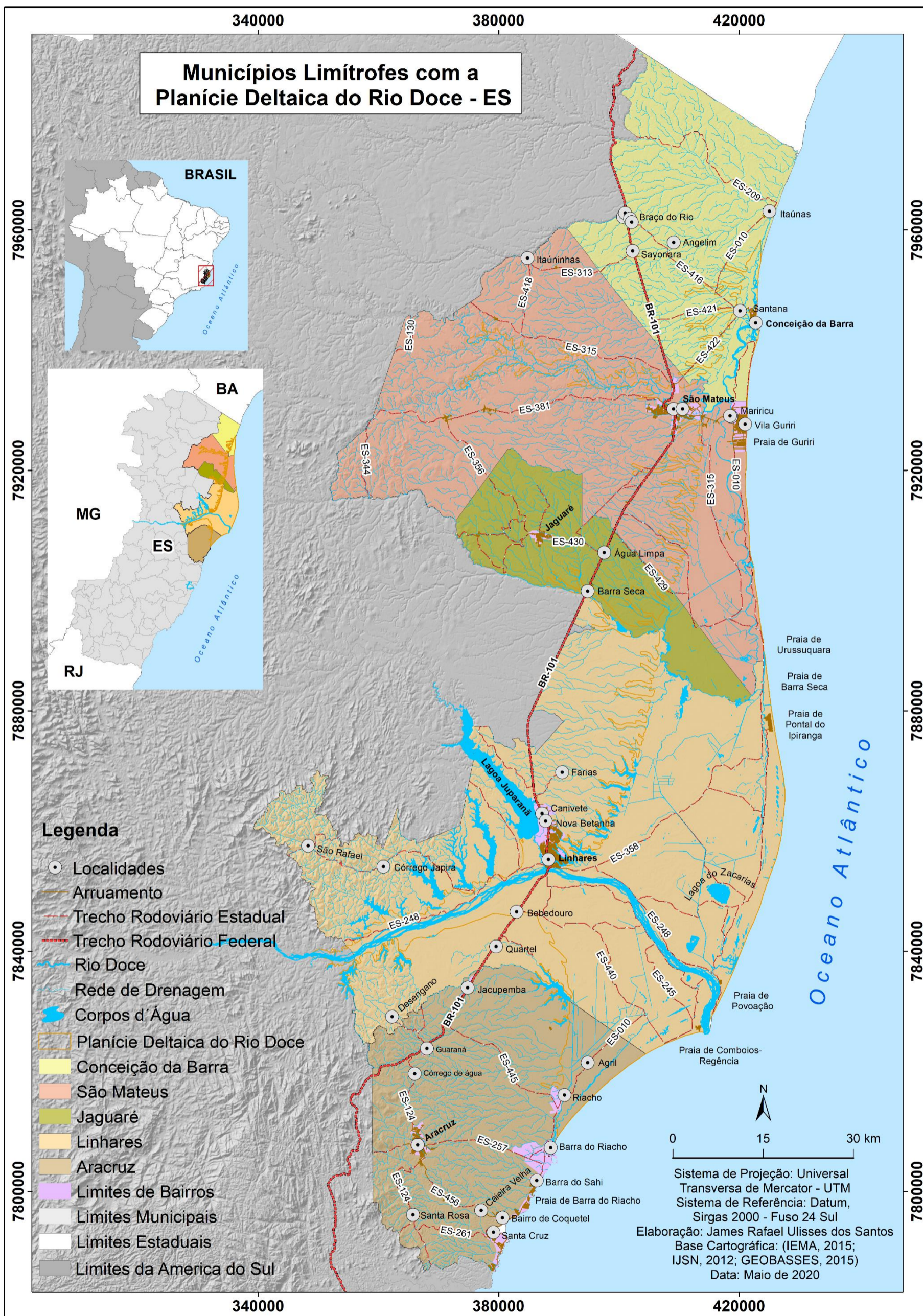
A região norte do Estado do Espírito Santo apresenta solos férteis, ideais para a prática de culturas perenes, além de relevo plano e suave ondulação. Devido à necessidade de produção de alimentos (grãos) para o abastecimento interno e ainda pela proximidade aos grandes centros urbanos consumidores, houve a necessidade do plantio de culturas agrícolas temporárias anuais como: milho, feijão, mandioca e cana-de-açúcar (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

Nesse sentido, a fruticultura é uma atividade agrícola que apresenta um forte crescimento, contribuindo significativamente para o desenvolvimento dos municípios, por exemplo, município de Aracruz produz mamão, coco, banana, maracujá e cacau, sendo estes cultivos praticados em grande parte por agricultores familiares. Entretanto, dois problemas são evidenciados na cultura do cacau: a baixa produtividade e a vassoura de bruxa, doença que elimina as plantações (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

O cultivo de frutas, sobretudo para o mercado externo, é outra atividade agrícola de grande expressão em alguns municípios inseridos na planície deltaica, como o caso de Linhares que detém o título de maior exportador brasileiro de mamão papaya, principalmente para os Estados Unidos e Europa (PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020).

O município de Jaguaré se tornou competitivo na produção agrícola de frutas, com mamão e maracujá, destinando sua produção para a fábrica de polpa de frutas Trop Brasil, em Linhares. Uma cultura que tem manifestado interesse por parte de alguns agricultores é a de abacaxi, sobretudo, pela boa fertilidade dos solos e das condições climáticas favoráveis. A fruticultura atingiu o segundo lugar na atividade agrícola, gerando emprego e renda no município, sendo frutas cultivadas por médio e grandes produtores. Outras culturas agrícolas também estão presentes como o feijão, milho e mandioca (IBGE, 1998, 2004; INCAPER, 2011).

Figura 41 - Mapa dos municípios que se conectam com a área de abrangência da planície deltaica do rio Doce.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

---

Em São Mateus, os principais produtos agrícolas são o café e a noz-macadâmia, comercializados tanto no mercado interno, sendo em boa parte provenientes da agricultura familiar e de origem orgânica, e estados vizinhos (Rio de Janeiro, Bahia e Minas Gerais), como para o mercado exterior (INCAPER, 2011). Já o município de Conceição da Barra tem sua economia voltada para a monocultura da cana-de-açúcar, principalmente para a produção de etanol, e do plantio de eucalipto. Atrelado à extração de eucalipto ocorre a produção de carvão vegetal, sobretudo, nas comunidades quilombolas e assentamentos rurais (INCAPER, 2011).

Na agricultura, o município se destaca também na produção de café Conilon, pimenta do reino, mandioca e seus derivados (farinha, beiju e tapioca), além de milho e feijão. Na fruticultura evidencia-se as culturas de côco-anão, maracujá, mamão, abacaxi, graviola, acerola, mangaba, caju e banana (INCAPER, 2011). Ressalta-se que Jaguaré é o segundo maior produtor de pimenta do reino do Espírito Santo, particularmente nas pequenas propriedades de plantio por meio da mão-de-obra familiar (IBGE, 1998, 2004; INCAPER, 2011).

A pecuária em Linhares e Aracruz caracteriza-se pela criação de gado de leite e corte. A pecuária leiteira em Aracruz concentra-se nas comunidades de Santa Rosa, Mucurata e Biriricas, e todo o rebanho do município gira em torno de 40.000 cabeças. No município de Conceição da Barra destaca-se a criação de gado leiteiro, principalmente com a implementação de sistemas rotativos de pastagem, contribuindo para o aumento da produção (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

Em Aracruz são ainda evidenciadas atividades como aquicultura, tanto em ambiente marinho como continental (piscicultura), com a criação intensiva e/ou extensiva, já Conceição da Barra, tem um potencial para a atividade pesqueira nos estuários e mangues das fozes dos rios São Mateus e Itaúnas cuja as espécies aquáticas representam um verdadeiro berçário natural de peixes, moluscos e crustáceos. Nestas regiões há a captura do camarão sete-barbas e do verdadeiro, principalmente, isso torna Conceição da Barra um importante centro pesqueiro da região sudeste (IBGE, 1998; INCAPER, 2011).

Na planície deltaica dois municípios têm expressão no setor petrolífero, Linhares e São Mateus. No caso do primeiro, destaca-se com as jazidas exploradas pela Petrobrás, devido a implantação da Unidade de Tratamento de Gás de Cacimbas (UTGC) demandou a aplicação total previsto, de US\$ 2,6 bilhões, e empregando cerca de 3.200 pessoas. A produção estimada (até 2013) era de 70 milhões de m<sup>3</sup> de



gás/dia, elevando Linhares a posição de 2º lugar na distribuição de *royalties* no Estado em 2008, e alcançando 18,7% do total de *royalties* do Espírito Santo (IBGE, 1998; 2004; INCAPER, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020).

O segundo município apresenta reservas petrolíferas com produção de óleo e gás, explorando cerca de 150 poços terrestres e um marítimo, com destaque para a Plataforma de Cação. Nesta são produzidos 2.800 barris de petróleo/dia, o que equivale a 23% da produção total do Espírito Santo (IBGE, 1998, 2004; INCAPER, 2011). A Tabela 10 sintetiza informações socioeconômicas de cada um dos municípios que integram a planície deltaica do rio Doce.

Tabela 10 - Panorama dos aspectos socioeconômicos, populacionais e territoriais dos municípios que abrangem os limites geográficos da planície deltaica do rio Doce (ES).

Municípios	Área Km <sup>2</sup>	População 2010	População Estimada 2019	Densidade demográfica Hab/km <sup>2</sup>	Receita Total	PIB Per Capita	IDHM 2010
Linhares	3.496,263	141.306	173.555	40,33	614.845,47	31.705,48	0,724
Aracruz	1.420,285	81.832	101.220	57,47	270.566,85	47.644,02	0,752
São Mateus	2.346,047	109.028	130.611	46,62	425.272,22	15.983,29	0,735
Jaguaré	659,751	24.678	30.477	37,41	91.331,87	16.786,67	0,678
Conceição da Barra	1.182,587	28.449	31.063	24,01	92.610,73	13.408,56	0,681

Fonte: IBGE (2020).

A significativa transformação no decorrer dos anos na paisagem da planície deltaica deve-se em um primeiro momento ao processo de povoamento da região com a vinda de imigrantes europeus e também de outras regiões do Brasil. Num segundo momento, as mudanças ocorreram em razão da exploração e comercialização de madeira oriunda das florestas da região norte do Espírito Santo, período que ficou conhecido como Ciclo Madeireiro. Nesse período as árvores eram cortadas e as toras lançadas no canal principalmente do rio Doce, descendo seguindo o ritmo da correnteza até chegar à foz, onde a partir daí eram embarcadas em navios e seguiam para destinos nacionais e internacionais.

As mudanças no uso e cobertura da terra que mais contribuíram para alterações na planície deltaica estão associadas à pecuária, onde a pastagem representa 39,74% do total da área. Mesmo com pouca expressão espacial destacam-se os cultivos agrícolas na porção central a área de estudo.

### 5.10.3. Uso e cobertura da terra da planície deltaica do ano de 2019.

Conforme pode ser observado (Tabela 11 e Figura 42), foram estabelecidas para a planície deltaica, quinze classes de uso e cobertura da terra em 2019, com destaque para pastagem, que cobre a área de 1164,47 km<sup>2</sup> e 39,74% da área total, sobre as planícies fluviomarinha e fluviolagunar, mata nativa, que predomina sobre a planície interdistributária ao longo do canal principal do rio Doce, tanto na margem esquerda como na direita, e perfaz uma área de 556,46 km<sup>2</sup> e 18,98% da área total.

A classe de brejo, setores pantanosos ou periodicamente alagados, ocupa a terceira área com 537,9 km<sup>2</sup>, estando presente nas porções norte e sul da planície fluviomarinha, tendo um percentual de 18,35%. Os cultivos agrícolas recobrem uma área de 144,19km<sup>2</sup> com percentual de 4,92%, e situam-se, principalmente na porção noroeste sobre as planícies fluviomarinha e cordões litorâneos pleistocênicos.

Os corpos d'água compõem uma área de 142,48 km<sup>2</sup> (4,86%). Correspondendo a uma fração do canal principal do rio Doce e a pequenas lagoas e lagos distribuídos na planície deltaica. A vegetação de restinga representa uma área de 97,33 km<sup>2</sup> e percentual de 3,32%, sendo encontrada ao longo da linha de costa (norte-sul), sobre os cordões litorâneos holocênicos (cristas de praia).

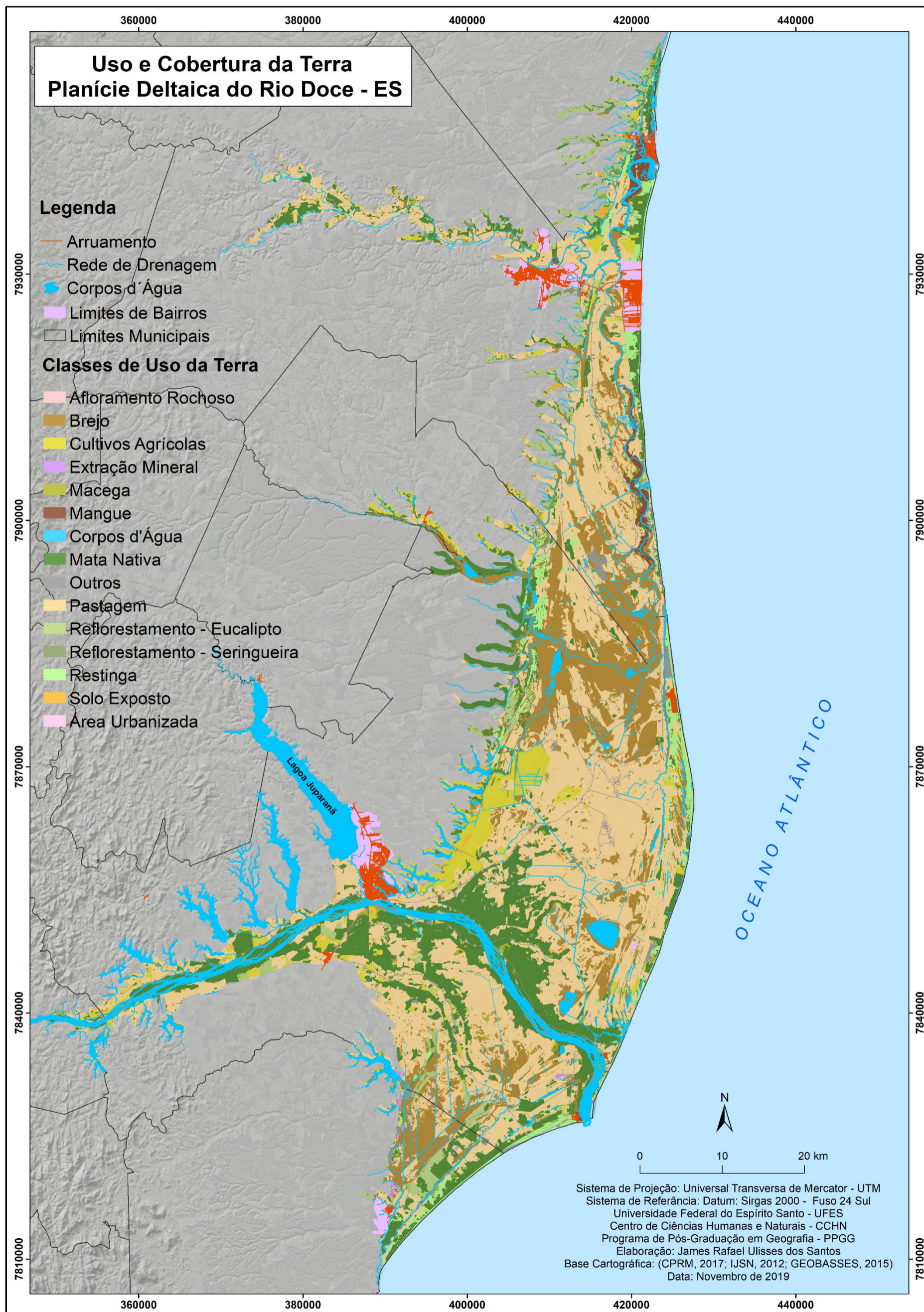
O reflorestamento com eucalipto corresponde a uma área de 91,59 km<sup>2</sup> e representando 3,13% do total. O plantio de eucalipto é encontrado com maior expressão em dois setores: um no extremo norte e o outro no extremo sul da área de estudo.

Tabela 11 - Uso e cobertura da terra da planície deltaica do rio Doce.

<b>Uso e Cobertura da Terra - 2019</b>	<b>Área km<sup>2</sup></b>	<b>Área ha</b>	<b>%</b>
Afloramento Rochoso	0,21	20,74	0,01
Área Urbanizada	21,63	2163,35	0,74
<b>Brejo</b>	<b>537,90</b>	<b>53789,97</b>	<b>18,35</b>
<b>Cultivos Agrícolas</b>	<b>144,19</b>	<b>14418,95</b>	<b>4,92</b>
Extração Mineral	3,77	376,87	0,13
Macega	50,92	5091,86	1,74
Mangue	30,43	3042,59	1,04
<b>Corpos d'Água</b>	<b>142,48</b>	<b>14247,51</b>	<b>4,86</b>
<b>Mata Nativa</b>	<b>556,46</b>	<b>55645,81</b>	<b>18,98</b>
Outros	69,83	6982,62	2,38
<b>Pastagem</b>	<b>1164,47</b>	<b>116446,99</b>	<b>39,74</b>
<b>Reflorestamento - Eucalipto</b>	<b>91,59</b>	<b>9159,25</b>	<b>3,13</b>
Reflorestamento - Seringueira	2,91	290,73	0,10
<b>Restinga</b>	<b>97,33</b>	<b>9733,03</b>	<b>3,32</b>
Solo Exposto	16,37	1637,22	0,56
<b>Total</b>	<b>2930,49</b>	<b>293047,49</b>	<b>100</b>

Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

Figura 42 - Mapa de uso e cobertura da terra da planície deltaica do rio Doce, atualizado no ano de 2019.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2019).

## 6. INUNDAÇÃO NA PLANÍCIE DELTAICA DO RIO DOCE EM DECORRÊNCIA DE EVENTOS FLUVIAIS

A inundação na planície deltaica do rio Doce não levou em conta aquela decorrente de forçantes oceanográficas (maré meteorológica/sizígia ou efeito de transposição de onda), e sim, aos eventos de inundação fluvial resultantes das enchentes (cheias), que ocorrem quando a precipitação   intensa e o volume de água que alcança sincronicamente o curso d'água, passa a ser maior que sua capacidade de drenagem causando inundações das áreas de várzeas (TUCCI, 2004; SANTOS, 2010).

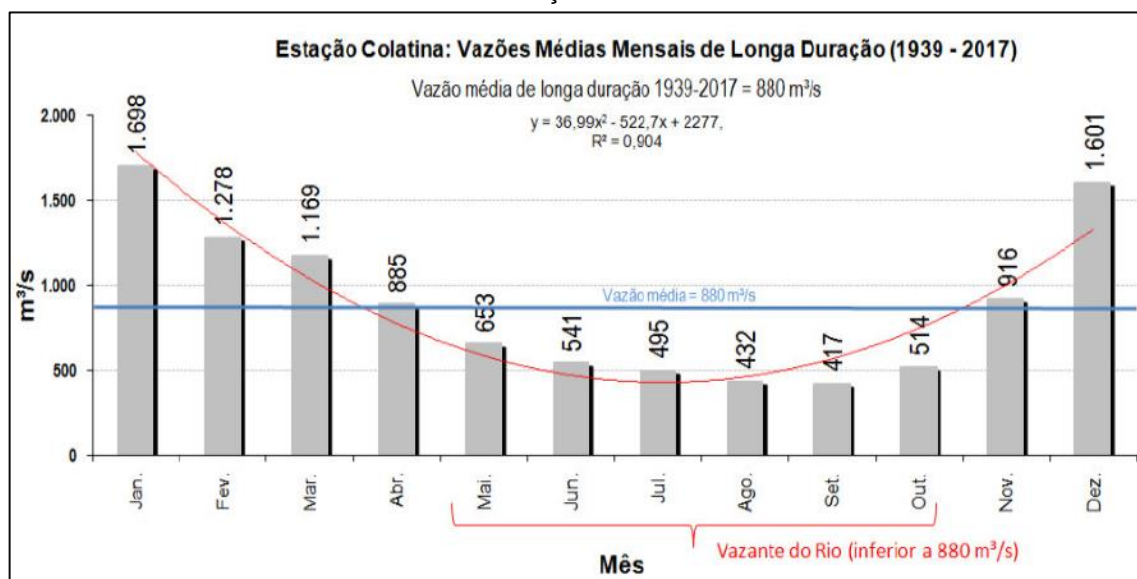
Para esse estudo, a inundação foi modelada através da integração de variáveis físicas e socioeconômicas, baseando-se em lógica *booleana* e no método multicritério AHP usando a técnica de  lgebra de mapas em ambiente SIG. Essa técnica resultou em uma modelagem, que foi comparada e validada com dados do regime hidrológico (vazão), fotografias das cheias e a extensão da inundação representada em imagens de satélites. A seguir são apresentados, caracterizados e discutidos os produtos cartográficos da inundação da planície deltaica.

### 6.1. Regime hidrológico e histórico das vazões do médio-baixo rio Doce

Por se destacarem os agentes fluviais, neste t pico foi analisado o comportamento histórico das vazões da série de quase 80 anos de medições do médio-baixo rio Doce, tendo em conta os períodos de cheias e vazantes atrelados às variações de precipitação. As mudanç as ocorridas da paisagem devido ao processo de ocupação, degradação ambiental e atividades socioeconômicas auxiliaram para a compreensão do regime hidrológico e dos pulsos de inundações resultantes das cheias e transbordamento do canal principal do rio Doce.

O rio Doce apresenta um regime hidrológico definidamente perene, com as cheias seguindo os períodos de precipitação da região sudeste do Brasil: chuvas de outubro a març o, logo a vazão tem seu aumento de volume entre esses meses, com cotas máximas durante dezembro e janeiro, com as médias mensais superando os 1.600 m<sup>3</sup>/s (Figura 43). E o período de vazão (vazante), que se inicia em maio, apresentando as cotas mais baixas nos meses de agosto e setembro, com média mensal ficando abaixo de 440 m<sup>3</sup>/s, sendo esse valor registrado na estação fluviométrica de Colatina (ANA, 2018a; COELHO, 2019).

Figura 43 - Médias das vazões mensais (períodos de vazantes e cheias de 78 anos de medições) do médio-baixo rio Doce da estação fluviométrica de Colatina - ES.



Fonte: Elaborado por COELHO (2019).

Coelho (2019), com base nos dados da estação hidrometeorológica de Colatina, localizada a jusante das barragens das usinas hidrelétricas de Aimorés e Mascarenhas e com uma detalhada série histórica de vazões da bacia, realizou um diagnóstico respaldado nos dados de vazão entre os anos de 1939 a 2017 e traçou uma relação com as alterações na paisagem da bacia durante o intervalo temporal analisado (ANA, 2018; COELHO, 2019). Além das características supracitadas, as mudanças no regime de precipitação podem está indicando que as mudanças climáticas tem influenciado na vazão da bacia hidrográfica do rio Doce.

Segundo Coelho (2019), entre 1939 a 2017 houve o decréscimo gradativo nos valores de vazão, a partir do início das medições até 1977, seguido de um rápido aumento (Figura 44), essa tendência de redução da vazão, é uma condição que pode estar associada aos efeitos das mudanças climáticas, bem como de alterações ocorridas na bacia. Um pequeno histórico das vazões é apresentado na Tabela 12 para os seguintes períodos temporais:

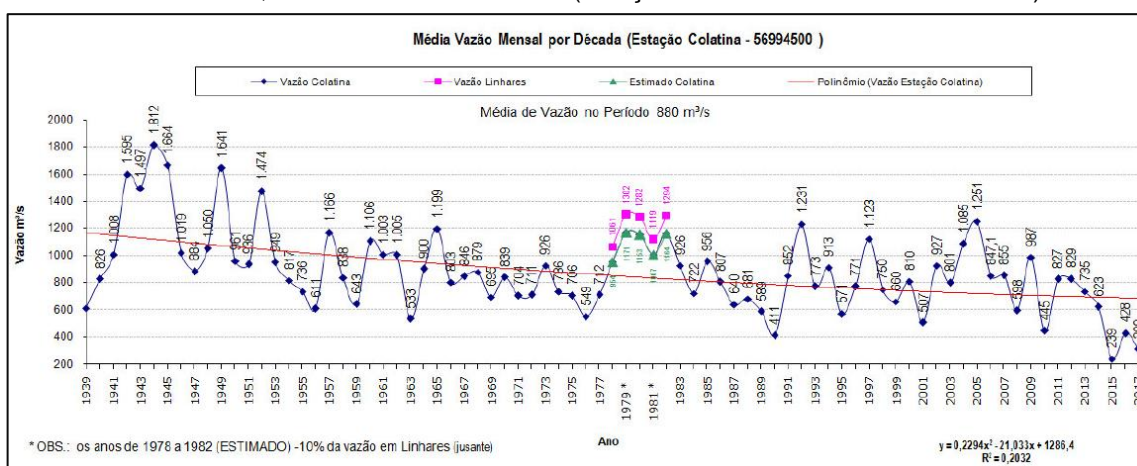
Tabela 12 - Registro da série histórica das vazões do médio-baixo rio Doce (MG-ES).

Anos	Valores registrados do histórico das vazões
1940 até 1954	Para esses períodos foram registrados valores mínimos de vazão superiores a 800 m <sup>3</sup> /s.
1944 até 1964	Nesse intervalo correu uma redução gradativa nos picos anuais de vazões.
1966 até 1977	Os valores máximos de vazão não superam os 930 m <sup>3</sup> /s.
1978 até 1983	Houve um aumento nos picos de vazões, sendo registrados valores anuais que ultrapassam os 900 m <sup>3</sup> /s.
1991 até 2005	Esse período notabilizou-se devido a uma relativa recuperação das vazões sinalizadas por variações entre 1.251 m <sup>3</sup> /s e 507 m <sup>3</sup> /s.
2009 até 2017	Foi evidenciado uma diminuição significativa nos registros de vazão média anual.

Fonte: Adaptado de COELHO, A.L.N (2019).

Os dados de vazão estão associados ao histórico das alterações naturais e socioeconômicas verificadas na bacia e no canal principal, como o processo de ocupação, durante o começo do século XX. Antes desse período existia uma exuberante cobertura vegetal (incluindo as matas ciliares), com um inexpressivo contingente populacional, e poucos núcleos de povoamento e parques industriais (RAMOS, 2012; BECKER, 1969; BORGIO et al., 1996; COELHO, 2019).

Figura 44 - Gráfico com os registros das variações mensais das vazões médias do período entre 1939 a 2017, do médio-baixo rio Doce (estação fluviométrica de Colatina - ES).



Fonte: Elaborado por COELHO (2019), com base na ANA (2018).

A partir de meados do século XX, a paisagem do baixo-médio curso do rio Doce vivenciou um rápido processo de ocupação populacional, acarretando a supressão da cobertura florestal, o que conduziu às mudanças substanciais na dinâmica das águas pluviais. Com a existência da vegetação nativa, um percentual significativo da precipitação era absorvida pelo solo, porém devido a sua retirada, parte expressiva das águas da chuva são escoadas superficialmente, contribuindo para a erosão e transporte de sedimentos para a calha do rio principal, fato que intensifica o assoreamento e aumento dos picos de cheias (COELHO, 2019).

Uma análise das medições de vazões decadais pode ser observada na Tabela 13. Constatam-se alterações na redução e aumento ao longo das décadas. Entre as décadas de 1940 e 1950 registrou-se um decréscimo das vazões, indo de 1.269 m<sup>3</sup>/s para 928 m<sup>3</sup>/s, configurando uma queda de 341 m<sup>3</sup>/s (COELHO, 2019).

Tabela 13 - Média decadal das vazões da estação fluviométrica Colatina entre os anos de 1939 a 2017

Década	Período	Vazão m <sup>3</sup> /s	Diferença com a década anterior em m <sup>3</sup> /s
40	1941-1950	1.269	-
50	1951-1960	928	-341
60	1961-1970	870	-58
70	1971-1977	735	-135
80	1983-1990	716	-19
90	1991-2000	818	+102
2000	2001-2010	836	+28
2010	2011 até 2017	574	-262

Fonte: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>> acesso em: 07 de maio de 2017.  
Extraído de COELHO, A.L.N (2019).

Nas décadas seguintes, não foram mais registrados valores de vazões anuais que ultrapasse os 1.000 m<sup>3</sup>/s. Durante a década de 1960, a vazão sofreu uma leve oscilação (870 m<sup>3</sup>/s), com uma diminuição de 58 m<sup>3</sup>/s. Em 1970 a redução foi mais acentuada (135 m<sup>3</sup>/s), mas em 1990 houve um aumento de 102 m<sup>3</sup>/s (média de 818 m<sup>3</sup>/s). De 2001 a 2010 ocorreu uma pequena elevação de 28 m<sup>3</sup>/s, com nova queda na vazão após 2011, de 262 m<sup>3</sup>/s (COELHO, 2019). Corroborando com tudo isso, o trabalho de Silva *et al* (2022) indica que a redução da precipitação na região sudeste



do Brasil tem se tornado um fenômeno cada vez mais comum em função do aquecimento global.

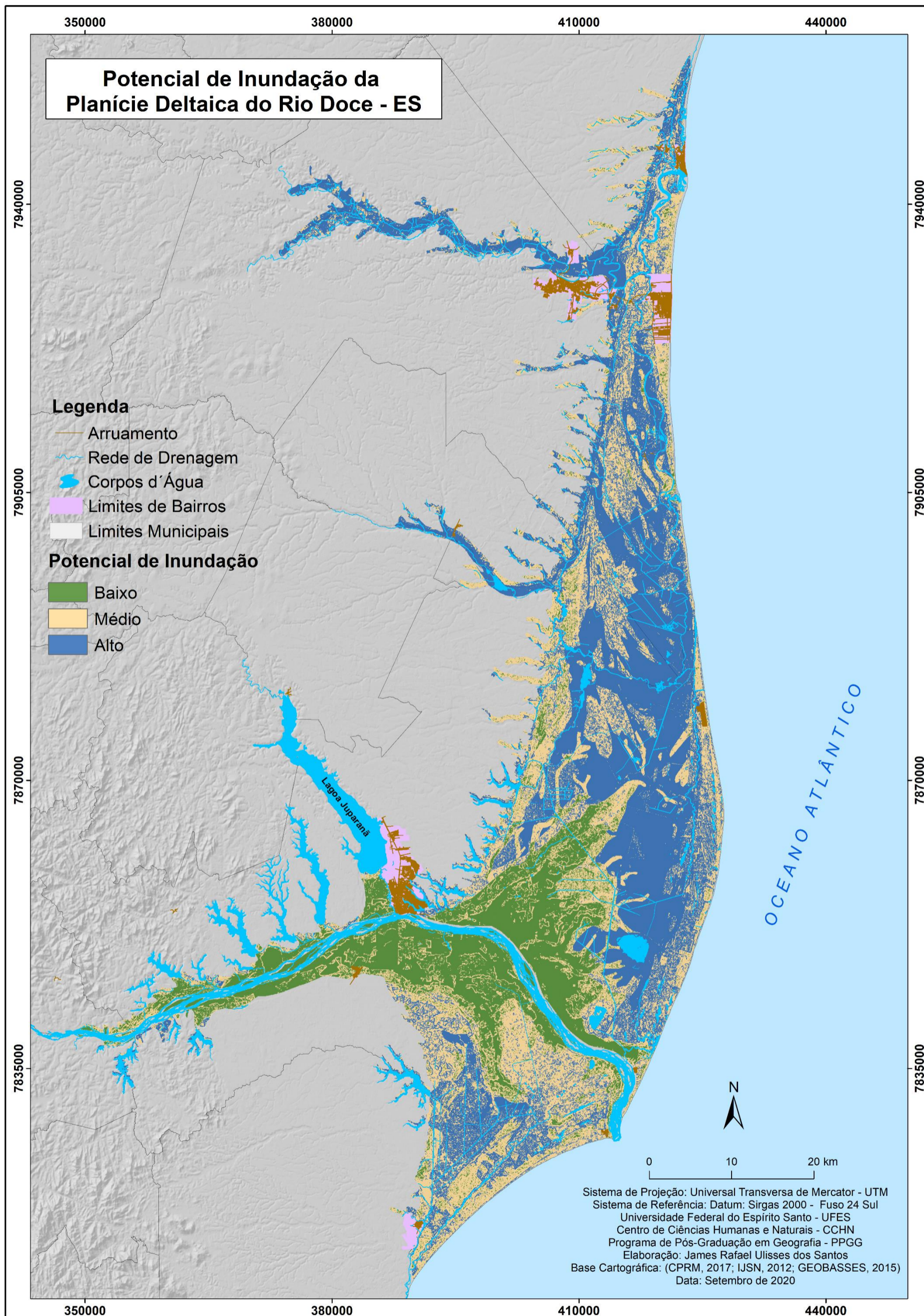
## **6.2. Modelagem à inundação usando álgebra de mapas (lógica *booleana*)**

A Figura 45 apresenta o potencial de inundação da planície deltaica que foi determinado através da técnica de álgebra de mapas com atribuição de pesos baseado na experiência do pesquisador, onde não há um critério estatístico definido. Dessa forma, pode ser observado a distribuição espacial da inundação em três classes: baixa, média e alta. O potencial baixo evidencia-se no setor centro-oeste, que detém as maiores altitudes e declividades correspondendo principalmente as feições morfológicas dos terraços fluviais e a planície interdistributária intercortada por paleocanais (ou paleodrenagem) colmatados por sedimentos fluviais.

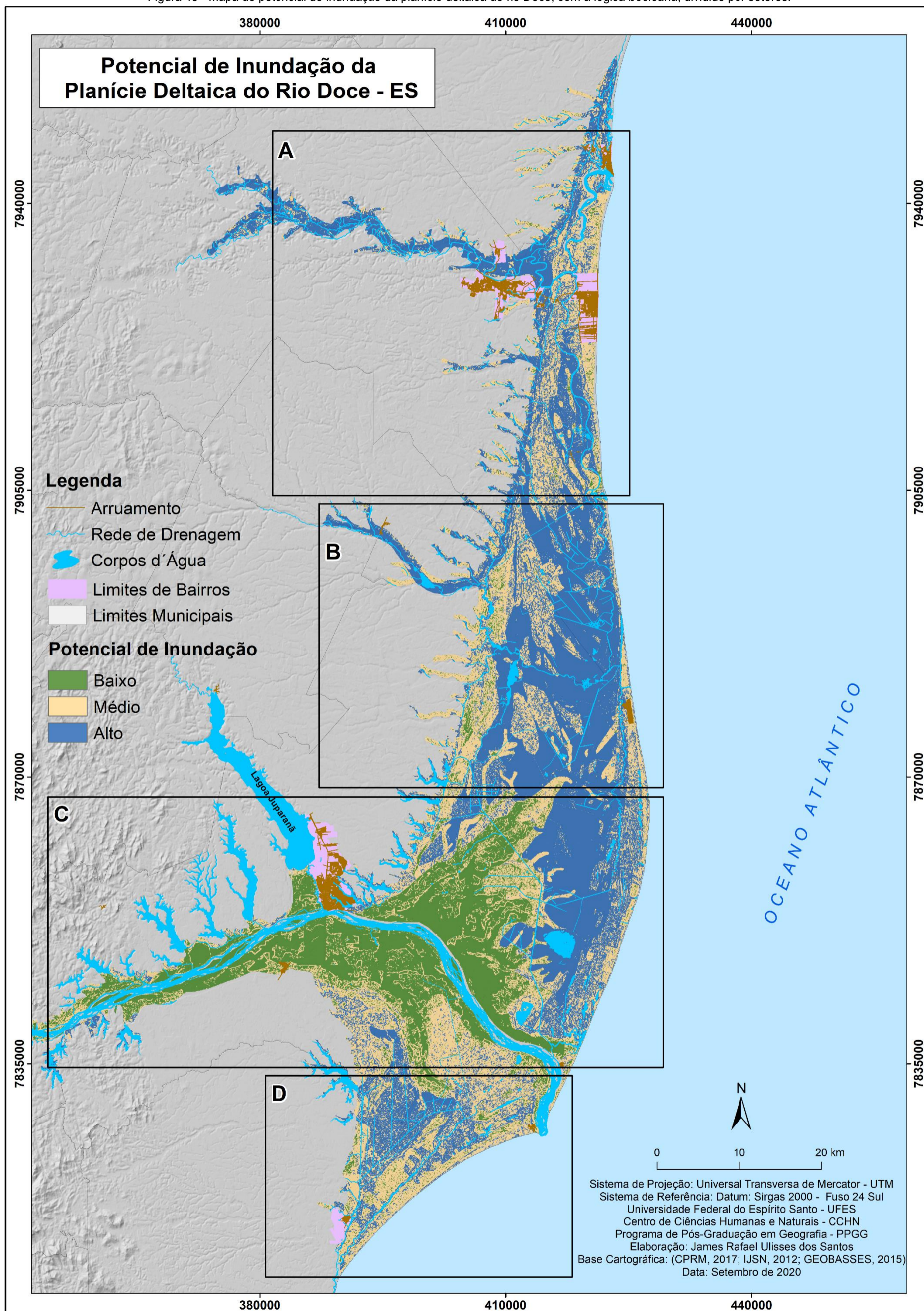
O potencial médio verificou-se no setor sul-leste que corresponde a planície fluviomarinha e aos cordões litorâneos holocênicos. No setor central, do lado esquerdo do canal principal do rio Doce, verificou-se que o potencial médio ocorre no contato entre a planície interdistributária e a planície fluviomarinha. Já do setor central até o extremo-norte/leste, o potencial médio a inundação equivale a extensão dos cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos.

O potencial alto foi registrado nos setores sul-leste, centro-norte e norte-noroeste, sendo áreas que correspondem às planícies fluviomarinha e fluviolagunar, de relevo plano e suave ondulação, com baixa declividade, e, portanto, mais vulneráveis a eventos de inundação. Esse setor apresenta um contexto natural que o torna com alto grau de vulnerabilidade a inundação, devido a presença de mangue e terrenos alagadiços (“pantanosos”) e com classe de solos que permanecem por longo período de tempo saturados por água, como as dos Gleissolos, Organossolos sem influência marinha e Espodossolos.

A área de estudo foi segmentada em quatro partes (Figura 46 A, B C e D), com isso foi possível representar de forma detalhada e didática o potencial de inundação na planície. Desse modo, o enquadramento tornou a análise e interpretação mais acurada e minuciosa quanto aos setores com maior ou menor grau de vulnerabilidade a inundação no mapa.

Figura 45 - Mapa do potencial de inundação da planície deltaica do rio Doce, usando a lógica *booleana*.

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

Figura 46 - Mapa do potencial de inundação da planície deltaica do rio Doce, com a lógica *booleana*, dividido por setores.

Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

### 6.3. Índice de vulnerabilidade à inundação com aplicação do método AHP

Conforme demonstrado na Figura 47, a vulnerabilidade foi espacializada em cinco classes: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A classe de vulnerabilidade muito baixa se concentra no setor centro-oeste, em parte da planície interdistributária, nos terraços fluviais e nos segmentos mais elevados dos paleocanais, correspondendo ao setor que detém as maiores cotas altimétricas e declividades da área.

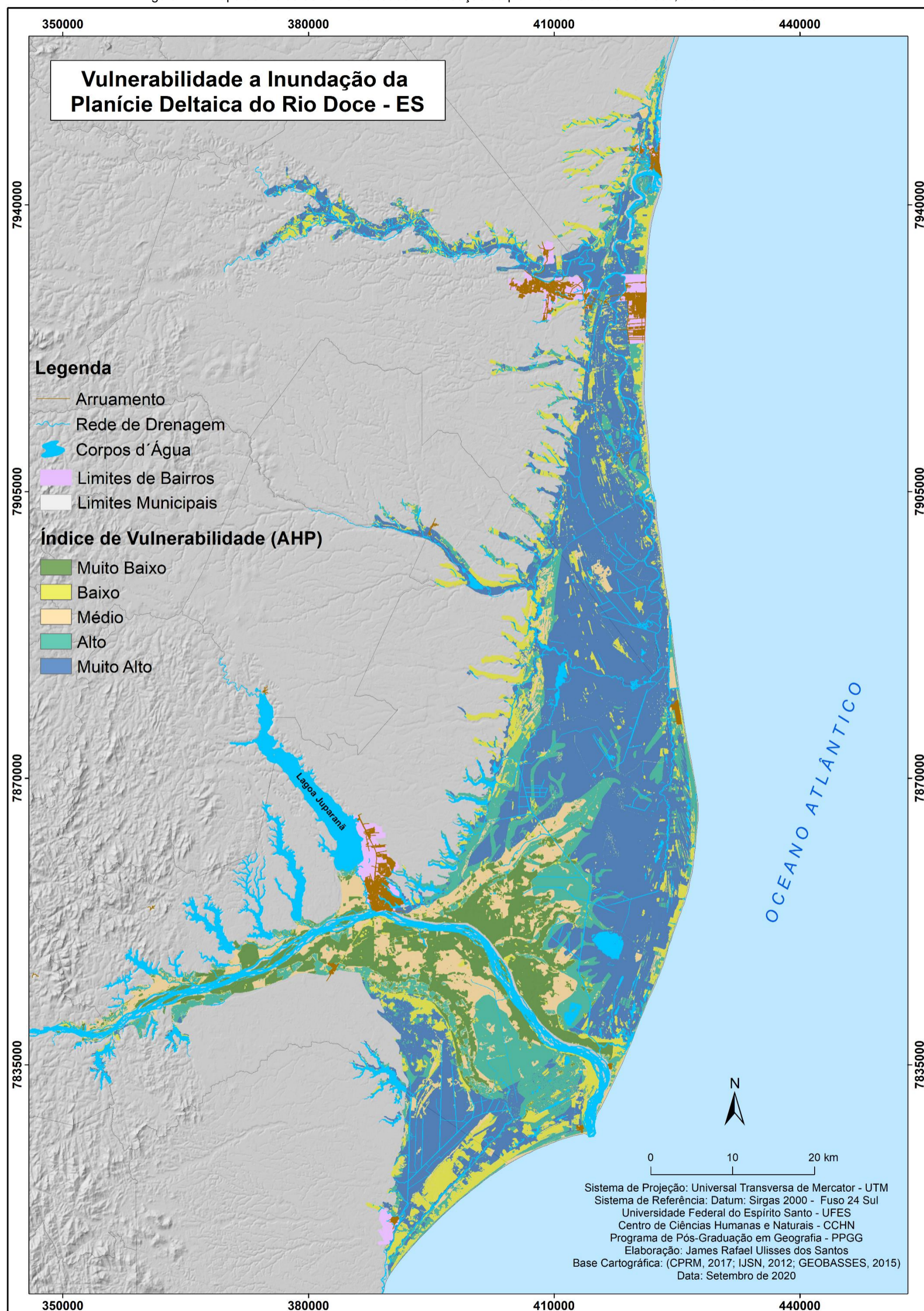
A classe de vulnerabilidade baixa foi observada predominantemente no setor sul-norte, coincidindo com os cordões litorâneos holocênicos. Nos setores noroestes e extremo norte coincidem com uma parte das planícies fluviolagunares. Já com relação a classe de vulnerabilidade média, sua maior expressão evidenciou-se no setor centro-oeste, ocupando a outra fração da planície interdistributária, terraços fluviais e pequenos paleocanais (estes últimos que também apresentam segmentos com vulnerabilidade baixa).

A classe de vulnerabilidade alta por sua vez, apresenta-se principalmente em dois pontos específicos: o primeiro no contato entre a planície interdistributária e a planície fluviomarinha no setor centro-sul e noroeste. Já o segundo ponto evidencia-se no setor extremo norte/leste.

No caso da classe de vulnerabilidade muito alta, sua extensão ocupa a maior parte da área de estudo, coincidindo com as feições morfológicas (ou subambientes deltaicos) planícies fluviomarinhas e fluviolagunares.

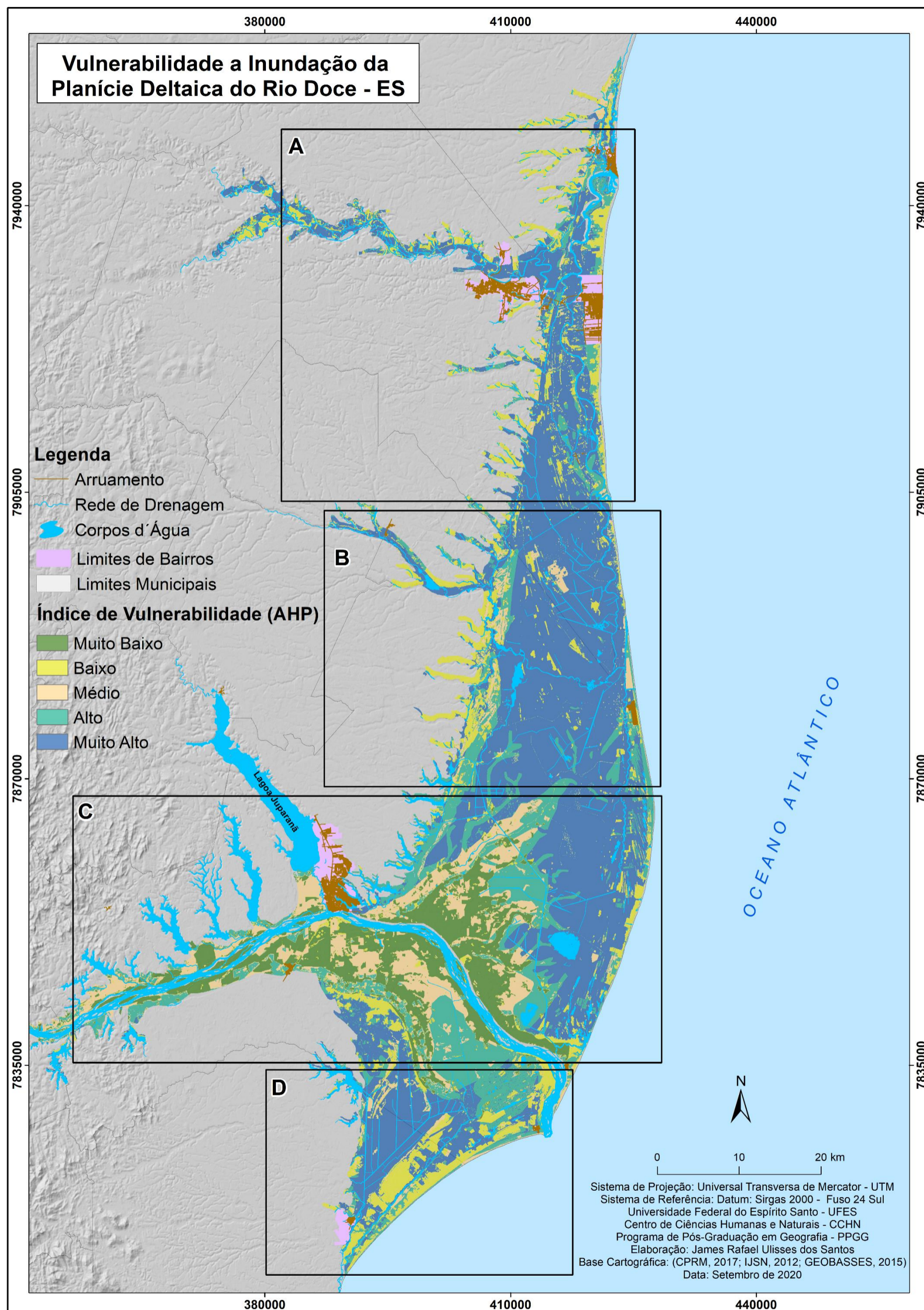
Contudo, ressalta-se que ocorreu uma maior predominância para a classe de vulnerabilidade muito alta a inundação, devido a sua abrangência está na equivalência com as porções de relevo plano e suave ondulado (com as menores declividades), áreas de manguezais, terrenos alagadiços e cobertura pedológica com solos periodicamente saturados. A planície deltaica foi compartimentada em quatro setores (Figura 48 A, B, C e D) para uma análise e interpretação mais detalhada das classes de vulnerabilidade a inundação.

Figura 47 - Mapa do índice de vulnerabilidade a inundações da planície deltaica do rio Doce, com o método AHP.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

Figura 48 - Mapa da vulnerabilidade a inunda o da planície deltaica do rio Doce, com o método AHP, dividido por setores.

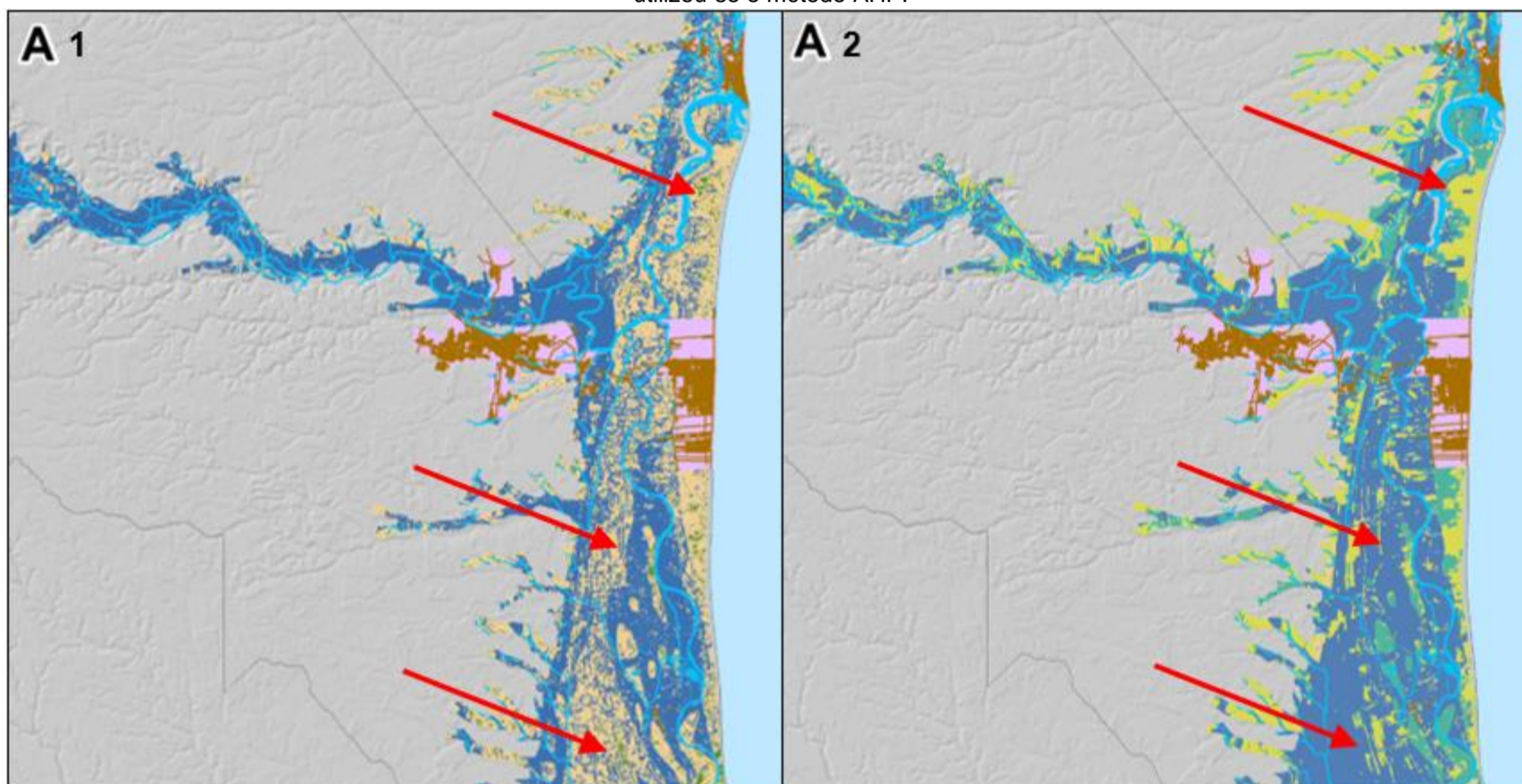


Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

#### 6.4. Comparativo dos métodos multicritérios usados na modelagem à inundação da planície deltaica do rio Doce

Na Figura 49 é apresentado o comparativo da vulnerabilidade   inundação do extremo norte da planície deltaica, onde pode ser verificada a diferença entre os métodos de modelagem adotados. Assim, tanto em 49 A1 como 49 A2, foram utilizadas as mesmas variáveis para determinar a inundação, sendo que em A1 a modelagem foi realizada com a atribui o de pesos conforme critérios do pesquisador. Já para a A2, adotou-se o AHP, que trata-se de um método com critério de pesos predeterminados. Com isso, constatou-se que A2 apresentou um resultado mais consistente quanto a espacializa o da inundação em rela o a A1.

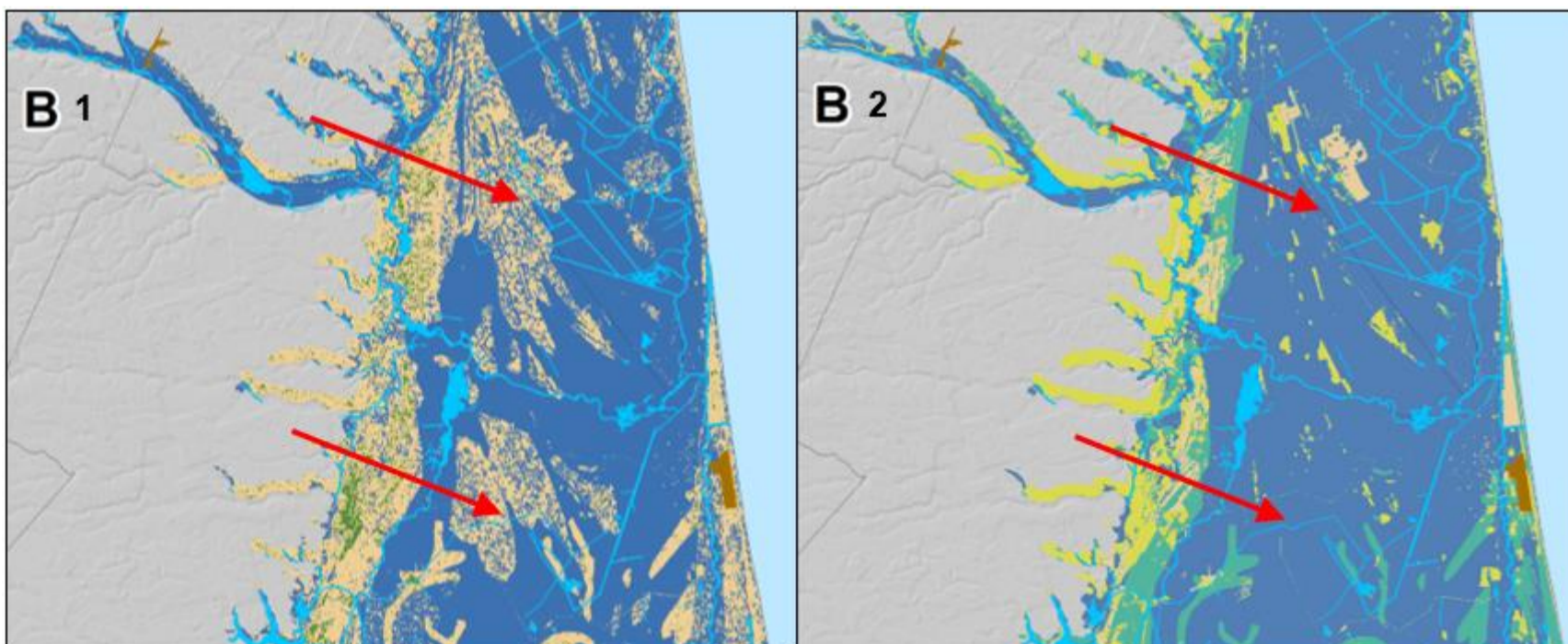
Figura 49 - Comparativo da inunda o no extremo norte da planície deltaica do rio Doce. Na Figura 49 A1 usou-se a lógica *booleana* e na Figura 49 A2 utilizou-se o método AHP.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

A Figura 50 destaca a vulnerabilidade   inunda o nos setores noroeste/norte/leste da planície deltaica com diferença bastante relevante entre as Figuras 50 B1 e 50 B2. Na modelagem em B1, as classes de inunda o predominantes foram a média e alta ( lgebra de mapas usando lógica booleana). Por outro lado, em B2, as classes de vulnerabilidade a inunda o de maior evidência foram a alta e muito alta (com o método AHP). Dessa forma, pode-se observar que B2 apresentou um melhor resultado em termos de método estatístico, e com classes espacialmente mais representativas do que B1.

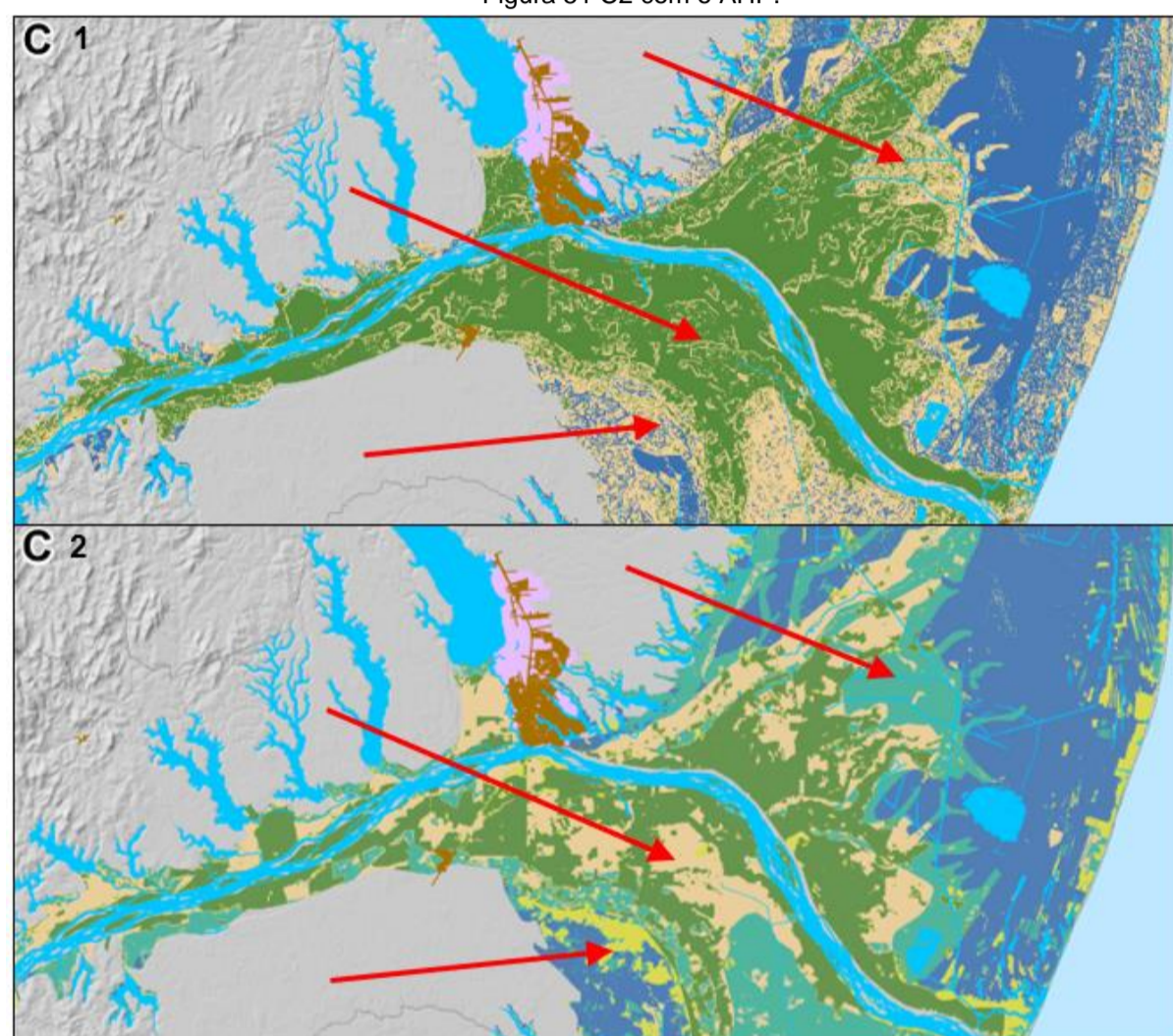
Figura 50 - Comparativo da inunda o do setor centro-norte da planície deltaica, com o uso da lógica *booleana* na Figura 50 B1 e com o AHP na Figura 50 B2.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

A Figura 51 compara as classes de vulnerabilidade à inundação do recorte espacial representado pelo setor centro-oeste da planície deltaica. Esse setor destaca-se por representar mais detalhadamente a extensão da inundação sobre os subambientes morfológicos, terraços fluviais, paleocanais e planície interdistributária, estes que são detentores das maiores cotas altimétricas e percentuais de declividade. Além também das planícies fluviomarinha e fluviolagunar, que correspondem a feições com topografia plana e suave ondulação e com declividades e altitudes pouco acentuadas. As Figuras 51 C1 e 51 C2 demonstram uma diferença em termos de individualização de cores das classes de inundação. Isso significa que C2 apresentou um resultado bem mais relevante e satisfatório que em C1, em razão, principalmente, da eficiência do método adotado na geração dos modelos.

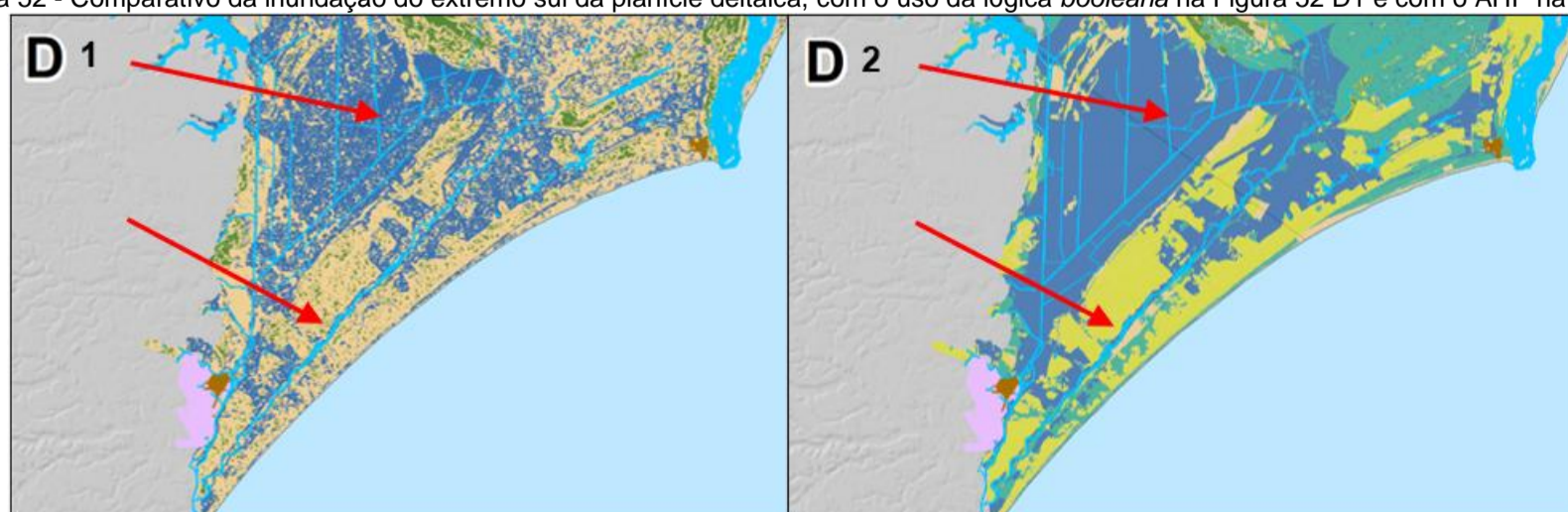
Figura 51 - Comparativo da inundação do setor central da planície deltaica. A Figura 51 C1 representa a modelagem com o uso da lógica *booleana* e a Figura 51 C2 com o AHP.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).

A Figura 52 apresenta a inundação no setor sul da planície deltaica, evidenciou-se que para esse setor as classes de vulnerabilidade predominantes foram alta, muito alta e média. As duas primeiras classes estão em concomitância com a feição morfológica planície fluviomarinha, já a classe média, corresponde aos cordões litorâneos holocênicos (cristas de praia). Isso evidencia que a variável geomorfologia tem uma maior relevância como fator condicionante da vulnerabilidade a inundação. A partir do comparativo entre esses dois recortes verificou-se que 52 D2 obteve resultado mais satisfatório com classes de vulnerabilidade a inundação bem mais individualizadas espacialmente que em 52 D1. Isso mostrou que o método adotado no segundo caso tem maior confiabilidade que no primeiro caso. Diante do exposto, pode-se deduzir que o método AHP apresentou os melhores resultados quanto a modelagem à inundação da planície deltaica do rio Doce.

Figura 52 - Comparativo da inundação do extremo sul da planície deltaica, com o uso da lógica *booleana* na Figura 52 D1 e com o AHP na Figura 52 D2.



Fonte: SANTOS, J.R.U (2020).



## 6.5. Pulsos de inundação na planície deltaica do rio Doce.

Os cursos d'água têm uma dinâmica natural complexa, onde as águas podem exceder o leito menor e alcançar o leito maior durante os períodos de cheias em decorrência de precipitações mais concentradas, ocasionando eventos de inundação nas planícies fluviais (PEDRO; NUNES, 2012; GIL et al., 2014). A inundação é representada pela subida do nível dos rios acima da cota de vazão normal, resultando no transbordamento das águas sobre as áreas adjacentes, as denominadas planícies de inundação ou áreas de várzeas (KOBAYAMA et al., 2006; GIL et al., 2014).

Na planície deltaica do Rio Doce, a inundação decorrente dos picos de cheias (pulsos de inundação) pôde ser evidenciada através de imagens de satélites<sup>11</sup> (Landsat - 5 do ano de 1997 e Landsat - 8 do ano de 2013) na Figura 53. A Figura 53A apresenta a planície inundada em 12/01/1997, data que registrou o maior volume de chuva na região, vindo a transbordar as duas margens do canal principal, e alcançando uma vasta extensão de relevo plano e suave ondulado, que coincide com os subambientes planícies fluviomarinha e fluviolagunar, além dos paleocanais fluviais.

A Figura 53B apresenta a inundação na planície em 26/12/2013, sendo esse período o que registrou o maior acumulado de precipitações dos últimos 90 anos (INCAPER, 2014; COELHO et al., 2014). A extensão da inundação fica evidente na imagem na tonalidade de cor azul escura, compreendendo as áreas que correspondem as feições morfológicas das planícies fluviomarinha e fluviolagunar e as paleodrenagens, com destaque para o maior paleocanal da margem direita do canal principal do rio Doce.

Segundo Coelho et al. (2014), o pulso de inundação na planície deltaica em dezembro de 2013 afetou trechos de rodovias que foram alagados, a exemplo de um segmento da rodovia BR-101 nas proximidades da ponte sobre o rio Doce e rodovias estaduais como as ES-440, ES-248 e ES-010, o que impossibilitou o acesso às localidades de Regência e Povoação, adjacentes à desembocadura do rio Doce.

---

<sup>11</sup> Para a planície deltaica do rio Doce, torna-se muito difícil a escolha de imagens de satélites que pudessem representar os eventos de inundação com nitidez, devido a grande quantidade de nuvens sobre a área, fator que inviabilizou a visualização por completo. Sendo assim, foram escolhidas as imagens dos satélites LANDSAT 5 de 12/01/1997 e LANDSAT 8 de 26/12/2013, por oferecer o menor adensamento de nuvens, principalmente a do LANDSAT 8 do referido dia, mês e ano.

---

Além disso, segundo Coelho et al. (2014) e Gil et al. (2014), foram alagadas 1.592 unidades habitacionais do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) do governo federal, localizadas na margem esquerda da planície fluvial do Rio Doce, adjacente à sede do município de Linhares<sup>12</sup>.

A planície deltaica do rio Doce é um ambiente que no decorrer dos anos converteu-se no lócus de empreendimentos de médio e grande porte, estimulados por incentivos governamentais, mas que por outro lado não levou em conta os complexos processos fluviais atuantes como as inundações frequentes, atrelado as relações socioeconômicas (COELHO et al., 2014).

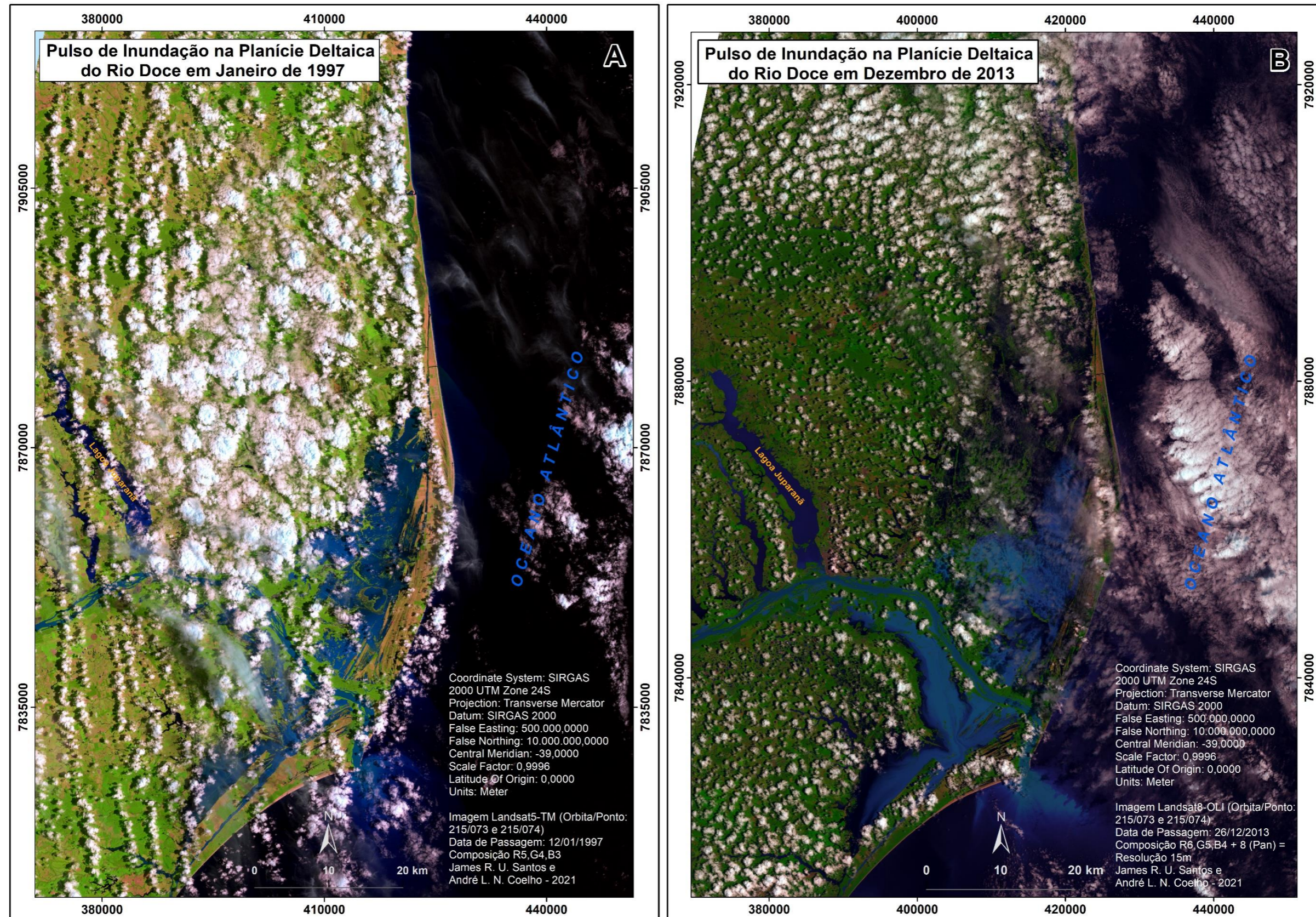
Nesse sentido, as atuais diferentes formas de o uso e cobertura da terra tem proporcionado o desenvolvimento socioeconômico na planície, tanto com parques industriais, comercio e principalmente nas atividades agrícola, com o cultivo de frutas, e pecuária com a criação de gado de corte e leiteiro em sistema extensivo. No entanto, devido ao contexto natural o qual a área se encontra, terras baixas, a torna vulnerável a inundações periódicas quando ocorre o transbordamento da calha do rio Doce durante as cheias.

Por meio das imagens de satélites, pode-se observar a extensão da inundação na área de estudo, onde os setores que aparecem completamente inundados correspondem aos subambientes deltaicos planície fluviomarinha e fluviolagunar, que apresentam as mais baixas cotas altimétricas e percentuais de declividade, em relevo plano e suave ondulado. Por outro lado, os setores que não foram inundados ou alagados são exatamente uma parte da planície interdistributária, os diques marginais do canal principal do rio Doce e os cordões litorâneos holocênicos. Isso deve-se porque esses últimos subambientes encontram-se mais altos que os demais, logo, menos vulneráveis aos pulsos de inundação.

---

<sup>12</sup> Fez-se referência as 1.592 casas do programa Minha Casa Minha Vida (MCMV) do governo federal que estavam em construção na margem esquerda da planície fluvial e que sofreram alagamento em função do transbordamento da calha do rio Doce no município de Linhares, no mês de dezembro de 2013. Porém cabe ressaltar que o exemplo das unidades habitacionais foi utilizado para dar maior respaldo aos resultados do estudo, tendo em visto que não estão inseridas dentro da área estudada.

Figura 53 - A Figura 53 A apresenta a extensão da inundação na planície deltaica do rio Doce, referente ao pico de inundação de janeiro de 1997. A Figura 53 B expressa a extensão da área inundada correspondente ao pulso de inundação de dezembro de 2013.



Fonte: SANTOS, J.R.U; COELHO, A.L.N (2021).

## 6.6. Correlação da inundação entre os produtos da modelagem e imagens de satélites.

Alguns setores inundados na planície deltaica com características semelhantes foram comparados entre os produtos derivados da modelagem e imagens de satélites. O comparativo deu-se entre o mapa de inundação usando *lógica booleana* com a imagem Landsat - 5. Para facilitar a compreensão e análise foram demarcados setores equivalentes de inundação, conforme são representados na Figura 54.

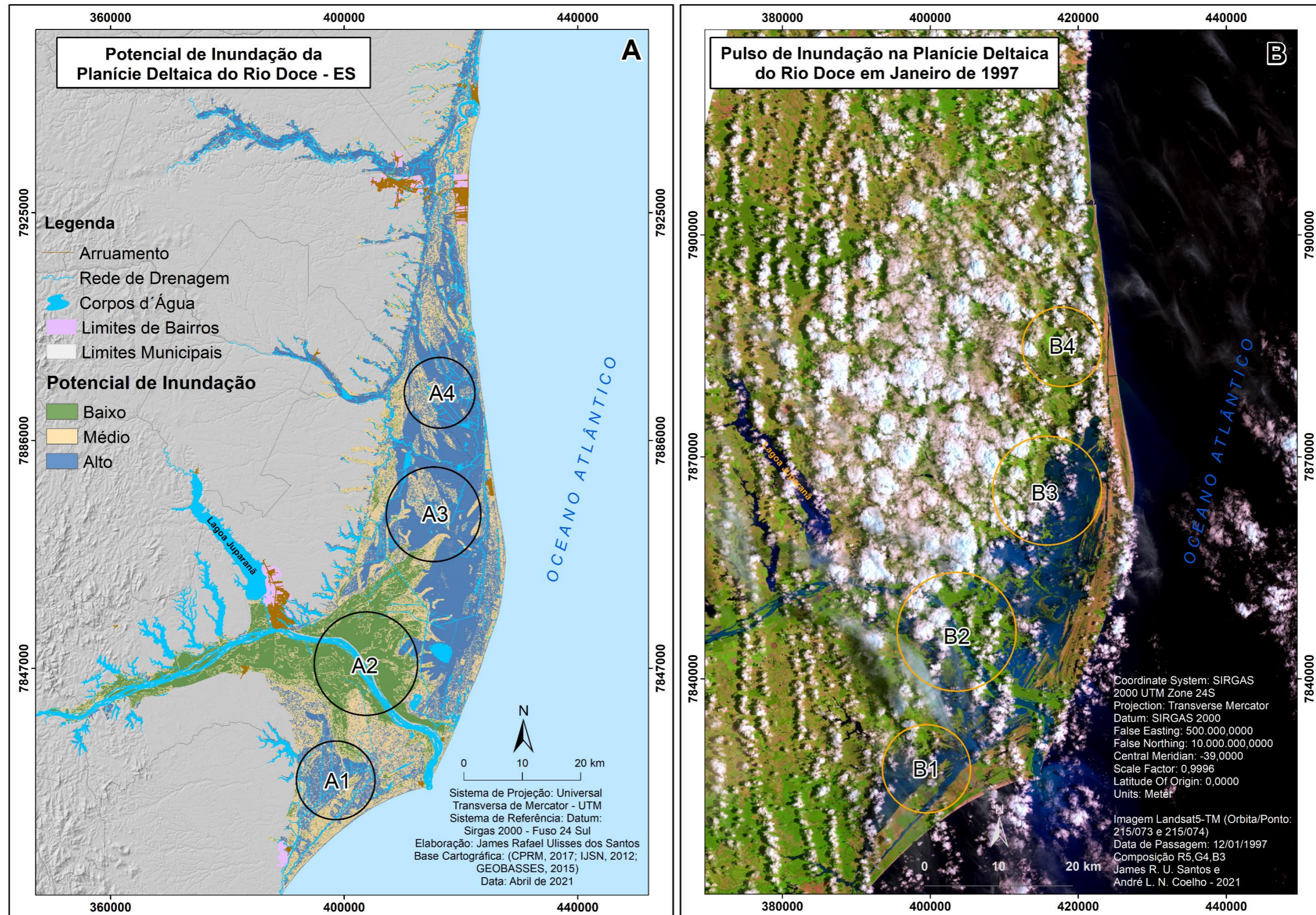
Os setores A1 e B1 são correlatos no modelo e na imagem de satélite, localizados a margem direita do canal principal do rio Doce e no extremo sul da área de estudo. O setor A1 aprestou um potencial médio e alto para inundação como pode ser comprovado em B1. A inundação deve-se principalmente a existência de um relevo pouco acentuado associado a feições morfológicas como a planície fluviomarinha (relevo plano) e cristas de praia (relevo suave ondulado).

O potencial de inundação no setor A2 foi baixo, porém quando se verifica em B2 na imagem, nota-se que mesmo o modelo apresentando vulnerabilidade baixa, a extensão da inundação alcançou boa parte desse setor. Vale ressaltar que os setores A2 e B2 estão localizados nas altitudes levemente elevadas da área, em relevo suave ondulado e ondulado, e tendo como subambiente deltaico a planície interdistributária, intercotada por paleocanais, além de diques marginais e terraços fluviais.

Já os setores A3 e A4 apresentaram um potencial de vulnerabilidade a inundação médio e alto, estando situados principalmente sobre a planície fluviomarinha (ocupando a maior extensão da área de estudo) e os cordões litorâneos pleistocênicos. No comparativo com os setores B3 e B4, constatou-se que a inundação na imagem corresponde a simulada no modelo, porém com uma ressalva para B4, que não foi alcançado totalmente pela inundação.

Para tanto, devido a fatores naturais como declividade pouco acentuada, solos que ficam grande parte do tempo saturados por água (terras alagadas) e feições morfológicas com predominância de planícies fluviomarinha e fluviolagunar, tornam a área de estudo potencialmente inundável em razão dos pulsos de inundação decorrentes das cheias do rio Doce, como comprovado por modelos e imagem de satélite.

Figura 54 - A Figura 54 A apresenta a modelagem da planície deltaica, com base em álgebra de mapas (*lógica booleana*), elaborado a partir da experiência do pesquisador. Já a Figura 54 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica em janeiro de 1997.



---

Para este cenário quatro setores da área de estudo de características semelhantes são comparados no mapa derivado da modelagem usando o método AHP com na imagem (Figura 55) do satélite Landsat - 5 (janeiro de 1997). A vulnerabilidade a inundações foi determinada com cinco classes e cores respectivamente: muita baixa (verde abeto), baixa (amarelo cidra), média (amarelo manga), alta (verde malaquita) e muito alta (ultra azul).

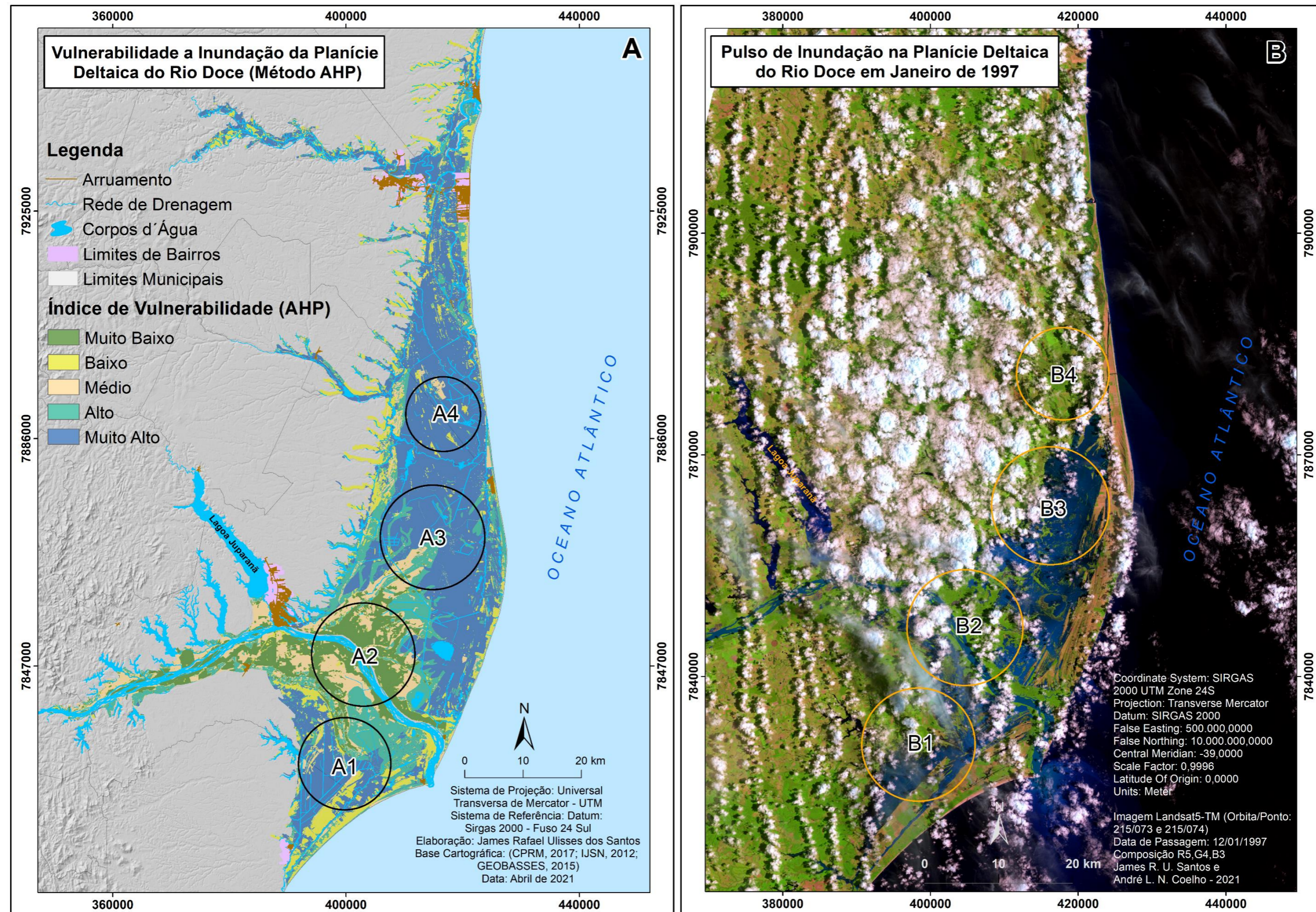
O setor A1 localiza-se no extremo sul da área de estudo coincidindo com as feições planície fluvio-marinha, cordões litorâneos helênicos (cristas de praia) e paleocanais fluviais, sendo caracterizado por um relevo plano e suave ondulado, com amplitudes altimétricas pouco acentuadas. Devido a isso, nesse setor em razão do fator geomorfológico (conectando as feições já citadas), a vulnerabilidade a inundações apresentou classes muito baixa, baixa, alta e muito alta. Desse modo, a pôde ser comprovada e validada comparando A1 com B1 na imagem de satélite.

O setor A2 está inserido na parte central da planície deltaica, que corresponde aos subambientes planície interdistributária e paleocanais fluviais. Neste setor são expressas as maiores amplitudes altimétricas, em relevo suave ondulado e ondulado, sendo fatores determinantes que o caracterizou com as classes de vulnerabilidade a inundações muito baixa (predominante) e média. Já no setor B2 observa-se na imagem de satélite que a inundações não atingiu todo o perímetro delimitado, devido a sua maior altitude.

Os setores A3 e A4 estão situados no centro-norte da área, sobre os subambientes deltaicos paleocanais fluviais, planície fluvio-marinha e cordões litorâneos pleistocênicos em relevo plano. Com isso, em razão dos aspectos geomorfológicos existentes, a área apresenta condições naturais específicas para a ocorrência de inundações periódicas. Sendo assim, a vulnerabilidade a inundações nesses setores apresentou classes alta e muito alta. Com relação aos setores B3 e B4 na imagem, constatou-se que a extensão da inundações ratifica os setores inundados no modelo, com exceção para B4, que não possivelmente em função da resolução da imagem.

Para tanto, a vulnerabilidade muito alta cobre a maior extensão inundada, tendo em vista que essa parte da planície deltaica apresenta um contexto natural que propicia as inundações e alagamentos, devido a seus aspectos fisiográficos e topográficos (relevo plano), configurando-se como terras baixas.

Figura 55 - A Figura 55 A representa a vulnerabilidade a inundações da planície deltaica por meio do método AHP. Já a Figura 55 B evidencia, através da imagem de satélite Landsat - 5, a inundações da área ocorrida no ano de 1997.



Fonte: SANTOS, J.R.U.; COELHO, A. L. N (2021).

---

Para este contexto, realizou-se a aferição entre o modelo do potencial de inundação simulado com *lógica booleana* e a extensão da inundação representada na imagem do satélite Landsat - 8 de 26/12/2013 (Figura 56). Nesse sentido, os picos de cheias que inundaram a planície deltaica foram analisados em setores relativamente semelhantes entre os produtos cartográficos.

O modelo de inundação no setor A1, quando comparado com B1 na imagem de satélite, demonstrou similaridade com relação a extensão da área inundada. A vulnerabilidade para o setor A1 teve o predomínio das classes média e alta (coincidindo com a planície fluviomarinha). No entanto, a classe baixa apareceu devido a existência de diques marginais (margem direita do canal principal do rio Doce), que por tratar-se de uma feição morfológica mais alta que seu entorno, a inundação não alcança a área totalmente, como observado na imagem de satélite.

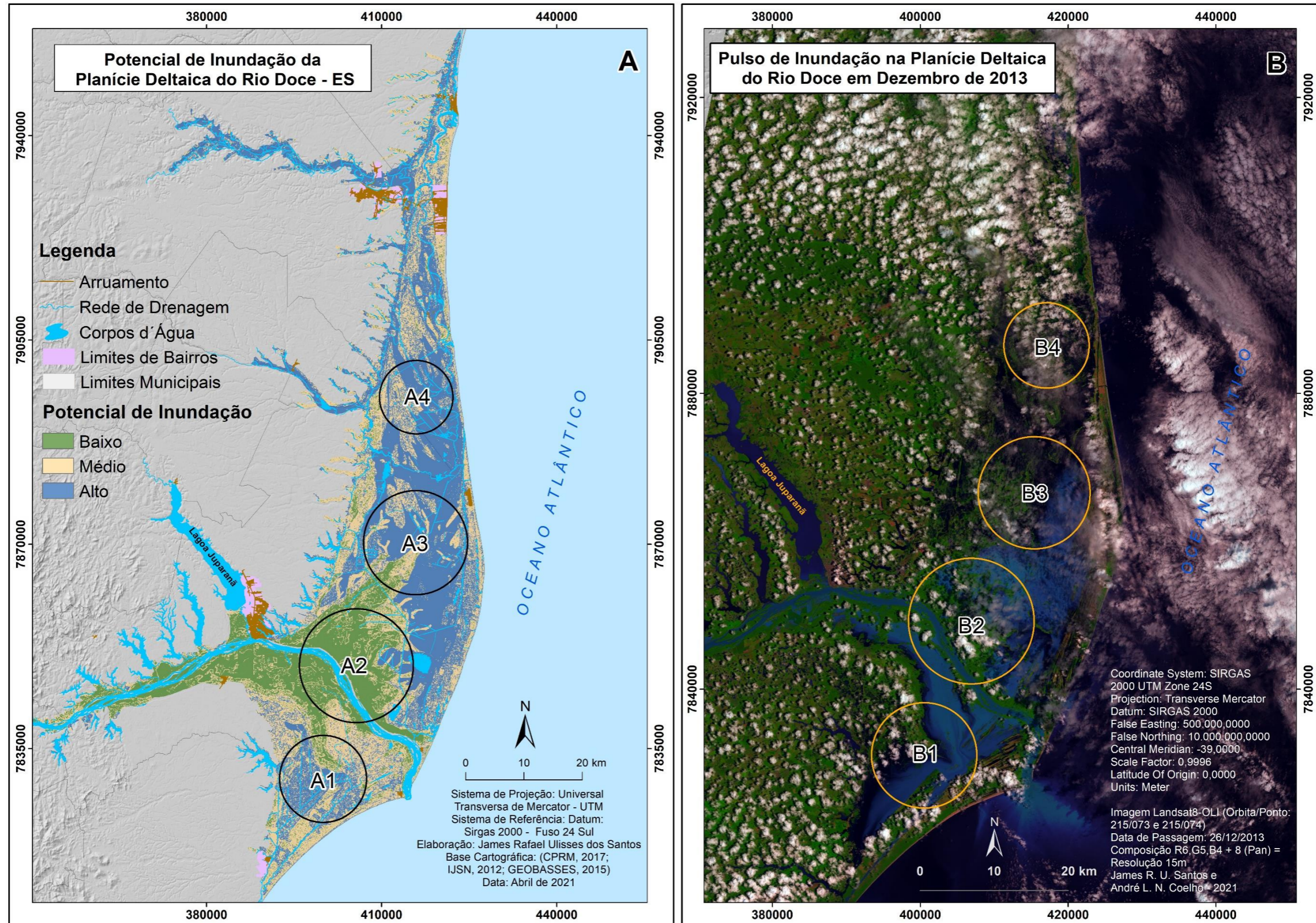
No setor A2, é onde encontram-se as maiores altitudes e declividades da área, delimitado sobre o subambiente deltaico planície interdistributária (feição formada pelo acúmulo de sedimentos transportado pelo rio Doce ao longo do tempo), e sendo ocupada ainda por mata nativa (vegetação remanescente de Mata Atlântica). Nesse setor o produto da modelagem indicou uma vulnerabilidade a inundação com classe baixa. Por outro lado, o setor B2 na imagem, evidenciou que a extensão da inundação atingiu uma área bem maior, com isso, infere-se que para esse setor (A2 em reação a B2) o modelo não apresentou um resultado satisfatório, tendo em vista, que a vulnerabilidade deveria ter sido mais alta.

Os setores A3 e A4 encontram-se delimitados na parte centro-norte da área de estudo, sobre as feições morfológicas paleocanais fluviais, planície fluviomarinha e cordões litorâneos pleistocênicos em relevo plano. No modelo de inundação as classes de vulnerabilidade foram a média e a alta (predominando da alta). Nos setores B3 e B4 da imagem de satélite, pode-se comprovar a correlação existente entre a extensão da área inundada com o potencial de inundação derivado do modelo algébrico.

O alto potencial de inundação foi predominante, principalmente devido a sensibilidade do ambiente, já que a maior extensão da área é composta pelas planícies fluviomarinha e fluviolagunar, caracterizando-se como terras baixas que atrelado a outros fatores como declividade, solos e uso e cobertura da terra a torna vulnerável a eventos de inundação.



Figura 56 - A Figura 56 A apresenta a modelagem da planície deltaica, com base em álgebra de mapas (lógica booleana), elaborado a partir da experiência do pesquisador. Já a Figura 56 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica em dezembro de 2013



Fonte: SANTOS, J.R.U; COELHO, A.L.N (2021).

---

O mês de dezembro de 2013 registrou os maiores índices acumulados pluviométricos dos últimos 90 anos no Estado do Espírito Santo (INCAPER, 2014; COELHO et al., 2014; COELHO, 2019), resultando em picos de cheias e transbordamento do canal principal do rio Doce, tanto na margem direita como na esquerda, vindo a inundar as terras baixas correspondentes às planícies fluvial e deltaica.

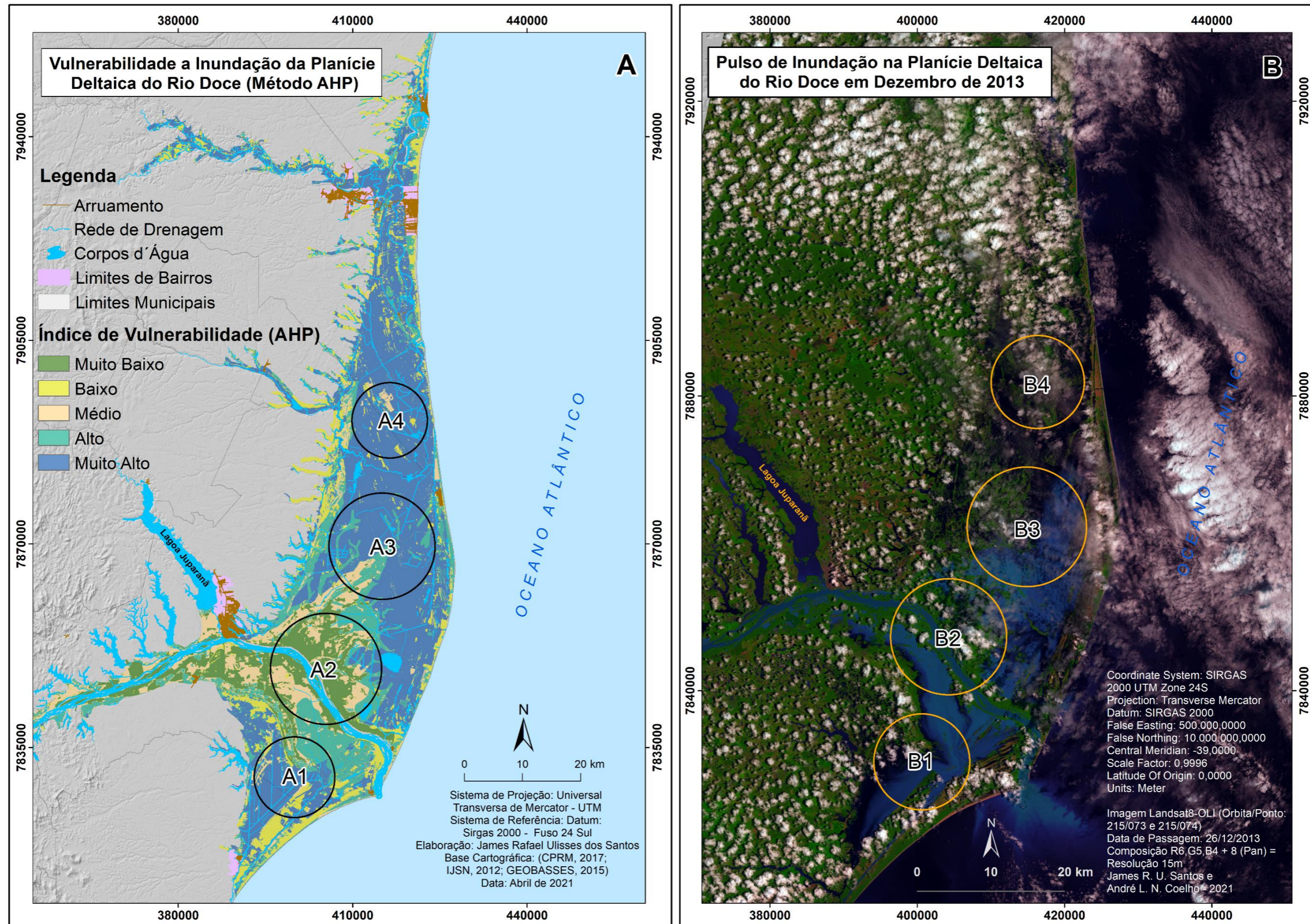
O modelo de inundação que usou o método AHP, foi o que melhor representou a realidade da planície deltaica quando comparado a extensão da inundação observada na imagem do satélite Landsat - 8 (Figura 57). Ao analisar os setores nota-se que em A1 a vulnerabilidade foi muito alta na parte que corresponde a planície fluviomarinha, baixa onde se encontra os cordões litorâneos holocênicos (de maior altura) e muito baixa na equivalência com os diques marginais. Desse modo, no setor B1 da imagem verifica-se a semelhança e correlação da área inundada com a representação do modelo.

No setor A2, o modelo apresentou uma vulnerabilidade a inundação com duas classes predominantes: muito baixa na equivalência com a planície interdistributária e os diques marginais, que por serem feições morfológicas com maior altitude que o entorno não são totalmente inundadas. Já a classe média para esse setor corresponde aos paleocanais, como pode ser evidenciado no setor B2, na imagem de satélite que não inundou completamente a área.

Com relação aos setores A3 e A4, como estão inseridos na planície fluviomarinha (subambiente deltaico) que devido aos seus aspectos naturais, de terras baixas sujeitas a inundações periódicas, apresentaram vulnerabilidade a inundação alta e muito alta. Desse modo, ao confrontar os setores representados na modelagem com os setores B3 e B4 da imagem de satélite, verificou-se a equivalência existente entre setores inundados na planície deltaica.

A vulnerabilidade a inundação representada no modelo algébrico e validada pela imagem do satélite Landsat - 8 comprovou a extensão da área inundada. O evento de inundação do ano de 2013 deve-se ao elevado volume de chuvas precipitado a montante da bacia hidrográfica do rio Doce, fato que resultou na cheia e transbordamento do canal principal do rio, causando assim, danos e prejuízos às populações ribeirinhas do médio-baixo rio Doce e planície deltaica, afetando setores industriais e agropecuários em decorrência das inundações e alagamentos.

Figura 57 - A Figura 57 A apresenta a modelagem a inundação da planície deltaica com base no método AHP. Já a Figura 57 B apresenta a extensão dos pulsos de inundação na planície deltaica da imagem do satélite Landsat - 8, em dezembro de 2013.



Fonte: S ANTOS, J.R.U.; COELHO, A.L.N (2021).

---

Para fins de comparar a inundação na planície deltaica com imagem de satélite, extraiu-se (através do processo de vetorização) a extensão inundada da imagem do satélite Landsat - 8, referente a dezembro do ano de 2013. Desse modo, a extensão inundada correspondeu a aproximadamente 1.310 km<sup>2</sup>, evidenciando com isso, uma área de dimensão bastante significativa (Figura 58).

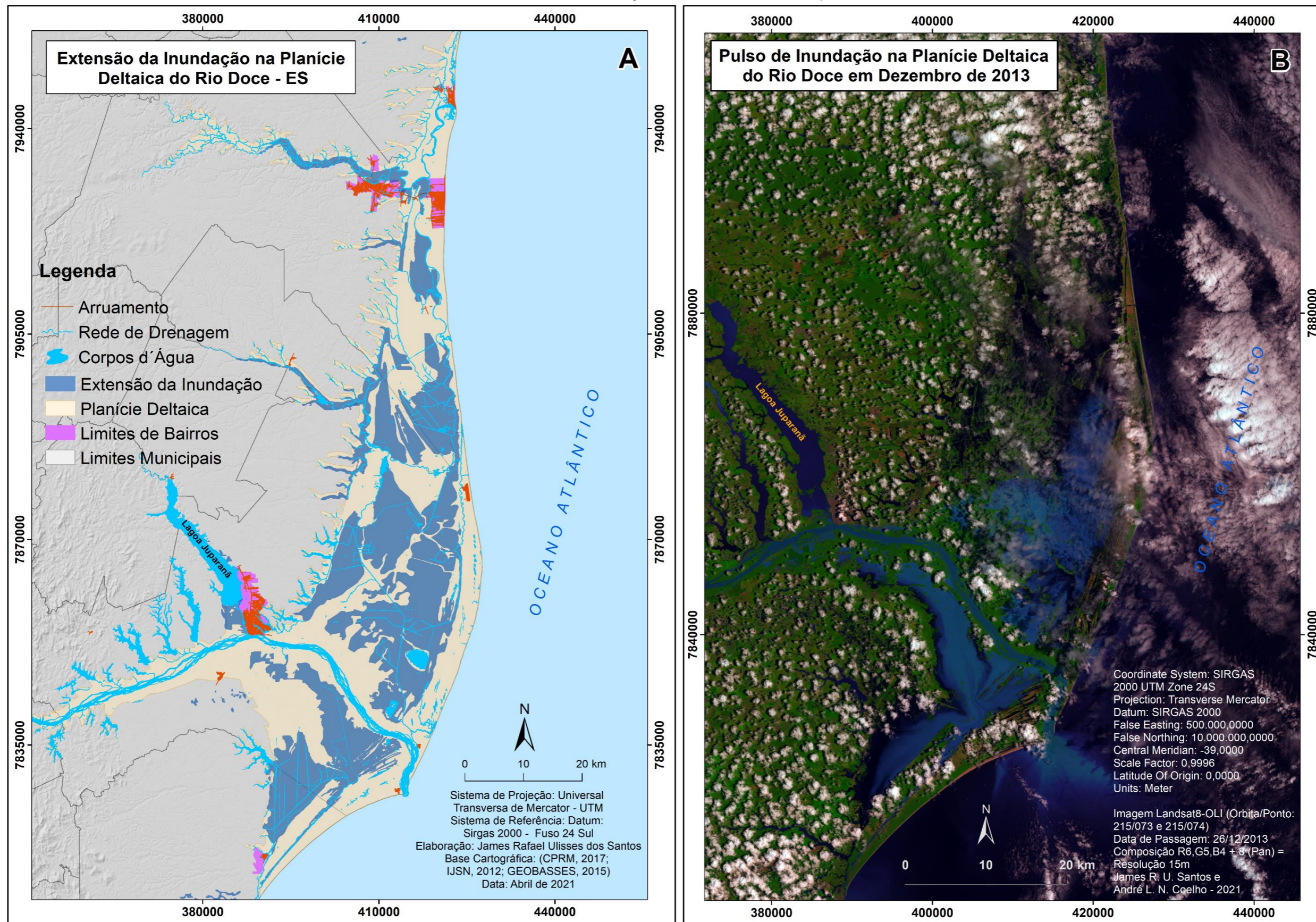
A Figura 58 A mostra a espacialização alcançada pela extensão da inundação sobre a planície deltaica, caracterizando assim o transbordamento do canal principal, em função da cheia do rio Doce, que gerou pulsos de inundação decorrentes do acumulado pluviométrico a montante da bacia. Desse modo, os setores atingidos pelas águas foram os de relevo plano e suave ondulados, que coincidem com as planícies fluviomarinha e fluviolagunar. Além disso, com o rompimento dos diques marginais dos paleocanais e principalmente o da margem direita do canal principal do rio Doce (Figura 58 B), os setores que correspondem a planície fluviomarinha ficaram completamente inundados.

Os setores que não foram alcançados pela inundação coincidem com as feições morfológicas dos cordões litorâneos holocênicos (cristas de praia), sendo formas sedimentares quaternárias que, apesar de bordejar a linha de costa, tem altura suficiente para não permitir a total inundação. Os demais setores que não sofreram com os pulsos de inundação estão relacionados aos terraços fluviais, planície interdistributária e cordões litorâneos pleistocênicos (inundados parcialmente), sendo as áreas detentoras das maiores altitudes e declividades.

No que diz respeito ao uso e cobertura da terra na planície associada à inundação observou-se que a extensão da inundação ocorre, com maior expressão, sobre as áreas de pastagem e de brejo (terrenos “pantanosos”), principalmente nos setores centro-sul e centro-norte da planície deltaica, em cotas topográficas e altimétricas de menor gradiente. São porções com forte presença da atividade produtiva agropecuária.

Já as áreas que não foram atingidas pelos pulsos de inundação correspondem aos setores que tem como uso da terra: fragmentos de vegetação de Mata Atlântica (classes de mata nativa, na porção central), vegetação de restinga e também uma fração de pastagem (de sul a norte), ao longo da faixa que bordeja toda a linha de costa (cristas de praia) na área de estudo.

Figura 58 - A Figura 58 A representa a extensão da inundação na planície deltaica do rio Doce, extraída da imagem do satélite Landsat - 8 de dezembro de 2013. A Figura 58 B corresponde a imagem do satélite Landsat - 8 com a inundação de dezembro de 2013 na planície deltaica.



## 6.7. Discussão sobre inundação na planície deltaica

As cheias que ocorrem no rio Doce resultam em inundações do tipo graduais, estas que são relacionadas as grandes bacias hidrográficas e/ou rios de planícies, sendo cíclicas e sazonais. Esses eventos hidrológicos caracterizam-se por alcançar grandes extensões, estando associados mais a prolongados períodos chuvosos do que a chuvas intensas e concentradas (CASTRO, 2003; MAGALHÃES JR, BARROS, 2020).

A zona de transbordamento da planície deltaica foi destacada através de imagens de satélites (Landsat - 8), assim dois períodos diferentes de eventos hidrológicos puderam ser analisados. Um de cheia registrado em 2013 e o outro de vazante verificado em 2014, com isso, os setores com sazonalidade de inundação foram avaliados (COELHO et al.,2014).

Segundo Coelho et al. (2014), parte significativa da planície deltaica do rio Doce forma uma área de transbordamento com uma dinâmica de escoamento superficial das águas lântico, associado aos vários tipos de usos e coberturas da terra, como por exemplo: unidades de conservação, reservas energéticas (petróleo e gás), habitações, pecuária e agricultura. Além de fatores de valor histórico-cultural, turístico e científico.

Com a análise das cotas máximas de cheias anuais do rio Doce da série de dez anos (2003 a 2013), com base nos dados da estação fluviométrica localizada no Cais do Porto do município de Colatina, constatou-se que a frequência das cheias do rio Doce vem aumentando gradualmente ao longo dos anos. Desse modo, verificou-se que a partir do ano de 2005, ficou acima do nível da cota de alerta que é de 385cm e da cota de inundação que corresponde a 380cm (ANA, 2010; GIL et al.; 2014).

Na prática esse aumentar foi evidenciado com o evento ocorrido em 2013 que inundou um conjunto residencial construído na planície de inundação (margem esquerda) do rio Doce, a uma distância de aproximadamente 500 a 600 metros das margens do rio (GIL et al., 2014). Na Figura 59 estão registrados dois cenários do comportamento do nível das águas do rio Doce em Colatina, o primeiro mostra o leito normal do rio em período de vazante em 2015. Já o segundo cenário apresenta o período de cheias em 2016, causando inundação e alagamento.

Figura 59 - Rio Doce em Colatina, representado em dois momentos: acima um período quando as águas estão no leito normal (registrado em 9/11/2015) e abaixo durante a cheia causando Inundação e alagamento (registrado em 21/01/2016).



Fonte: Viviane Machado/ G1 e Raquel Lopes/ A Gazeta (2016)

As cheias do rio Doce são decorrentes do volume de chuva precipitada na bacia, particularmente no alto curso do rio no estado de Minas Gerais, e como consequências, no médio-baixo curso no estado do Espírito Santo, ocorre o transbordamento em diversos pontos. Alguns afluentes são represados, a exemplo do rio Santa Maria, causando preocupação as comunidades ribeirinhas que residem nas de influência (várzeas) desses cursos d'água, por conta dos impactos dos alagamentos (TV GAZETA, 2022).

A cheia ocorrida em janeiro de 2022 no rio Doce, teve reflexo no seu baixo curso, onde em Colatina durante a madrugada do dia 10 o rio já tinha alcançado a cota de atenção que é de 4,6 metros (Tabela 14). Na madrugada do dia 12 o registro foi de 6,2 m, um aumento de 1,6 m em 24 horas. No dia 13 o volume das águas registrado foi de 7,72 m e baixando para 6,54 m no dia 14, porém superando ainda o nível da cota de inundação do município que é de 5,80 m (A GAZETA, 2022).

Tabela 14 - Referências das cotas de inundação em Colatina – ES.

<b>Região</b>	<b>Localização</b>	<b>Cota de inundação nessa área</b>
	Acesso por baixo da ponte Florentino Ávidos	610 cm
	Rodoviária	710 cm
	Calçadão Oba	710 cm
	Alexandre Calmon	760 cm
Sul	Calçadão Getúlio Vargas	810 cm
	Av. Beira Rio – área verde	710 cm
	Faça Fácil/ Benjamim Costa	560 cm
	Buraco da Comadre	560 cm
	Rua Hospital Santa Maria	710 cm
	Horta Maria das Graças	610 cm
Norte	Rua Vitória Cosme – Santa Helena	710 cm
	Bairro Martineli – Capivarinha	660 cm

Fonte: CPRM/COMPDEC de Colatina (2022).

Com isso, vários pontos de alagamentos foram identificados em Colatina, principalmente nos bairros Marista, Martinelli, Maria das Graças e Vila Lenira, ficando 29 famílias desalojadas. No trecho da avenida beira-rio, sob a ponte Florentino Ávidos (Figura 60), no centro, foi necessária uma interdição devido ao volume de água na via (A GAZETA, 2022).

Conforme reportagem de A Gazeta do dia 14/01/2022, o trecho da BR-248, que liga Colatina a Linhares ficou parcialmente alagado, tendo os condutores de veículos automotores que trefegar por meia pista, devido ao alagamento do outro lado da via. Nesse trecho o rio Doce alcançou mais de 2 metros acima da cota de inundação (Figura 61), sendo essa cheia decorrente das fortes chuvas que caíram a montante da bacia, em Minas Gerais. Houve também transbordamento do canal do rio Santa Maria, fato que contribuiu para o alagamento do bairro Vila Lenira, em Colatina (A GAZETA, 2022).



Figura 60 - Monitoramento do nível de água do rio Doce na ponte Florentino Ávidos em Colatina.



Fonte: Reprodução/TV Gazeta (2022).

Figura 61 - Registro da subida das águas do rio Doce em Colatina (ES).



Fonte: Reprodução/TV Gazeta (2022).

Em Linhares, o nível do rio Doce, na manhã do dia 10 de janeiro de 2022 subiu 3,50 m (Figura 62) ultrapassando a cota de inundação, que é de 3,45 m. De acordo com a Defesa Civil do município baseando-se nas estimativas de medições, a previsão era que na tarde do mesmo dia, o nível da água chegasse a 3,65 m. Com esse volume de água, a população que reside próximo as margens do rio, corre o risco de ser atingida pela inundação, e desencadeando os alagamentos (TV GAZETA NORTE, 2022).

Conforme boletim informativo da prefeitura de Linhares, algumas famílias que residem no bairro Olaria, nas proximidades do curso fluvial, foram orientadas a deixar suas casas e ficar num abrigo localizado no ginásio do bairro Conceição. No entanto, umas das dificuldades enfrentadas pelo poder público e a defesa civil municipal, é a resistência de algumas pessoas para não saírem de suas casas mesmo diante da iminência de perda de bens materiais ou até mesmo de vidas humanas, em razão dos alagamentos (TV GAZETA NORTE, 2022).

Uma particularidade que agrava a situação do município de Linhares é o fato de ser o último da bacia antes das águas do rio Doce chegar ao mar. Desse modo, nos períodos de cheia recebe um elevado volume de água da porção a montante da bacia, sem contar a presença de importantes UHEs, que na eventualidade de abertura das comportas, caso seja necessário, pode se tornar um fator de risco para o baixo rio Doce (GIL et al.; 2014).

Figura 62 - Régua com registro do nível da água do rio Doce, que chegou a 3,50 m.



Fonte: Heriklis Douglas/TV Gazeta Norte (2022).

Em razão da ciclicidade e sazonalidade, relacionado a precipitações prolongadas, as cheias do rio Doce, são registradas entre os meses de dezembro e

---

janeiro, a exemplo de janeiro de 1997 e dezembro de 2013 (evidenciadas através de imagens de satélites). Além da mais recente registrada em janeiro de 2022 (divulgada pela imprensa através de reportagens, vídeos e fotografias). Esta última cheia causou danos a diversas comunidades ribeirinhas no médio-baixo rio Doce no Estado do Espírito Santo, devido a inundações e alagamentos, principalmente nos municípios de Colatina e Linhares<sup>13</sup>.

Diante do exposto vale salientar que estudos relacionados a inundação fluvial em planície deltaica, devem ser realizados mediante integração de fatores naturais e antrópicos, para com isso, garantir resultado mais concisos e efetivos, sobretudo, com o uso do SIG. Nesse sentido, a discussão sobre a vulnerabilidade a inundação na planície deltaica do rio Doce partiu da análise dos aspectos físicos e socioeconômicos que corroboram com esses eventos.

Nesse sentido, Chen et al. (2016) realizaram um estudo integrado sobre mudanças espaço-temporais devido a inundação em terras baixas costeiras, especificamente na planície de Kujukuri no Japão, para os anos de 1970, 2004 e 2013. A área foi avaliada através de mapas (modelos) de riscos de inundação em ambiente SIG com base em análise multicritério. Com isso, foram verificadas mudanças espaciais graduais quanto ao risco potencial de inundação, principalmente para o período entre 2004 a 2013, nos setores norte e leste da área (CHEN et al., 2016).

No caso da planície deltaica do rio Doce, assim como no estudo desenvolvido por Chen et al. (2016), no litoral japonês, a avaliação da inundação foi realizada com a integração de variáveis também com uso de SIG. No entanto, para a planície deltaica do rio Doce os resultados da modelagem foram comparados com a inundação representada em imagens de satélites.

Nas referidas imagens de satélites não foi possível verificar uma progressão significativa quanto a um aumento na extensão da inundação, tendo em vista que o perímetro a ser ou não inundado irá depender da quantidade e intensidade das precipitações a montante da bacia, que poderá resultar em aumento no volume das

---

<sup>13</sup> A ênfase dada aos eventos de inundação e alagamento nos municípios capixaba de Colatina e Linhares, ocorridos devido aos períodos de cheias e vazantes do rio Doce, deu-se em razão desses municípios serem os dois últimos antes do rio Doce desaguar no mar. Além disso, informações disponíveis como dados de vazão utilizados no estudo de inundação na planície deltaica, foram adquiridos em estações fluviométricas nesses municípios (da estação fluviométrica de Colatina).

águas na bacia (cheia) e conseqüentemente transbordamento do canal do rio principal, e assim inundando os setores mais suscetíveis da planície deltaica.

Vale salientar que o clima predominante na bacia é o tropical úmido com a estação chuvosa de outubro a março, com os maiores totais pluviométricos anuais variando entre 900mm a 1500mm, ocorrendo tanto nas regiões de altitudes elevadas, como nas litorâneas. O rio Doce tem um regime fluvial perene apresentando picos de cheias médias (1.509,3 m<sup>3</sup>/s) durante os meses de dezembro a março, e as vazantes extremas (486,5 m<sup>3</sup>/s) verificadas entre os meses de agosto e setembro (COELHO, 2007; 2014).

As vazões máximas (picos de cheias) que ocorreram entre os meses de dezembro a março resultaram em pulsos de inundação na planície deltaica, onde a extensão da área alcançada pela inundação pôde ser observada e comprovada através das imagens dos satélites Landsat-5 (dada de passagem: em 12/01/1997) e Landsat-8 (com dada de passagem em 26/12/2013).

Coelho et al. (2014) identificaram também nas imagens do satélite Landsat-8 que a planície deltaica do rio Doce ficou inundada durante o período de cheia registrado em 26/12/2013, e completamente seca no período de vazante com registro para 19/05/2014. Com as observações dos setores inundados nas imagens de satélite, foi possível validar os modelos elaborados com a técnica de álgebra de mapas. Cabendo enfatizar que os dados dos picos de cheia e de vazão coincidem com os meses e anos dos períodos de inundação e alagamento.

Nesse sentido, inundação em ambiente deltaico, pode estar associada tanto aos efeitos hidrometeorológicos continentais como a ação das forçantes oceanográficas. Um exemplo de estudo que envolve esses dois tipos de eventos de inundação, foi realizado por Van Der Meer (2009) no sistema deltaico Reno-Mosa-Escalda, no mar do norte, na costa dos Países Baixos.

As inundações em ambientes deltaicos de há muito é motivo de preocupação nos Países Baixos (principalmente na província da Holanda do Norte), em razão desse país se encontrar (boa parte do seu território), abaixo do nível médio do mar e sendo extremante suscetível a eventos de inundação. Assim, para tentar conter as inundações durante a ocorrência de tempestades costeiras foram construídas barreiras como diques e quebra-mares (tem como função principal dissipar a energia das ondas) com o intuito de proteger as costas baixas, mesmo existindo barreiras naturais (VAN DER MEER, 2009).

---

Para tanto, usando modelagem matemática Van Der Meer (2009), determinou o potencial de inundação na planície deltaica do Reno-Mosa-Escalda, relacionada a duas matrizes geradoras: a primeira sob a ótica dos picos de cheias dos rios e a segunda associada as forçantes costeiras como ondas e marés de tempestade (sizígia). Contudo, quando esses eventos ocorrem de maneira simultânea os efeitos são danosos, sendo necessário o acionamento dos sistemas de proteção (comportas) contra inundações.

A avaliação da vulnerabilidade à inundação em terras baixas costeiras, através de modelos que usam álgebras de mapas integrando variáveis físicas e socioeconômicas, torna-se um instrumento de grande importância no ordenamento territorial e tomada de decisão. Para a planície deltaica do rio Doce, a modelagem quando comparada as vazões máximas e aos pulsos de inundação das imagens de satélites mostrou-se uma ferramenta indispensável para o ordenamento, gerenciamento, planejamento ambiental e socioeconômico da área de estudo.

A análise integrada dos aspectos físicos e antrópicos foi imprescindível para determinar o índice de vulnerabilidade à inundação da planície deltaica. As variáveis foram empregadas na modelagem a inundação conforme as características da área de estudo. E as que receberam os maiores pesos por apresentar maior relevância foram: declividade, geomorfologia e o uso e cobertura da terra.

A declividade mostrou-se como uma das variáveis mais importantes na determinação da vulnerabilidade a inundação na planície deltaica. A área apresenta uma tendência natural a ocorrência de inundações, durante os períodos de cheias do rio Doce e seus tributários, devido a seus aspectos topográficos como um relevo relativamente plano e suave ondulado. No caso das variáveis geologia e solos, estas tiveram relevância intermediária em função de suas características físicas não ser fator determinante quanto a vulnerabilidade a inundação.

A geomorfologia foi a variável de maior importância na modelagem da vulnerabilidade a inundação, principalmente porque os setores da área que se apresentaram mais vulneráveis, principalmente quando comparado com a extensão da inundação nas imagens de satélites, correspondem as feições geomorfológicas planície fluvio-marinha e fluviolagunar. Esses subambientes deltaicos encontram-se nas menores altitudes, tendo um relevo praticamente plano, sendo periodicamente alagadas (durante as cheias) em decorrência do transbordamento do canal principal do rio Doce.

---

O uso e cobertura da terra foi outra variável que exerceu grande influência na modelagem da vulnerabilidade a inundação, principalmente por representar não aspectos naturais como socioeconômicos da planície deltaica. Os tipos de uso da terra têm forte relação com as feições morfológicas, formas de relevo e com as classes de solos.

A atividade agropecuária na área é bastante pujante e diversificada, em especial no cultivo de frutas e na pecuária extensiva, razão pela qual tem a pastagem como classes de uso da terra predominante. Essa atividade é exercida, sobretudo, em propriedades rurais que coincidem com as feições morfológicas planícies fluviolagunar e fluviomarinha, sobre a classes dos Gleissolos e Organossolos com ou sem influência marinha. Desse modo, por se encontrar em um ambiente com esses aspectos topográficos, torna-se potencialmente vulnerável a inundação.

No setor que compreende os fragmentos de vegetação nativa (resquícios de vegetação de Mata Atlântica), localizado nas duas margens do canal principal do rio Doce, correspondendo principalmente as feições morfológicas planície interdistributária e dos paleocanais fluviais. Já a vegetação de restinga está presente ao longo da extensão que bordeja a orla litorânea sobre as cristas de praia. Esses setores com existência de vegetação nativa estão relacionados as altitudes mais elevadas, por esse motivo são alcançados parcialmente pelos pulsos de inundação.

A partir da modelagem, foi possível comparar o modelo algébrico que melhor representou a espacialização do potencial e do índice de vulnerabilidade a inundação da planície deltaica. O modelo inundacional derivado da aplicação do método multicritério AHP, quando comparado às vazões extremas e aos pulsos de inundação das imagens de satélites, representou melhor a realidade que o modelo usando lógica *booleana*. Isso se deve, sobretudo, devido ao AHP ser um método mais robusto (consolidado) e com pesos previamente determinados, diferente do *booleano* que é um método mais simplificado e com atribuição de pesos baseado na experiência do pesquisador.

O índice de vulnerabilidade a inundação na planície deltaica foi potencializado pelas variáveis declividade, geomorfologia e uso e cobertura da terra. Isso porque como a área se configura como terras baixas, sendo mais baixas que as cotas máximas de enchentes do rio Doce, torna-se naturalmente suscetível a inundações. Por outro lado, independentemente do método de modelagem utilizado, a vulnerabilidade mais baixa ocorre na correspondência das feições terraços fluviais,

---

planície interdistributária e paleocanais, que são setores mais elevados que o entorno e menos suscetíveis.

Para tanto, com a análise comparativa dos modelos de inundação e das imagens de satélites, pode-se comprovar que a planície deltaica se mostrou muito vulnerável aos pulsos de inundação decorrentes das cheias do rio Doce. Contudo, as inundações devem ser compreendidas através de duas perspectivas: a) negativa, quando os eventos hidrológicos causam danos e prejuízos em áreas urbanizadas atingidas pelo transbordamento dos cursos d'água; e b) positiva quando a extensão da inundação alcança as planícies fluviais e no caso do rio Doce, a planície deltaica, contribuindo significativamente para a fertilidade dos solos devido ao transporte de sedimentos ricos em matéria orgânica. Isso favorece a atividade agropecuária e o desenvolvimento socioeconômico dos municípios que integram a área.

A dinâmica dos eventos de inundação não impacta a planície deltaica somente de forma negativa, pelo contrário, no ponto de vista geoecológico, torna o ambiente sustentável, pois as inundações contribuem para sua fertilidade em termos de matéria orgânica. Isso faz com que a área seja motivo de interesse na agricultura com o plantio de uma diversidade de culturas, sobretudo, de frutas e na pecuária com a criação extensiva de gado de corte e leiteiro. Além de ser um atrativo para outros setores da economia como no setor industrial. Desse modo, o ambiente não só apresenta uma capacidade de sustentabilidade socioambiental, como também de resiliência quanto a recuperação dos danos causados pelos pulsos de inundação.

Contudo, apesar dos modelos apresentarem a planície deltaica como altamente vulnerável as inundações fluviais (sendo a extensão da área inundada comprovada com as imagens de satélites), constatou-se que existe um favorecimento em termos de benefícios, haja vista que, devido a ciclicidade das cheias do rio Doce (períodos de enchentes e vazantes), o ambiente permanece num equilíbrio dinâmico (sustentável). Além disso, tem capacidade de recuperação (resiliência) dos seus atributos naturais em razão dos eventuais danos causados pelas inundações.

## 7. REFLEXOS DOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS NO MÉDIO-BAIXO E NA PLANÍCIE DELTAICA DO RIO DOCE

Este capítulo versa sobre os efeitos dos impactos socioambientais recorrentes no médio-baixo rio Doce, como as mudanças ocasionadas na morfologia do canal principal do rio e nas comunidades ribeirinhas, devido a construção de barragens, a exemplo dos reflexos causados pelo rompimento da barragem de rejeito de minério de ferro em Mariana (MG), ao longo do curso d'água por onde passou, e principalmente seus impactos na planície deltaica.

Os impactos socioambientais caracterizam-se como mudanças que ocorrem devido às ações antrópicas ao meio ambiente, tanto negativas como positivas. Desse modo, conforme a resolução Conama Nº001 de janeiro de 1986, em seu Art. 1º, considera-se o impacto ambiental como:

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

Diante do exposto, nota-se que as variadas práticas exercidas pelo homem no meio ambiente causam impactos ambientais. Esses impactos, contudo, podem ser negativos ou positivos. Na maioria dos casos, os impactos são negativos, fato que resulta em degradação ambiental (SANTOS, 2021).

Como principais impactos ambientais negativos desencadeados pelas atividades do homem, podem ser exemplificados os seguintes: degradação dos solos devido ao uso e manejo inadequados ou mineração, poluição dos rios pelo lançamento de efluentes industriais e domésticos, poluição do ar, destruição da flora e fauna, inundações e alagamentos, dentre outros (SANTOS, 2021; VGR, 2021).

Quanto aos impactos ambientais positivos, mesmo ocorrendo com menor intensidade, são evidenciados, como por exemplo, a criação de áreas de proteção ambiental, recuperação de área degradadas, até mesmo a limpeza dos lagos utilizados para o plantio de mudas. Tratam-se de medidas que impactam no meio ambiente (SANTOS, 2021).

No Brasil, os impactos ambientais, teve início com o desmatamento do pau-brasil durante a colonização portuguesa, vindo os impactos se intensificar entre as



décadas de 1930 a 1970, a partir dos processos de industrialização e urbanização. Entretanto, quanto as políticas ambientais no país, estas tardaram para serem implantadas, tendo em visto que a primeira lei ambiental brasileira só foi promulgada em 1981, através da Política Nacional de Meio Ambiente (VGR, 2021).

### 7.1. Impacto ambiental no sistema fluvial por atividade antrópica: médio-baixo rio Doce

O sistema fluvial, assim como todo sistema geomórfico, dispõe de um vasto número de parâmetros, e sua hierarquia, sensibilidade e inter-relação são muito complexas, de maneira que a interferência humana num local específico, pode reverberar tanto espacial, por longos intervalos, como temporal, por um longo período de tempo após a intervenção (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), os impactos hidrofísicos e as alterações no sistema fluvial impulsionados pelo homem, podem ser classificados como diretos e indiretos (Quadro 3). Os diretos são aqueles verificados diretamente no canal, a exemplo, das obras de contenção de cheias (diques) e/ou de controle de erosão (revestimento). Já os indiretos são os induzidos por ação na própria bacia de drenagem, principalmente associados ao uso e cobertura da terra (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Quadro 3 - Impactos hidrofísicos e mudanças no sistema fluvial induzidos pelo homem.

Natureza do impacto/mudança	Tipo de Intervenção	Finalidade da intervenção
Direta	Regulação de fluxo Canalização Dragagem do canal, remobilização de sedimentos da planície aluvial	Estocagem de água por reservatórios Transferência de fluxo Estabilidade de bancos e diques Retificação de canal, irrigação, transposição de bacias Implementação de vias navegáveis e mineração
Indireta	Uso e cobertura da terra na bacia Alteração na rede de drenagem	Desmatamento Práticas agrícolas Construções Urbanização Mineração Sistema de irrigação Sistema de galerias pluviais Estradas

Fonte: Adaptado de (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

Um dos principais impactos ambientais ocorridos no médio-baixo rio Doce foram as construções de barragens para a geração de energia, a exemplo das

Usinas Hidroelétricas de Aimorés e Mascarenhas, no Estado do Espírito Santo. A construção de uma UHEs é uma tarefa de grande complexidade, pois para cada equipamento exige a elaboração de projetos específicos, tendo em vista que os dois sistemas operacionais mais usados são a *fio d'água ou armazenamento e liberação*, conforme as características do rio, de maneira a obter o melhor aproveitamento hidráulico em um ponto definido do canal fluvial da bacia hidrográfica (COELHO, 2007).

Versando de forma teórica, o uso e funcionamento das usinas hidrelétricas do tipo *fio d'água*, são as que menos causam impactos, devido a vazão do rio ser menos afetada, já que a quantidade de água que entra e sai do reservatório é praticamente a mesma. Outro fator é que o reservatório possui uma extensão da área inundada menor, se comparado com os das UHEs de armazenamento e liberação (COELHO, 2007). Apesar disso, o autor destaca que até mesmo essas barragens a fio d'água causam impactos socioambientais negativos, na maioria dos casos, superiores aos impactos positivos, sendo expresso pelos diversos tipos e intensidades (Quadro 4):

Quadro 4 - Tipos de impactos socioambientais e as causas e consequência no médio-baixo rio Doce (em parte de Minas Gerais e principalmente no Espírito Santo), em decorrência da implantação das UHEs de Aimorés e Mascarenhas.

Tipos de Impactos Socioambientais	Causam e Consequências
Impactos negativos diretos	Está relacionado com o local do empreendimento, provocando trauma cultural de restabelecimento involuntário, efeitos em cascata na economia que refletem, por sua vez, em causas sociais, como extinção de postos de trabalhos e/ou demanda de emprego/mão-de-obra especializada não existente na região afetada pela barragem.
Impactos sociais no entorno do reservatório	Alagamento de cidades, como a sede de Itueta (MG), sistema viário (estradas, ponte, ferrovia), propriedades urbanas e rurais.
Impactos de difícil quantificação	Alguns impactos sociais são de difícil medição e estabelecimento de um valor financeiro/econômico pelo fato de serem intangíveis, destacando-se a cultura, religião, identidade, liberdade e mobilidade.
Impactos a jusante de barragens	Estes impactos a nível de elaboração de EIA/RIMA, na maior parte das vezes, são avaliados com base nas exigências estabelecidas pelas Leis e Resoluções (ex: Resolução CONAMA 001/96), que cobram estudos somente na área do empreendimento (direta) e entorno (indireta), excluindo os efeitos a jusante da UHE. Esse tipo de estudo torna-se ainda mais complexo pelo fato de cada canal fluvial possuir uma dinâmica particular, em função da vazão, calha, localização, proximidade com aldeias, reservas nacionais, centros urbanos densos a jusante, proximidade com a linha de costa, relevo do entorno e, principalmente, das demandas por água a jusante do reservatório, o que pode provocar, com o passar dos anos, diversos conflitos relacionados aos usos.

Fonte: Adaptado de COELHO, A.L.N (2007). Elaborado por SANTOS, J.R.U (2021).

---

Conforme Coelho et al. (2014), Coelho (2008; 2019) e Park (1981), as mudanças derivadas das atividades antrópicas têm como consequência uma série de alteração fluviais, que podem ser representadas através de dois principais grupos. O primeiro corresponde as *modificações ocorridas diretamente no canal fluvial*, devido ao controle da vazão, vindo a alterar a morfologia do canal.

Destacam-se como exemplos, os reservatórios destinados ao armazenamento de água para a geração de energia, redimensionamento de margens com o intuito de amenizar os efeitos das enchentes (canalização e dragagem), extração mineral, erosão ou deposição de sedimentos. Os autores enfatizam ainda que esse tipo de interposição, habitualmente, modifica a seção transversal, o perfil longitudinal do rio e o padrão de canal. Além de distúrbios ecológicos que causam alterações hidrológicas, atingindo a produção primária e os habitats aquáticos (HECHT et al., 2019; COELHO, 2019).

Já o segundo grupo diz respeito as *interferências indiretas realizadas fora da área dos canais*, isto é, no interior da bacia e que reverberam no canal. Pode-se apontar como exemplo as alterações da descarga sólida do rio e, por consequente, a extensão restante da bacia a jusante. Estas ações estão associadas ao uso da terra, tais como: extração/desmatamento da cobertura vegetal, práticas agrícolas inadequadas, reflorestamento, atividades mineradoras e industriais, urbanização, irrigação, lançamento de efluentes (industriais e domésticos) dentre outros (COELHO, 2019).

Para tal, tendo em vista estas interferências, o ajuste morfológico do canal pode dar-se com intervalos temporais de longo, médio e curto prazo. A velocidade destas mudanças obedece a dinâmica do canal. Desse modo, uma das formas que o rio encontra para voltar ao seu equilíbrio fluvial é por meio da erosão de suas margens e/ou alteração topográfica do fundo do leito (COELHO, 2019).

Contudo, as alterações morfológicas fluviais podem variar temporalmente de dias a décadas para serem ajustadas e, levando em conta ainda a intensidade, quantidade e interferência, como por exemplo a construção de PCHs em cascata (exemplo do Jiulong river SE na China), ou mesmo, o rompimento de barragens/diques, nesse caso tendo um período de ajuste indefinido (LU et al., 2018; COELHO, 2019).

## 7.2. Os impactos ambientais e socioeconômicos derivados do rompimento da barragem de Fundão da Empresa Samarco e análise do pulso de inundação da lama/rejeitos no canal principal do rio Doce na planície deltaica

No dia 5 de novembro de 2015 (15 horas), ocorreu o rompimento da barragem (com rejeito de minério de ferro) de Fundão, no complexo de Germano, distrito de Bento Rodrigues (Figura 63), município de Mariana, Minas Gerais (BIAZON, 2018; SANTOS, 2021; VERVLOET, 2016). Considerado como uma “tragédia”, resultou em uma sequência de intermináveis impactos ambientais e sociais na região de Bento Rodrigues e ao longo do Rio Doce, com significativas alterações na paisagem. O rompimento da barragem pode ser apontado como um evento atípico, contudo, resultante de uma série de processos de interferência físico-paisagística na morfologia regional, derivado da intensa exploração polimineral dos últimos 40 anos ocorrida nesta região (VERVLOET, 2016).

Figura 63 - Visão panorâmica da enxurrada de rejeito no Distrito de Bento Rodrigues, Mariana - MG.



Fonte: Antônio Cruz/Jornal Grande Bahia (2020).

As duas principais empresas que exercem atividade mineradora na região são a Samarco Mineração S. A. e a Vale S.A, explorando, sobretudo, jazidas de minério de ferro. A quantidade de material lançado ao meio ambiente resultante da enxurrada

de lama (rejeito), equivaleu a cerca de 32 milhões de m<sup>3</sup> (BIAZON, 2018; VERVLOET, 2016).

O primeiro curso d'água atingido pela lama foi o córrego de Santarém, na sequência chegou ao Rio Gualaxo do Norte (Figura 64), e ao percorrer 55km alcançou seu afluente, o Rio Carmo. E após mais 22km, a lama encontra o Rio Doce, onde pelo seu canal principal, os rejeitos foram carreados até sua desembocadura, no município de Linhares, Espírito Santo, chegando ao Oceano Atlântico (BIAZON, 2018).

Figura 64 - Rio Gualaxo do Norte, em junho de 2016.



Fonte: Tássia Biazon (2018).

Entretanto, o impacto mais evidente foi no ambiente aquático, que culminou na morte de milhares de peixes em decorrência da falta de oxigênio na água por obstrução de suas brânquias. Outros micro-organismos e formas de vida foram afetados, destruindo por completo a cadeia alimentar. Além disso, a lama causou assoreamento, mudança dos canais fluviais e soterramento de nascentes. E quanto as estimativas para um possível restabelecimento do equilíbrio da bacia do rio Doce após o impacto, não são muito animadoras (SANTOS, 2021).

Ao todo foram cerca de 663,2km de recursos hídricos impactados, nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo (Figura 65), em cerca de 40 municípios, por onde a lama foi deixando um rastro de destruição. Nesse desastre, num primeiro

momento foram perdidas 19 vidas humanas, uma imensa área devastada de mata nativa e uma variedade de peixes e outros organismos aquáticos, que deixaram de existir, alterando drasticamente os ecossistemas da região. O impacto causou danos imensuráveis não só ao meio ambiente, como destruiu histórias das localidades ribeirinhas (BIAZON, 2018; SANTOS, 2021).

Figura 65 - Caminho percorrido pela lama no canal principal do Rio Doce, desde o local do rompimento da barragem de Fundão, até sua foz no litoral do Espírito Santo.



Fonte: Barcelos (2015). Extraído de Mathias e Júnia (2016).

O Complexo Minerário de Germano é composto por três barragens: Santarém, Germano e Fundão. A barragem de Fundão foi ativada em 2008, mas após três anos de funcionamento, sua segurança já era questionada. No momento da ruptura, a barragem detinha 50 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de minério de ferro, sendo classificado como resíduo não perigoso e não inerte para ferro e manganês, segundo a norma brasileira ABNT NBR 10004, para classificação de Resíduos Sólidos (BIAZON, 2018).

Conforme Biazon (2018) mais da metade do rejeito oriundo do rompimento da barragem de fundão, aproximadamente 32 milhões de m<sup>3</sup>, foram lançados no meio ambiente. E análises realizadas, constataram que mais de um ano depois, os 18

---

milhões de m<sup>3</sup> de rejeito restantes continuaram sendo transportados, gradualmente, em direção ao litoral do Espírito Santo.

Segundo laudo técnico preliminar do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), de novembro de 2015 (BIAZON, 2018), o trajeto da lama ocasionou:

mortes de trabalhadores da empresa e moradores das comunidades afetadas; desalojamento de populações; devastação de localidades e a consequente desagregação dos vínculos sociais das comunidades; destruição de estruturas públicas e privadas (edificações, pontes, ruas etc); destruição de áreas agrícolas e pastos, com perdas de receitas econômicas; interrupção da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas (Candongá, Aimorés e Mascarenhas); destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa de Mata Atlântica; mortandade de biodiversidade aquática e fauna terrestre; assoreamento de cursos d'água; interrupção do abastecimento de água; interrupção da pesca por tempo indeterminado; interrupção do turismo; perda e fragmentação de habitats; restrição ou enfraquecimento dos serviços ambientais dos ecossistemas; alteração dos padrões de qualidade da água doce, salobra e salgada; sensação de perigo e desamparo na população (BIAZON, 2018 apud IBAMA, 2015).

O impacto ambiental causado pelo rompimento da barragem de Fundão liberou um quantitativo de rejeito correspondente a 25 mil piscinas olímpicas. O material era composto basicamente por óxido de ferro, água e lama, e mesmo não sendo considerado tóxico, tinha a capacidade de provocar danos. Assim, a liberação da lama originou a *pavimentação de uma grande área*, tendo em vista que a lama seca forma um tipo de cimentação, que não permite a permanência e crescimento da fauna e da flora devido o material não conter matéria orgânica e ser, portanto, infértil. Além de poder levar anos para secar, e não sendo possível construir no local (SANTOS, 2021).

A lama não causou danos somente nos corpos d'água, como também devastou, praticamente, toda a vegetação, principalmente as matas ciliares. Além disso, os solos foram contaminados, resultando em desestruturação química (afetando o pH). Essas alterações na composição dos solos impede a evolução de certas espécies, mudando os aspectos da cobertura vegetal da região. O impacto da lama ao chegar no Estado do Espírito Santo, não ficou restrito somente ao canal principal do rio Doce e suas adjacências, impactou significativamente os ecossistemas costeiros (Figura 66), a exemplo dos fitoplânctons e zooplânctons (SANTOS, 2021).

Quanto aos danos sociais, grande parte das pessoas afetadas, perderam suas casas e outros bens materiais. Várias dificuldades surgiram, a exemplo da falta de água potável, tendo em vista que a maioria das cidades atingidas dependiam dos rios para o abastecimento e demais usos, e que após a contaminação a água ficou imprópria para o consumo (SANTOS, 2021).

Figura 66 - Trajeto da lama do distrito de Mariana (MG) até a desembocadura do rio Doce (município de Linhares), litoral do Espírito Santo.



Fonte: Thiago Leonardo Soares. Extraído de Paulo Gurgel (2018).

Apesar da população de Mariana ter sofrido as maiores consequências do desastre, toda a população ribeirinha das proximidades do rio Doce foi afetada pelo impacto da lama. Povos indígenas como os da tribo Krenak foram brutalmente afetados, pois sua reserva é cortada pelo rio Doce, ficando assim, sem água para o consumo (banho e limpeza de seus itens). Ressaltando-se ainda as pessoas que precisavam do rio para retirar o sustento das suas famílias (SANTOS, 2021).

### 7.3. Reflexos dos impactos socioambientais na planície deltaica do rio Doce

As alterações na paisagem da bacia hidrográfica do rio Doce ocorrem desde o início do processo de povoamento dessa região durante os séculos XIX e XX, com a mineração de metais preciosos ou metais nobres, a exemplo do ouro, prata e



---

posteriormente extração de minério de ferro, no Estado de Minas Gerais. Já o chamado ciclo madeireiro que dizimou quase toda a cobertura florestal (Mata Atlântica) existentes ocorreu em Minas, mas, sobretudo, no médio-baixo rio Doce e região norte do Estado do Espírito Santo (BORGIO et al.; 1996; COELHO, 2009).

Para tanto, muitas dessas ações que ocorreram no passado, continuam acontecendo na atualidade atreladas as mais diversas formas de uso e cobertura da terra, fato que resulta em sucessivos impactos socioambientais, a exemplo da expansão urbana e crescimento populacional que potencializam a degradação e diminuição da qualidade dos corpos d'água em função do lançamento de efluentes domésticos e industriais.

No caso das atividades agropecuárias, quando exercidas sem práticas adequadas de manejo, podem acarretar em degradação e perdas de solos, tendo em vista que grandes porções da bacia hidrográfica do rio Doce foram degradadas, acelerando os processos erosivos e transportando sedimentos para os afluentes e canal principal do rio Doce, tornando-os assoreados. Além do solapamento das margens decorrentes da supressão das matas ciliares e vegetação ripária.

No que concerne em específico a planície deltaica do rio Doce, os impactos ambientais e socioeconômicos podem ser divididos entre aqueles que são reflexos dos eventos naturais e alterações antrópicas ocorridos no interior da bacia hidrográfica do rio Doce (a montante, nas porções correspondentes, principalmente, ao alto e médio curso) e daqueles processos que acontecem em âmbito local (*in loco*).

Como exemplos de impactos socioambientais que reverberaram na planície deltaica, provindos das porções a montante da bacia ao longo do tempo, destacam-se as inundações devido as cheias, que mesmo sendo eventos naturais, causam impactos socioeconômicos. E mais recentemente, o impacto do rompimento da barragem com rejeito de minério de ferro da mineradora Samarco, em Mariana (Figura 67).

No entanto, o pulso de inundação decorrente da lama afetou mais efetivamente o canal principal dentro da planície deltaica do que os outros subambientes no interior da planície como os cordões litorâneos (cristas de praia), planície interdistributária e terraços fluviais. Isso pode revelar a dimensão da planície e a sua grande área com capacidade de amortecimento dos picos de cheias

Figura 67 - Vista aérea da enxurrada de rejeito na foz do rio Doce, litoral do Espírito Santo.



Fonte: Fred Loureiro / Secom ES / Fotos Públicas (2016). Extraído de El País (2021).

Por outro lado, quanto aos impactos socioambientais de caráter local, ou seja, diretamente na planície deltaica do rio Doce, são aqueles derivados da exploração de hidrocarbonetos (gás natural e petróleo) (IBGE, 1998; 2004; INCAPER, 2011; PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES, 2020), podendo corroborar com a subsidência da área. No entanto, em contrapartida, essa atividade contribui para o desenvolvimento socioeconômico local, estadual e nacional. O que pode também dinamizar os impactos locais, diz respeito aos setores: industrial e o agropecuário com práticas de manejo muitas vezes inadequadas.

Um dos impactos mais danosos registrados na área de estudo, diz respeito ao projeto de transposição das águas do rio Riacho, com a construção de um canal artificial (canal Caboclo Bernardo), que faz a ligação desse rio com a indústria de celulose da antiga Aracruz Celulose (atual Fibria). A proposta inicial do projeto era drenar terras alagadiças e posteriormente destiná-las a agricultura e a pecuária, fato que não ocorreu em sua plenitude (CENTRO DE ESTUDOS AMBIENTAIS, 1999; COELHO, 2007; REBELLO, 2012).

A área apresenta-se potencialmente vulnerável a inundações por se tratar de terras baixas com características físicas para tais eventos, visto que em decorrência das cheias, o canal principal do rio Doce transborda e a extensão da inundações atingindo grandes áreas de várzeas. Os eventos hidrológicos podem afetar os mais diferentes usos e cobertura da terra, causando impactos socioeconômico e acarretando prejuízos, a depender do alcance da inundações.

## 8. CONCLUSÃO

A atualização cartográfica dos aspectos físicos e socioeconômicos da planície deltaica do rio Doce, contribuiu para a compreensão dos processos naturais que ocorrem na planície deltaica, no que concerne as características batimétricas, altimétricas, declividades, geológicas, pedológicas e principalmente geomorfológicas. A configuração pedogeomorfológica apresentou uma forte relação com o contexto histórico de uso e cobertura da terra, tendo em vista que as atividades agropecuárias estão diretamente conjugadas as classes de solos e as feições geomorfológicas.

A ocupação da região norte do Espírito Santo, que compreende a área de estudo, está atrelada a exploração madeireira durante a primeira metade do século XIX, que culminou na devastação de praticamente toda a vegetação natural existente. Com isso, em paralelo deu-se início a colonização por povos europeus e outros de várias partes do Brasil. Nesse período as terras localizadas nos setores mais baixos eram verdadeiros alagadiços (brejos e mangues), que impossibilitava a utilização das terras. Posteriormente com a drenagem dos solos alagados foi possível a implementação da atividade agropecuária e construção de núcleos habitacionais, assim, gerando o desenvolvimento socioeconômico da área.

A planície deltaica tem seu uso e cobertura da terra atual condicionado a fertilidade dos solos e sobretudo, dos aspectos topográficos. Nos setores de relevo plano e suave ondulado, que compreende as feições morfológicas planície fluviomarinha e fluviolagunar, o uso da terra que abrange a maior área é o de pastagem, tendo em vista, a presença de grandes propriedades rurais destinadas a criação extensiva de gado de corte e leiteiro. No entanto, esses setores devido aos seus aspectos naturais são suscetíveis a inundações, quando ocorre o transbordamento do canal principal do rio Doce, durante os picos de cheias.

Nesse sentido, a partir da modelagem integrando variáveis físicas e socioeconômicas, determinou-se a vulnerabilidade a inundação da planície deltaica. Com isso, foi constatado que os modelos de vulnerabilidade apresentaram uma predominância das classes alta e muito alta, sendo evidenciado que as variáveis declividade, geomorfologia e uso e cobertura da terra foram as responsáveis por potencializar os modelos de inundação.

---

Para tanto, devido a área apresentar características topográficas e morfológicas que a torna naturalmente suscetível a inundação, a análise de algumas variáveis físicas é relevante para compreender a dinâmica da planície, onde três variáveis (declividade, geomorfologia e uso e cobertura da terra) tiveram maior importância para estabelecer o alcance da extensão da inundação devido ao transbordamento do leito menor do canal principal do rio Doce durante as cheias extremas.

A extensão da inundação na planície deltaica foi simulada usando a técnica de álgebra de mapas em SIG, sendo aplicados dois métodos estatísticos para calcular os setores potencialmente vulneráveis a inundação. No primeiro método foi adotada a lógica *booleana* (com atribuição de pesos para cada variável, conforme a experiência do pesquisador), para o segundo, utilizou-se o AHP, que trata-se de um método multicritério bastante aplicado e com pesos consolidados, e sendo este, portanto, o que apresentou resultados mais confiáveis e realísticos quando equiparados as vazões máximas e as imagens de satélites para os períodos analisados.

Os setores da planície mais suscetíveis a inundação, representados cartograficamente como resultantes da modelagem, foram comparados aos pulsos de inundação identificados nas imagens dos satélites Landsat - 5 e 8, onde foi possível evidenciar que a extensão da inundação coincide com os modelos derivados da simulação realizada pelos métodos supracitados. Além disso, dados do regime hidrológico (períodos de cheias e vazantes) do rio Doce corroboraram no sentido de reforçar a validação do estudo.

Diante desse contexto, pode-se comprovar que a metodologia adotada retratou de forma satisfatória os resultados, atingindo os objetivos propostos no trabalho. Valendo ressaltar que se trata de uma metodologia bastante confiável, tendo sido aplicada em muitas pesquisas no Brasil e mundialmente, e com um certo pioneirismo na determinação do potencial e índice de vulnerabilidade a inundação na planície deltaica do rio Doce.

Contudo, mesmo a metodologia demonstrando-se eficiente em termos de aplicação e representatividade dos resultados, adaptações em seus parâmetros, quanto as variáveis utilizadas, podem ser realizadas (e por vezes necessárias) com a finalidade de creditar uma maior confiabilidade as características do recorte espacial

---

estudado. Lembrando que é imprescindível o reconhecimento dos atributos físicos e socioeconômicos da área pesquisada.

Para tal, uma análise dos impactos socioambientais ocorridos no médio-baixo rio Doce, relacionando-os com o desastre do rompimento da barragem de rejeito de lama em Mariana (MG), foi realizado onde pode-se constatar as mudanças que ocorrem na dinâmica fluvial, socioespaciais e econômicas nas comunidades ribeirinhas dos municípios que fazem limite com a planície deltaica. Com isso, pode-se contribuir para um adequado planejamento, gestão, ordenamento e tomada de decisão quanto a minimização de impactos relacionados aos eventos de inundação na planície deltaica, visando assim a adoção de medidas e ações sustentáveis para uma possível capacidade de resiliência da área.

Portanto, confirmou-se que em razão de eventos hidrometeorológicos (chuvas fortes e constantes ao longo da bacia, resultando em cheias extremas) que causam o transbordamento do canal principal do rio Doce, das características morfológicas de terras baixas (relevo plano e suave ondulado) com uso e cobertura da terra que predomina a classe de pastagem, com pouca área de vegetação nativa, a planície deltaica apresentou-se altamente vulnerável aos pulsos de inundação fluvial.

Por outro lado, quanto a inundação decorrente de eventos externos de curto prazo originados das forçantes oceanográficas como ondas e marés de tempestade (sizígia) e efeitos de eventos de longo prazo como a elevação do nível médio do mar, pode-se inferir que a planície deltaica não apresenta uma alta vulnerabilidade, até mesmo por conta da sua evolução que devido a descida do nível do mar durante o quaternário contribuiu para a construção de feições morfológicas como os cordões litorâneos holocênicos que tem altura suficiente para evitar a transposição das ondas altas.

Em suma, pode-se confirmar que a planície deltaica, pelas suas características topográficas, morfológicas, uso e cobertura da terra e consequências de precipitações extremas, é vulnerável as inundações em função das cheias do rio Doce, devido ao transbordamento das águas do canal principal, sendo a extensão da inundação, validada e evidenciada através de imagens de satélites. Além disso, infere-se que a área de estudo é vulnerável em razão de uma possível elevação do nível médio do mar e transposição de ondas altas em suas terras baixas. Desse modo, respondeu-se a hipótese da tese.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A GAZETA - ES. **Colatina: Rio Doce alaga bairros, interdita avenidas e pode subir mais.** <https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/colatina-rio-doce-alaga-bairros-interdita-avenidas-e-pode-subir-ainda-mais-0122>. Acessado em: 19/01/2022.

A GAZETA - ES. **Rio Doce: desalojados poderão voltar para casa na segunda (17).** [https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/rio-doce-desalojados-poderao-voltar-para-casa-na-segunda-17-0122?utm\\_medium=redacao&utm\\_source=instagram](https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/rio-doce-desalojados-poderao-voltar-para-casa-na-segunda-17-0122?utm_medium=redacao&utm_source=instagram). Acessado em: 15/01/2022.

A GAZETA-ES NORTE. **Nível do rio Doce passa cota de inundação e preocupa famílias em Linhares.** <https://www.agazeta.com.br/es/cotidiano/nivel-do-rio-doce-passa-cota-de-inundacao-e-preocupa-familias-em-linhares-0122>. Acessado em: 19/01/2022.

ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade ambiental, processos e relações.** II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, FIBGE, Rio de Janeiro, 2006.

ALBINO, J. **Processos de Sedimentação atual e Morfodinâmica das Praias de Bicanga a Povoação, ES.** 1999. 175 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

ALBINO, J.; GIRARDI, G.; NASCIMENTO, K. A. Espírito Santo. In: MUEHE, D. (Ed.) **Progradação e Erosão do Litoral Brasileiro.** Brasília: Ministério de Meio Ambiente (MMA). 2006a. p. 227-263.

ALBINO, J.; NETO, N. C.; OLIVEIRA, T. C. A. The Beaches of Espírito Santo. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. (Org.) **Brazilian Beach Systems**, Coastal Research, Switzerland, 2016.

ALBINO, J.; SUGUIO, K. Sedimentation process and beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82(4), p. 1031-1044, 2010.

ALBINO, J; COELHO, A.L.N; GIRARDI, G; Nascimento, K.A. Espírito Santo. In: MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Panorama da erosão costeira no Brasil** [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial; Organização: Dieter Muehe. – Brasília, DF: MMA, 2018. Cap.10, 759p.

ALLEN, J.C; KOMAR, P.D. **Climate Controls on US West Coast Erosion Processes.** J Coast Res, 2006. 22:511–529.

ALVARADO-AGUILAR, D. **Coastal Flood Hazard Mapping at two scales. Application to the Ebro delta.** Tesi doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental, 2009. ISBN 9788469370759. Available at: <<http://hdl.handle.net/2117/93717>>.

ALVARADO-AGUILAR, D; JIMÉNEZ, J. A. **Flood Hazard Mapping for Coastal Storms in the Delta Ebro**. Paper presented at the FLOOD Risk, Oxford, UK, 2008.

ALVARADO-AGUILAR, D; JIMÉNEZ, J. A; NICHOLLS, R. J. **Flood Hazard and Damage Assessment in the Ebro Delta (NW Mediterranean) to Relative Sea Level Rise**. Nat Hazards. Vol.62, 2012, p.1301-1321. Doi 10.1007/s11069-012-0149-x.

ALVARES, C.A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; GONÇALVES, J.L.M; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMARAL, J.F.S. **Aplicação do Processo Analítico Hierárquico como Suporte à Decisão na Produção Bovina de Corte na Região de Betim/MG**. 2006. 215 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis de Belo Horizonte, Universidade Fumec, Belo Horizonte, 2006.

AMARAL, R; RIBEIRO, R.R. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R (Orgs.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. Instituto Geológico, São Paulo, p. 196, 2009. Cap. 3.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Boletim de Monitoramento dos Reservatórios do rio Doce**. v.13, n.01, 2018.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Disponibilidade e Demandas Hídricas no Brasil**. Brasília, ANA, 2005.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS: **Bacia do rio Doce apresenta níveis elevados em seus principais rios**. 2010. Disponível em <[http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=9095](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=9095)>. Acesso em: 02 jun. 2014.

ANA - Agência Nacional das Águas: **hidroweb**. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 7 abr. 2018.

APFM - ASSOCIATED PROGRAMME ON FLOOD MANAGEMENT. **Coastal and Delta Flood Management**. World Meteorological Organization (WMO) and the Global Water Partnership (GWP). Antarctic ice Sheet: an application of FUND. Clim Chang, 2013.

ASSIS, D. R.S; PIMENTEL, R.M.M; CASTILHO, C.J.M. **Impactos da Urbanização e Vulnerabilidade de Lagoas Costeiras**. Revista Brasileira de Geografia Física V. 06 Nº 02, p. 223-232, 2013.

BANDEIRA JR, A.N; PETRI, S; SUGUIO, K. **Projeto Rio Doce**. (Relatório Final) – PETROBRÁS/CENPES, Rio de Janeiro, 1975. p.203.

BANDEIRA JR, A.N; SUGUIO, K. **Estudos Sedimentológicos do delta do rio Doce**. (Relatório Único) – Petrobrás, CENPES, Rio de Janeiro, 1975. (Inédito).

BECKER, B. K. **O Norte do Espírito Santo: região periférica em transformação.** 1969. 130 f. Tese de concurso para livre docência. Instituto de Geociências - UFRJ, 1969.

BIAZON, T. O. **O Desastre Ambiental: Cientistas analisam os impactos ambientais, entre os quais os resultantes da devastação de ecossistemas.** Vozes e Silenciamento em Mariana: Crime ou Desastre Ambiental. Jornal da UNICAMP, Especial, 2018. <https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/09/12/o-desastre-ambiental>> Acessado em: 18/07/2021.

BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M.; MARTIN, L.; SILVA, I. R.; DE-MEDEIROS, K. O. **Past and current sediment dispersion pattern estimates through numerical modeling of wave climate: an example of the Holocene delta of the Doce River, Espírito Santo, Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, 79 (2), 2007, 333-41.

BOGGS, S. **Principles of Sedimentology and Stratigraphy.** (2<sup>nd</sup> Edition). Prentice Hall, New Jersey, 1995.

BONETTI, J; KLEIN, A. H. F; MULER, M; DE LUCA, C. B; SILVA, G. V; TOLDO JR, E. E; GONZALEZ, M. **Spatial and numerical methodologies on coastal erosion and flooding risk assessment.** In: FINKL C. (Ed.) Coastal Hazards. Springer, Dordrecht, 2013, p.423-442.

BONETTI, J; SERAFIM, M. B; ABOUDHA, P; WOODROFFE, C. D. Multicriteria indices for coastal susceptibility assessment: a comparative study of embayed Brazilian and Australian coasts. In: **CoastGIS 2015 –The 12th International Symposium for GIS and Computer Cartography for Coastal Zone Management.** p.22-24 April 2015 Western Cape, South Africa. CSRI, Cape Town, 2015, p. 36-40.

BONETTI, J; WOODROFFE, C. D. Spatial Analysis on GIS for Coastal Vulnerability Assessment. In: Bartlett, D. & Celliers, L. (Eds.). **Geoinformatics for Marine and Coastal Management.** Chapter 16. CRC Press, Boca Raton, 2017, p. 367-396.

BORGO, I.A.L.; ROSA, L.B.R.A.; PACHECO, R.J.C. **Norte do Espírito Santo: Ciclo Madeireiro e Povoamento (1810-1960).** Edufes: Vitória, 1996, 178 p.

BORUFF, B. J.; EMRICH, C., CUTTER, S. L. **Erosion hazard vulnerability of US coastal counties.** Journal of Coastal Research. 21, 2005, p.932-942.

BREWSTER, L. F. S. **The development of a comprehensive littoral vulnerability assessment approach for a Small Island Developing State: a case study for Barbados.** International Conference, Littoral 2002": Porto, 6, Proceedings, p. 189-197, 2002.

BRUUN, P. **Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion.** Journal of Waterways and Harbours, Division WW1, 1962, p.117-130.

CAMARGO, R; HARARI, J. **Modelagem numérica de ressacas na plataforma sudeste do Brasil a partir de cartas sinóticas de pressão atmosférica na superfície.** Bolm Inst. Oceanogr., S Paulo, v. 42(1), p.19-34, 1994.



---

CAMPOS, R.M; CAMARGO, R; HARARI, J. **Caracterização de Eventos Extremos do Nível do Mar em Santos e sua Correspondência com as Reanálises do Modelo do NCEP no Sudoeste do Atlântico Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.2, 175 - 184, 2010.

CARPENTER, S.; WALKER, B.; ANDERIES, J.M.; ABEL, N. **From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?** Ecosystems, v. 4, p. 765–781, 2001.

CARVALHO, L. M. T.; LOUZADA J. N. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado de Minas Gerais: Abordagem metodológica para caracterização do componente flora.** Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3789-3796. 21-26 abril, 2007.

CASTRO, A. L. C. **Manual de Desastres.** Brasília: [s.n.], 2003.

CAVALCANTI, A. P. B. **Análise integrada das unidades paisagísticas na planície deltaica do rio Parnaíba-Piauí/Maranhão.** Mercator, n. 03, v. 06, 2004.

CEA - CENTRO DE ESTUDOS AMBIENTAIS. **Solução do Problema Crônico da ocorrência de Secas Cíclicas na Região.** Projeto de aumento da disponibilidade hídrica nas Várzeas do Riacho nos municípios de Aracruz e Linhares – Declaração de Impacto Ambiental. Aracruz, 1999.

CERRI, L.E.S.; PAULA, B.L. **Aplicação do processo analítico hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeçerica da Serra e Suzano (SP).** São Paulo: UNESP, **Geociências**, v. 31, n. 2, 2012, p. 247-257.

CHANG, N.; CHANG, Y.; CHEN, H. **Fair fund distribution for a municipal incinerator using GIS-based fuzzy analytic hierarchy process.** Journal of Environmental Management, v. 90, n. 1, p. 441-54, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479707004082>.

CHEN, H.; ITO, Y.; SAWAMUKAI, M; SU, T; TOKUNAGA, T. **Spatial and Temporal Changes in Flood Hazard Potential at Coastal Lowland Area: a case study in the Kujukuri Plain, Japan.** Natural Hazards. p.84:15131527, 2016.

CHEN, J.Y. **Coastal reclamation works in China (in Chinese).** China Water Power Press, Beijing, 2000.

CHEN, X; ZONG, Y. **Coastal erosion along the Changjiang deltaic shoreline, China: History and prospective.** Estuarine, Coastal and Shelf Science, 46, 733–742, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial.** São Paulo: Edgar Blücher, 1981. 313p.

COELHO, A. L. N. **Geomorfologia Fluvial de Rios Impactados por Barragens.** In Caminhos de Geografia - Instituto de Geografia UFU, Programa de Pós-Graduação em Geografia: Uberlândia. V. 9, n.26, 2008.

COELHO, A. L. N.; CUNHA, S. B; SOUZA, C. A. **Efeitos na Morfologia Fluvial Provocados pelo Barramento da UHE Santo Antônio no Rio Madeira**. Revista Geonorte, v. 10, pp. 18-24, 2014.

COELHO, A.L.N. **Método de Análise Hierárquica (AHP) Aplicado a Inundação Urbana após Evento de Chuva Concentrado**. GeoFocus (Artículos), nº 20, 2017, p. 183-199. ISSN: 1578-5157 <http://dx.doi.org/10.21138/GF.565>.

COELHO, A.L.N. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**. 2007. 227 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

COELHO, A.L.N. **Bacia Hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): Uma Análise Socioambiental Integrada**. Revista Geografares, n 7, Vitória, 2009, p.131-145.

COELHO, A.L.N. **Mudanças Históricas na Morfologia Fluvial no Médio-Baixo Rio Doce por Processos de Erosão e Sedimentação**. 1ª. ed. - Vitória, ES. UFES, Proex, 2019, 114 p.

COELHO, A.L.N; CUNHA, S.B; DEINA, M.A. **Transbordamento das Águas do Rio Doce na Planície deltaica em Dezembro de 2013**. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, 2014, p.490-496. ISSN 2237-1419.

COLEMAN, J. M. & WRIGHT, L. D. 1975. **Modern river deltas: Variability of** COLEMAN, J.M. **Deltas: Processes of deposition and models for exploration**. Burgess, Minneapolis, Minnesota, 1981,124 p.

COLEMAN, J.M.; WRIGHT, L.D. Modern River Deltas: variability of process and sand bodies. In: BROUSSARD, M.L (Ed). **Deltas, Models for Exploration**. Houston Geological Society. Houston. Tex, 1975, p.99-149.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Licenciamento Ambiental: Normas e procedimentos**. Resolução. Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986.

COOPER, M.; BEEVERS, M.; OPPENHEIMER, M. **The Potential Impacts of Sea Level Rise on the Coastal Region of New Jersey, USA**. Clim Chang, v. 90, 2008, p.475-492.

COSTANZA, R.; DALY, H.E. **Natural Capital and Sustainable Development**. Conservation Biology, Vol. 6, No. 1, 1992, p. 37-46.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais**. VIEIRA, Valter Salino.; MENEZES, Ricardo Gallart de (Orgs). Belo Horizonte: CPRM, 2015. 289 p.

CUNHA, A.M.; FEITOZA, H.N.; FEITOZA, L.R.; OLIVEIRA, F.S.; LANI, J.L.; CARDOSO, J.K.F.; TRINDADE, F.S. **Atualização da Legenda do Mapa de Reconhecimento de Solos do Estado do Espírito Santo e Implementação de**

**Interface no Geobases para uso dos dados em SIG.** Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia e do Departamento de Geografia da UFES, v.2, n 22, jul/dez, Vitória, 2016, p.32-65. ISSN 2175-3709.

CUPOLILLO, F. **Diagnóstico Hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce.** 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

CUPOLILLO, F; ABREU, M.L; VIANELLO, R.L. **Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local.** Revista Geografias. 04(1), p.45-60, jul-dez, Belo Horizonte, 2008.

CUTTER, S. L. **A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores.** (Tradutor: Victor Ferreira). Risco, vulnerabilidade social e cidadania. Revista Crítica de Ciências Sociais, v.93, 2011, p. 59-69.

DAL CIN, R; SIMEONI, U. **A model for determining the classification, vulnerability and risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy).** Journal of Coastal Research, 10:18-29, 1994.

DAY, J.W; BRITSCH, L.D; HAWES, S.R; SHAFFER, G.P; REED, D.J; CAHOON, D. **Pattern and process of land loss in the Mississippi Delta: A Spatial and temporal analysis of wetland habitat change.** Estuaries and Coasts (23), p.425-438, 2000.

DAY, J.W; MARTIN, J.F; CARDOCH, L; TEMPLET, P.H. **System functioning as a basis for sustainable management of deltaic ecosystems.** Coastal Management (25), p.115-153, 1997.

DAY, J.W; PONT, D; HENSEI, P; IBANEZ, C. **Impacts of sea level rise on deltas in the Gulf of Mexico and the Mediterranean: the importance of pulsing events to sustainability.** Estuaries (18), p. 636-647, 1995.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. INSTRUÇÃO TÉCNICA H-01 – **Critérios para correções a serem efetuadas nas sondagens para representação nas FB.** Rio de Janeiro: Base de Hidrografia da Marinha em Niterói, 1998.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. NORMAM-25/DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação- Marinha do Brasil. **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**, 2011. Disponível em: [https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/downloads/normam/normam\\_25.pdf](https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/downloads/normam/normam_25.pdf). Acesso em 06/10/2015.

DHN - DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. NORMAM-25/DHN, Diretoria de Hidrografia e Navegação- Marinha do Brasil. **Normas da Autoridade Marítima para Levantamentos Hidrográficos**, ver.1, 2014. Disponível: <https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-levantamento-hidrografico/arquivos/normam25-rev1.pdf>.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua de Marés**. Terminal de Barra do Riacho p.36, 1996.

DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Tábua de Marés**. Terminal de Barra do Riacho p.36, 1997.

DIAS, F.C. **Mobilidade e Tipologia das Praias ao longo da Planície Deltaica do rio Doce sob Condições Oceanográficas de Primavera**. 2019. 55 f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Departamento de Ecologia e Oceanografia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2019.

DIEZ, J. J; ESTEBAN, M. D; PAZ., R; LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J.S; NEGRO, V; MONNOT, J.V., “**Urban Coastal Flooding and Climate Change**”. Journal of Coastal Research, v. SI64, p. 205–209, 2011.

DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Sea-level history and Quaternary evolution of river mouth-associated beach-ridge plains along the east-southeast Brazilian coast: a summary. In: NUMMEDAL, D.; PILKEY, O. H.; HOWARDS, J. D. (Eds) **Sea-level fluctuation and coastal evolution**, Special Publication of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, v. 41, p. 115 -127, 1987.

DOMINGUEZ, J.M.L. **Quaternary sea-level changes and the depositional architecture of beach-ridge strandplains along the coast of Brazil**. 1987. 288p. Dissertation (Doctor of Philosophy (Ph.D.) – University of Miami, Marine Geology and Geophysics Department, Miami, 1987.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. **Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ)**. Rev. Brasil. Geoc. 11(4), 1981, p. 227-237.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; MARTIN, L. **O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas a desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ)**. Rev. Brasil. Geoc.13(4), 1983, p. 93-105.

DONNELLY, C; KRAUS, N.C; LARSON, M. **State of Knowledge on Measurement and Modelling of Coastal Overwash**. Journal of Coastal Research. Vol. 22, 2006, p.965-991.

DOVERS, S.R.; HANDMER, J.W. **Uncertainty, sustainability and change**. Global Environmental Change, v.2, n.4, p.262-276, 1992.

DUARTE, P.A. **Fundamentos de Cartografia**. 2. Ed. Florianópolis: Editora de UFSC, 2002.

DWARAKISH, G.S.; VINAY, S.A.; NATESAN, U.; ASANO, T.; KAKINUMA, T.; VENKATARAMANA, K.; PAI, B.J.; BABITA, M.K. **Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udipi coastal zone of Karnataka state, west coast of India**. Ocean Coast Manag, v. 52, 2009, p.467-478.

**EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos, ... [et al.]. – 3. ed., rev. e ampl. – Brasília-DF: Embrapa, 2013. 353 p.

**EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos, ... [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília-DF: Embrapa, 2018. 356 p.

EMBRAPA - TERRITORIAL. **Satélites de Monitoramento.** Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 20 set. 2020.

ESRI – Environmental Systems Research Institute, Inc., 2016, User **Manual – Help Online, version 10.5.** Disponível em: <http://www.esri.com> Acesso em: 20 de Julho de 2019.

FEMA - FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. **Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners.** Appendix D: Guidance for Coastal Flooding Analyses and Mapping, April, 2003.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia Prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006, 190 p.

FILGUEIRAS, G.D.L. **Diferenças entre as Escalas Regional e Local na Aplicação da Abordagem Multicritério da Vulnerabilidade Costeira: estudo de caso no litoral sul do Espírito Santo.** 2020. 79 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

FISHER, W.L.; BROWN JR, L.F.; SCOTT, A.J.; MCGOWEN, J.H. **Delta Systems in the Exploration for oil and gas.** A research colloquium. Univ. Texas, Bur. Econ. Geology, 1969.

FLORENZANO, T.G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T.G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** (Cap. 1), Oficina de Textos: São Paulo, 2008.

FOLKE, C. Resilience: The Emergence of a Perspective for Social-Ecological Systems Analyses. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 253–267, 2006.

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; ELMQUIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C.S.; WALKER, B. **Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations.** **AMBIO**, v. 31, n. 5, p. 437-440, 2002.

FRANÇA, A.M.C. Geomorfologia da Margem Continental Leste Brasileira e da Bacia Oceânica Adjacente. In: **Geomorfologia da Margem Continental Leste Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes.** Série Projeto Remac n.7. p.89-127, 1979.

G1 ES/A GAZETA. **Rio Doce atinge nível de inundação em Colatina - ES**, após chuvas. <https://g1.globo.com/espírito-santo/desastre-ambiental-no-rio-doce/noticia/2016/01/rio-doce-atinge-nivel-de-inundacao-em-colatina-es-apos-chuvas.html>. Acessado em: 08/02/2022.

GAGG, G. **Levantamentos Hidrográficos: Noções Gerais (Apostila)**. Instituto de Geociências (IGEO), Departamento de Geodesia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2016.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental change**, v. 16, n. 3, p. 293–303, 2006.

GALLOWAY, W. E. Process Framework for Describing the Morphologic and Atrigraphic Evolution of deltaic Depositional Systems. In: BROUSSARD, M.L. **Deltas: Models for Exploration**. Houston Geological Society. Houston, 1975, p. 87-98.

GEOBASES - **Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo** – Dados Planos de Informações (2013). Disponível em: <<https://geobases.es.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

GIL, A.P; BRITO, J.F.G; COELHO, A.L.N. **Contribuições Geomorfológicas para o Planejamento de Áreas Suscetíveis a Inundação - Baixo Curso do Rio Doce, Linhares-ES**. Revista Geonorte, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.286-292, 2014. (ISSN 2237-1419).

GILL, A. E. **Atmosphere-Ocean Dynamics**. International Geophysics Series, Academic Press, 662 p., 1982.

GORNITZ, V. **Global Coastal Hazards from Future Sea Level Rise**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Global and Planetary Change Section), 89 (1991) 379-398 379. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1991.

GORNITZ, V. **Vulnerability of the east coast USA to future sea level rise**. New York: NASA GSFC Institute for Space Studies and Columbia University, 1990.

GUEDES, D.R.C.; SANTOS, N.M.; CESTARO, L.A.; COSTA, D.F.S. Interações no Sistema da Planície Flúvio-Marinha do Rio Grande do Norte. In: XII Simpósio Nacional de Geomorfologia – SINAGEO. Paisagem e Geodiversidade: a valorização do patrimônio geomorfológico brasileiro, 24-30 de Maio., 2018, Crato. **Anais... Crato-CE**, 2018.

GUERRA, A.J.T.; BOTELHO, R.G.M. Erosão dos Solos. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. (Orgs). **Geomorfologia do Brasil**. (Cap. 5) - 7ª ed. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2011, 390 p.

GUIMARÃES, L.S. **Morfodinâmica de um Delta Artificial na Margem Oeste da Lagoa Mangueira – RS**. 2014. 123 f. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

HAMMAR KLOSE, E. S.; PENDLETON, E. A.; THIELER, E. R.; WILLIAMS, S. J. **Coastal vulnerability assessment of Gulf Islands National Seashore (GUIS) to sea-level rise**. Open-File Report.U.S. Geological Survey, 2004.

HAMMAR-KLOSE, E.S; PENDLETON, E.A; THIELER, E.R; WILLIAMS, S.J. **Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise**. Reston: U.S. Geological Survey, Open file Report 02-233, 2003.

HANDMER, J.W; DOVERS, S.R. **A Typology of Resilience: Rethinking Institutions for Sustainable Development**. Industrial & Environmental Crisis Quarterly. Vol. 9, Nº. 4, 1996, p. 482-511.

HECHT, J. S.; LACOMBE, G; ARIAS, M. E.; DANG, T. D; PIMAN, T. **Hydropower Dams of the Mekong River Basin: A review of their hydrological impacts**. Journal of Hydrology, 2019 pp. 285–300.

HEREHER, M. **Coastal vulnerability assessment of Egypt's Mediterranean coast**. Geomatics, Natural Hazards and Risk. V.6, 2013, p.342-355. DOI:10.1080/19475705.2013.845115.

HEREHER, M.E. **Assessment of South Sinai coastal vulnerability to climate change**. Journal of Coastal Research, V.31(6), 2015, 1469-1477. ISSN 0749-0208.

HOLLING, C. S. Resilience and Stability of Ecological Systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, p. 1–23, 1973.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**, 2004. Disponível em: [www.sidra.ibge.gov.br](http://www.sidra.ibge.gov.br).

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?>> Acesso em: 25/10/09.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. 2006. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 25/10/09.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Análise do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia – RMPG 2001/2015**, 2016. Relatório. Disponível em: [ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_sobre\\_posicionamento\\_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio\\_RMPG\\_2001\\_2015\\_GRRV.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rmpg/relatorio/relatorio_RMPG_2001_2015_GRRV.pdf). Acesso em 25/10/2016.

**IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Diretoria de Geociências. - Rio de Janeiro, 2011. 176p.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 1995-1996**: no 19. SP/RJ: IBGE, 1998.3983p.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/linhares/panorama>> Acessado em:17/09/2020.

**IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Disponível em: <<https://atlascolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-um-atlas-geografico.html>> Acessado em: 25/09/2020.

---

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento de Recursos Naturais**, vol. 34. MME-Folhas SF 24, Rio Doce, 1987.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2ª Edição, nº 7, Rio de Janeiro, 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

IEMA - **Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Unidades Administrativas de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo, 2004 (CD-Rom).

IEMA - **Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Vitória-ES. Levantamento Aerofotogramétrico, Apoio de Campo, Aerotriangulação e elaboração Ortofotomosaicos. (RGB) 2007/2008 Pixel 1x1m, UTM, Datum WGS84, Zona 24S. 1:15.000 PEC "A", 2008.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Unidades Administrativas de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo**, 2004 (CD-Rom).

IJSN - INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Espírito**. 19 f. Nota técnica 28 Vitória, ES, 2012.

IJSN/CGEO - **Instituto Jones dos Santos Neves / Coordenação de Geoprocessamento** – Base de Dados Geográficos. Disponível em: <<http://www.ijsn.es.gov.br/>> Acesso em 22/09/2017 - 2013.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Balço das chuvas no Espírito Santo**. Disponível em: <[hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=ultimasnoticias](http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=ultimasnoticias)>. Acesso em: 18/06/2014.

INCAPER - INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Governo do Estado do Espírito Santo. Secretaria da Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca. Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural – PROATER (2011/2013). Planejamento e Programação de Ações: **Aracruz, Linhares, Jaguaré, São Mateus e Conceição da Barra**. Governo do Estado do Espírito Santo, 2011.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change 2001: synthesis report**. A contribution of working groups I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

IPCC. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: **The physical science basis**: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the



---

Intergovernmental Panel on Climate Change. (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, H. L. Miller – eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 996pp. 2007.

IPCC: Climate Change: **The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Série Eixos Estratégicos do Desenvolvimento Brasileiro; Sustentabilidade Ambiental. Projeto Perspectivas do Desenvolvimento Brasileiro. Livro 7, Brasília, 2010. 640 p. ISBN 978-85-7811-054-3.

JIMÉNEZ, J. A. **Evolución costera en el Delta del Ebro: Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio**. Unpublished doctoral thesis. Catalonia University of Technology, Barcelona, 1996.

JIMÉNEZ, J.A. Contributing to European Flood Hazard Atlas. Executive Summary. **FLOODSite Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies**, 2008. [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net).

JIMÉNEZ, J.A., GRACIA, V; VALDEMORO, H.I. **The Ebro Delta Coastal Response During 2001 2004: a proxy of the potential effects of an increase in storminess** Int Symposium on Effects of Climate Change on the World's Oceans. PICES, Gijon, 2008.

JIMÉNEZ, J.A., SALLENGER, A; FAUVER, L. **Sediment Transport and Barrier Island Changes during Massive Overwash Events**. Proc. 30th ICCE, ASCE, 2006. 2870-2879.

JIMENEZ, J; SANCHEZ-ARCILLA, A. **A Long-Term (decadal scale) Evolution Model for Microtidal Barrier Systems**. Coastal Eng., 51, 749-764, 2004.

JUNK, W.J; BAYLEY, P.B; SPARKS, R.E. The Flood pulse Concept in River-Floodplain Systems. In: DODGE, D.P. (Ed.): **Proceedings of the International Large River Symposium**. Canadian Special Publications of Fisheries and Aquatic Sciences (106): 110-127, 1989.

KESEL, R.H. **The role of the Mississippi River in wetland loss in Southeastern Louisiana, USA**. Environmental Geology and Water Sciences (133): p.183-193, 1989.

KHALIFA, M. A; EL GANAINY, M. A; NASR, R. I. **Transformation and Longshore Sediment Transport Evaluation for the Egyptian Northern Coast via Extending Modern Formulae**. Journal of Coastal Research, 25 (3), 755-767, 2009.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; MARCELINO, E.V.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF; F.M. - **Prevenção de Desastres Naturais:**

**conceitos básicos.** 1. ed. Curitiba: Organic Trading, 2006. Disponível em <[http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/Livro\\_Prevencao\\_de\\_Desastres\\_Naturais.pdf](http://www.labclima.ufsc.br/files/2010/04/Livro_Prevencao_de_Desastres_Naturais.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2021.

KOTTEK, M. J; GRIESER, C; BECK, B; RUDOLF, F. R. **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** Meteorol. Z., **15**, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130, 2006.

KOWSMANN, R.O; COSTA, M.P.A. **Sedimentação Quaternária da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes.** Projeto Remac n 8. 55p,1979.

KUMAR, T. S; MAHENDRA, R. S; NAYAK, S; RADHAKRISHNAN, K; SAHU, K. C. **Coastal vulnerability assessment for Orissa State, East Coast of India.** Journal of Coastal Research. V.26 (3), 2010, p.523-534. DOI: 10.2112/09-1186.1.

LARSON, M; DONNELLY, C; HANSON, H. **Analytical Modeling of Dune Response Due to Wave Impact and Overwash.** Coastal Dynamics. ASCE, 2005.

LEPSCH, I.F. **19 lições de Pedologia.** Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2011.

LIBAULT, A. **Os Quatro Níveis da Pesquisa em Geografia.** In: Métodos em Questão. IGEOG/USP, São Paulo, 1971.

LICCO, E.A.; MAC DOWELL, S.F. **Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança.** Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade. Centro Universitário Senac. Vol. 5 nº. 3, São Paulo, 2015. ISSN 2179-474X.

LINDOSO, D.P. **Vulnerabilidade e Resiliência: Potenciais, Convergências e Limitações na Pesquisa Interdisciplinar.** Ambiente & Sociedade. São Paulo v. XX, n. 4, p. 131-148, out-dez. 2017.

LINS-DE-BARROS, F.M; MUEHE, D. **Avaliação Local da Vulnerabilidade e Riscos de Inundação na Zona Costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro.** Quaternary and Environmental Geosciences. 02(1): p. 55-66, 2010.

LISITZIN, E. **Sea-level Changes.** Ed. Elsevier, Amsterdam, 1974.

LOINENAK, F.A; HARTOKO, A; MUSKAANANFOLA, M.R. **Mapping of coastal vulnerability using the coastal vulnerability index and geographic information system.** International Journal of Technology. V.5, 2015, p.819-827. ISSN 2086-9614.

LU, W; LEI, H; YANG, D; TANG, L; MIAO, Q. **Quantifying the Impacts of Small dam Construction on Hydrological Alterations in the Jiulong River Basin of Southeast China.** Journal of Hydrology, 2018. PP. 382–392,

MAGALHÃES JR, A.P.; BARROS, L.F.P. Depósitos fluviais e feições deposicionais. In: MAGALHÃES JR, A.P.; BARROS, L.F.P. (Orgs). **Hidrogeomorfologia: formas, processos e registros sedimentares fluviais.** (Cap. 9), 1. Ed. – Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 2020.

MARTIN L., SUGUIO K., FLEXOR J. M. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. **Boletim IG-USP**. ed. 15, p. 186, 1993.

MARTIN, H.; SUGUIO, K. **Variation of Coastal Dynamics during the last 7,000 years recorded in beach-ridge plains associated with river mouths: Example from the Central Brazilian coast**. *Palaeogeogr., Palaeocl., Palaeoecol.* v. 99, 1992, p.119-140.

MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; VILAS-BOAS, G.S. **Différentiation sur photographies aériennes des terrasses sableuses pleistocenes et holocenes du litoral de l'état de Bahia (Brésil)**. Photo-interprétation 3, fase. 4/5, Paris. 1981.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. K. L.; FLEXOR, J. M. **Mapa geológico do quaternário costeiro do estado do Espírito Santo, escala 1:200.000**. Belo Horizonte: CPRM, 1997. 112 p. 1 mapa.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J.M.L.; FLEXOR, J.M. **Geologia do Quaternário Costeiro do Litoral Norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa de São Paulo). São Paulo (SP), 1997, 112p.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. **As flutuações de nível do mar durante o Quaternário superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros**. *Boletim IG-USP*, 1993, Publ. Especial 15, 186 p.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M.; ARCHANJO, J.D. Coastal Quaternary formations of the southern part of the State of Espírito Santo (Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 389 - 404, 1996.

MASSELINK, G; HUGHES, M.G. **Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Oxford University Press Inc, New York, 2003.

MCFADDEN, L.; NICHOLLS, R. J.; PENNING-ROWSELL, E. (Org.) **Managing Coastal Vulnerability**. Oxford: Elsevier, 2007.

MEDEIROS, P.C. **Geomorfologia: fundamentos e métodos para o estudo do relevo**. Ed. InterSaberes, Curitiba, 2016.

MEIRELLES, M.S.P; MOREIRA, F.R; CAMARA, G. Técnicas de Inferência Espacial. In: MEIRELLES, M.S.P; CAMARA, G; ALMEIDA, C.M (Org.). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. (Cap.3), Ed. Embrapa Informação Tecnológicas, Brasília-DF, 2007. p. 593.

MELO FILHO, E. **Maré Meteorológica na Costa Brasileira**. 2017. 328 f. Tese (Professor Titular). Escola de Engenharia, Engenharia Civil Costeira e Portuária, Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2017.

MELO, U; SUMMERHAYES, C.P; ELLIS, J.P. **Salvador to Vitoria, Southeastern Brazil**. *Contr. Sedimentology* 4:78-116. Stuttgart, 1975.

MENDES, J. D. **Anteprojeto Recuperação dos Grandes Vales Suruaca e Riacho**. Vitória: CEPA, 1978. 34p.

MILANI, E. J.; BRANDÃO, J. A. S. L.; ZALÁN, P. V.; GAMBOA, L. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, n. 3, p. 1-46, 2001.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

MOHRIAK, W. U. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, p. 87-94, 2003.

MÖLLER, I; SPENCER, T; FRENCH, J. R; LEGGETT, D. J; DIXON, M. **Wave transformation over salt marshes: a field and numerical modelling study from north Norfolk, England**. Estuar. Coast. Shelf Sci, 1999. 49, 411–426. doi: 10.1006/ecss.1999.0509.

MORTON, R.A. **Factor Controlling Storm Impacts on Coastal Barriers and Beaches – A preliminary Basis for Near Real-time Forecasting**. Journal of Coastal Research, v. 18, 2002, p. 486-501.

MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos** – 7ª ed. – Rio de Janeiro Bertrand Brasil, Cap. 6, p. 149-209, 2007.

MUEHE, D. O Litoral Brasileiro e sua Compartimentação. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. P. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. 7ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Cop. 7, 2011.

NAGESWARA RAO, K; SUBRAELU, P; VENKATESWARA RAO, T; HEMA MALINI, B; RATHEESH, R; BHATTACHARYA, S; RAJAWAT- AJAI, A.S. **Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS**. J Coast Conservat, 2009. doi:10.1007/s11852-009-0042-2.

NASCIMENTO, D.M.C; DOMINGUEZ, J.M.L. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia**. Revista Brasileira de Geociências, v. 39, p. 395-408, 2009.

NICHOLLS, R. J; CAZENAVE, A. **“Sea-level Rise and its Impact on Coastal Zones”**, *Science*, v. 328, p. 1517–1520, 2010.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Vulnerability assessment, 1999. Disponível em: <<http://www.csc.noaa.gov/products/nchaz/htm/tut.htm>>. Acesso em: 26 jul. 2004.

NORBERG, J.; CUMMING, G. S. Introduction. In: NORBERG, J.; CUMMING, G. S. (Eds.). **Complexity theory for a sustainable future**. New York: Columbia University Press, p. 1-7, 2008.

O'NEILL, R. V. Is It Time to Bury the Ecosystem Concept? (With Full Military Honors, of Course!). **Ecology**, v. 82, n. 12, p. 3275–3284, 2001.

OLIVEIRA, F.S.B.F; OLIVEIRA, T.C.A; SILVA, R; LARANGEIRO, S.H.C.D. **Dinâmica Sedimentar do Trecho Litoral Praia da Vieira-Praia Velha**. Hidrodinâmica e Transporte Longitudinal de Sedimentos. 7W Congresso da Água, APRH, Lisbon, Portugal, p. 15, 2004.

OLIVEIRA, T. A; RIEDEL, P. S. **Os Quatro Níveis da Pesquisa Geográfica Aplicados à Organização e Sistematização de Atividades Envolvidas na Compartimentação de Terrenos**. Revista Geonorte, Edição Especial, V. 1, N. 4, p. 69-77, 2012.

OLIVEIRA, T.C.A; ALBINO, J; VENANCIO, I. **Transporte Longitudinal de Sedimentos no Litoral da Planície Deltaica do Rio Doce**. Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais. Revista Quaternary and Environmental Geosciences, v. 6(1), p.20-25, 2015.

**ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS**. Programa para o Meio Ambiente. Mudanças Climáticas podem causar Inundações Extremas. 2020. <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/mudancas-climaticas-podem-causar-inundacoes-extremas>. Acessado: 09/04/2022.

OVEREEM, I; SYVITSKI, J.P.M. **Dynamics and Vulnerability of Delta Systems**. Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, IGBP/IHDP Core Project, 2009.

OZYURT, G; ERGIN, A. **Improving coastal vulnerability assessments to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers**. Journal of Coastal Research. V.26(2), 2010, p.265-273. DOI: 10.2112/08-1055.1.

PANTUSA, D; D'ALESSANDRO, F; RIEFOLO, L; PRINCIPATO, F; TOMASICCHIO, G. R. **Application of a coastal Vulnerability Index. A case study along the Apulian coastline, Italy**. Water. V.10(9), 2018, p.1218. DOI: 10.3390/w10091218.

PARK, C.C. **Man, River Systems and Environmental Impacts**. SAGE Journals. Vol 5, Issue 1, 1981.

PBMC - PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. p.116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PEDRO, L.C.; NUNES, J.O.R. **A relação entre processos morfodinâmicos e os desastres naturais: uma leitura das áreas vulneráveis a inundações e alagamentos em Presidente Prudente-SP**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, v.2, n.34, p.81-96, ago./dez.2012. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/viewFile/2035/1915>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PENDLETON, E.A; THIELER, E.R; WILLIAMS, S.J. **Coastal Vulnerability Assessment of Golden Gate National Recreation Area to Sea-Level Rise**. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1058, 2005, p.27.

PIAZZA, H. D.; ARAUJO, M. B. de. Geologia da Parte Continental. In: **Projeto Rio Doce. Petróleo Brasileiro S/A**. Divisão de Exploração – DEXPRO/ DIVEX- Centro de Pesquisas e Desenvolvimento – CENPES- Instituto de Geologia e Astronomia da USP-IGA. 63p. 1972. [tabelas, croquis, perfis topográficos e mapas].

PIMENTA, L.B.; BELTRÃO, N.E.S.; GEMAQUE, A.M.S.; TAVARES, P.A. **Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG: temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais**. INTERAÇÕES, v. 20, n. 2, abr/jun, Campo Grande, 2019, p.407-420.

PINESE JÚNIOR, J.F. **Aplicação do método de análise hierárquica – AHP – para a determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade, MG**. Uberlândia: UFU, 2010. (Monografia).

PINESE JÚNIOR, J.F.; RODRIGUES, S.C. **O Método de Análise Hierárquica – AHP – como Auxílio na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG)**. Revista do Departamento de Geografia – USP, Vol. 23, São Paulo, 2012, p. 4-26. DOI: 10.7154/RDG.2012.0023.0001.

POLIZEL, S.P. **Caracterização Morfológica do Delta do Rio Doce (ES) com base em Sensoriamento Remoto**. 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

POLIZEL, S.P.; ROSSETTI, D. F. **Caracterização Morfológica do Delta do Rio Doce (ES) com base em Análise Multissensor**. Revista Brasileira de Geomorfologia. Vol.15, N.2, São Paulo, 2014, p.311-326.

POSTMA. Depositional Architecture and Facies of River and fan Deltas: A Synthesis. In: COLELLA, A.; PRIOR, D.B (Editors). **Coarse-grained Deltas**. Special Publication, Number 10 of the International Association of Sedimentologists. Blackwell Science, Oxford, 1990, p.13-28.

**PREFEITURA MUNICIPAL DE LINHARES - PML**. Economia. Disponível em: <<https://linhares.es.gov.br/economia/>> Acessado em:17/09/2020.

PUGH, D. T., **Tides, Surges and Mean Sea Level**. Great Britain: John Wiley & Sons, 1987, 472 p.

RADAMBRASIL. **Projeto Radam Brasil**. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória. V 32. Rio de Janeiro, 1983.

RAMOS, A.L.D. **Análise Integrada e Estrutura da Paisagem das Áreas de Proteção Permanente e Zona Ripária do Baixo Rio Doce**. 2012. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

READING, H.G. **Sedimentary Environments and Facies**. Nova York. Elsevier, 1979.

READING, H.G.; COLLINSON, J.D. Clastic Coasts. In: READING, H.G.(Editor). **Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy**. Blackwell Science, Oxford, 1996, p.154-231.

REBELLO, W.S. **O Papel dos Canais do DNOS nas Várzeas do Riacho (ES): Estudo de Caso sobre a Constituição Técnico-Científica da Configuração Territorial Capixaba**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

REZENDE, P.S.; MARQUES, D.V.; OLIVEIRA, L.A. **Construção de Modelo e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para Mapeamento de Risco à Inundação em Área Urbana**. Caminhos de Geografia Uberlândia, v. 18, n. 61 Mar, 2017, p. 01-18.

ROSENZWEIG, C; KOROLY, D; VICARELLI, M; NEOFOTIS, P; WU, Q; CASASSA, G; MENZEL, A; ROOT, T.L; ESTRELLA, N; SEGUIN, B; TRYJANOWSKI, P; LIU, C; RAWLINS, S; IMESON, A. **Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change**. Nat, 2008. 453:353–357. doi:10.1038/nature06937.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. Repensando a Geografia .9º Ed. 1º Reimpressão. Contexto. – São Paulo, 2014.

ROSSETTI, D.F. Ambientes Costeiros. In: FLORENZANO, T.G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. (Cap. 9), Oficina de Textos: São Paulo, 2008.

RRDM - REDE RIO DOCE MAR, RT 20. **Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente**. Relatório Anual – Seção 3: Anexo 4 - Praias. 153 p. Vitória, 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/cif/notas-tecnicas/ct-bio/relatorios-da-rede-rio-doce-mar>.

SAATY, R. W. **The analytic hierarchy process – what it is and how it is used**. Mathematical Modelling, v. 9, n. 3-5, p. 161-76, 1987. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>.

SAATY, T. L. **A scaling method for priorities in hierarchical structures**. *Journal of Mathematical Psychology*, v. 15, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SACHS, W. **Development: The rise and decline of an ideal**. Encyclopedia of Global Environmental Change. Nº. 108, 2000. ISSN 0949-5266.

SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; JIMÉNEZ, J. A.; VALDEMORO, H. I. **The Ebro delta: Morphodynamics and vulnerability**. Journal of Coastal Research, 14(3),1998, p. 754-772.

SÁNCHEZ-ARCILLA, A; JIMÉNEZ, A; VALDEMORO, H.I. The Vulnerability and Sustainability of Deltaic Coasts: The Case of the Ebro Delta, Spain. Chapter 6 In: (Edited) MCFADDEN, L; NICHOLLS, R.J; PENNING-ROWSELL, E. **Managing Coastal Vulnerability**. Elsevier The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE. The Netherlands First edition, Amsterdam, 2007.

SANT´ANA, T.C. F; GARBIN, E. P. **Cartografia**. Núcleo de Educação a Distância. Centro Universitário de Maringá – Unicesumar, Maringá – PR, 2019, 200 p.

SANTOS, A.R.; LOUZADA, F.L.R.O.; EUGENIO, F.C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 184 p.

SANTOS, C.C. **Validação da Vulnerabilidade Natural dos Ecossistemas Costeiros Aquáticos do Espírito Santo Segundo Critérios Físicos e Químicos**. 2010. 66 f. Monografia (Graduação em Oceanografia). Departamento de Oceanografia e Ecologia, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

SANTOS, R.T.F. **Efeitos da Subida do Nível do Mar na Inundação Costeira na Costa Leste do Brasil devido às Mudanças Climáticas**. 2017. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SANTOS, V. S. "**Impactos ambientais do acidente em Mariana (MG)**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/biologia/impactos-ambientais-acidente-mariana-mg.htm>> Acesso em 16 de julho de 2021.

SANTOS, V.S. **Impactos Ambientais: Os Impactos Ambientais podem ser definidos como Alterações no Meio Ambiente provocadas pelo Homem e suas Atividades**. Biologia: Ecologia. Mundo da Educação/Portal Uol, 2021. <https://mundoeducacao.uol.com.br/biologia/impactos-ambientais.htm> > Acessado em: 16/07/2021.

SÃO BERNARDO DO CAMPO, Defesa Civil. **Enchente, Inundação, Alagamento ou Enxurrada?** Disponível em: <http://dcsbcsp.blogspot.com.br/2011/06/enchente-inundacao-ou-alagamento.html> Acessado: em maio de 2015.

SARTORI, S; LATRÔNICO, F; CAMPOS, L.M.S. **Sustentabilidade e Desenvolvimento Sustentável: uma taxonomia no campo da literatura**. Ambiente & Sociedade. São Paulo v. XVII, n. 1, p. 1-22, jan-mar. 2014.

SCHEFFER M; CARPENTER, S; FOLEY, J. A; FOLKE, C; WALKERK, B. Catastrophic Shifts in Ecosystems. **Nature**, v. 413, n. 6856, p. 591-6, 2001.



SÉGUIER, J. Dicionário prático ilustrado. Porto, Chardron, p.1779, 1935.

SERAFIM, M. B; SIEGLE, E; CORSI, A. C; BONETTI, J. **Coastal vulnerability to wave impacts using a multi-criteria index: Santa Catarina (Brazil)**. Journal of Environment Management. V.230, 2019, p.21-32. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.052.

SERAFIM, M.B; BONETTI, J. **Vulnerabilidade das praias do Estado de Santa Catarina a eventos de erosão e inundação costeira: proposta metodológica baseada em um índice multicritério**. Quaternary and Environmental Geosciences. 08(2), p.36-54, 2017.

SEYBOLD, H; ANDRADE, J. S; HERRMANN, H. J. **Modeling River Delta Formation**. PNAS, v.104 n.43, 2007. Doc. 0705265104.

SHEN, W.Z. **China's coastal geography (in Chinese)**. China ocean Press, Beijing, 2006.

SILVA, A. N; TABORDA, R., ANTUNES, C; CATALÃO, J; DUARTE, J. **Understanding the Coastal Variability at Norte Beach, Portugal**. Journal of Coastal Research. 65, 2173-2178, 2013.

SILVA, C. G; PATCHINEELAM, S.M; NETO, J.A.B; PONZI, V.R.A. Ambientes de Sedimentação Costeira e Processos Morfodinâmicos Atuantes na Linha de Costa (Capítulo 6). In: NETO, J.A.B; PONZI, V.R.A; SICHEL, S.E (Orgs). **Introdução à Geologia Marinha**. Interciências. Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, C.A.; NUNES, F.P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 25-30 abril., 2009, Natal. **Anais...**Natal-RN/BR: INPE, 2009, p.5435-5442.

SILVA, C.G., PATCHINEELAM, S.M., NETO, J.A.B., PONZI, V.R.A. 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: NETO, J.A.B., PONZI, V.R.A., SICHEL, S.E. **Introdução a Geologia Marinha**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2004. p 174-218.

SILVA, G.V. **Cota de Inundação e Recorrência para a Enseada do Itapocorói e Praia de Morro dos Conventos, Santa Catarina**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, P.G. **Exposição à Inundação Costeira nas Praias dos Ingleses, Moçambique e Barra da Lagoa, Florianópolis, SC**. 2014. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SILVA, V. O; MELLO, C. R; CHOU, S. C. **Projections of severe droughts in future climate in Southeast Brazil: a case study in Southern Minas Gerais State, Brazil**. Theor Appl Climatol. 148, 1289–1302, 2022. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03993-x>.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; ZAI, C. Mapeamento de Declividade de Vertentes: Aplicação na APA de Guaratuba/Paraná. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas / Tropical and Subtropical Geomorphology: processes, methods and techniques, 6 a 10 de Setembro / September 6-10., 2006, Goiânia. **Anais...** Brazil/Goiânia-GO, 2006.

SILVEIRA, V.S.; ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R. **Estudo dos Inundações na Cidade de São Gabriel – RS**. Revista Geo UERJ. Rio de Janeiro, n. 26, 2015, p. 270-287. doi: 10.12957/geouerj.2015.13658.

SILVEIRA, V.S.; ROBAINA, L.E.S.; TRENTIN, R. **Definição das áreas de perigo de inundação do rio Vacacaí no município de São Gabriel, RS**. GeoTextos, vol. 10, n. 2, dez. 2014. p.99-118.

SOUZA, C. R. G. **Flooding in the São Sebastião Region, Northern Coast of São Paulo State, Brazil**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 70, n. 2, p. 353-366, 1998.

SOUZA, S.O; VALE, C.C. Vulnerabilidade Ambiental da Planície Costeira de Caravelas (BA) como subsídio ao Ordenamento Ambiental. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia. 28 (1): p.147-160, 2016.

STANLEY, D; WARNE, A. **Nile delta in its destruction phase**. Journal of Coastal Research, 14, 794–825,1998.

STEVAUX, J.C; LATRUBESSE, E.M. **Geomorfologia Fluvial**. Ed, Oficina de Textos. São Paulo, 2017.

STRAUCH, N. **A Bacia do Rio Doce**. Rio de Janeiro: IBGE, 1955, 199 p.

SUGUIO, K. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 1222 p.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais**. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2010.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Ed. Blucher. São Paulo, 2003.

SUGUIO, K., MARTIN, L. & DOMINGUEZ, J. M. L. **Evolução da planície costeira do rio Doce (ES) durante o quaternário: Influência das flutuações do nível do mar**. In: IV Simpósio do Quaternário no Brasil. [Anais...] SBG. Rio de Janeiro, 1982, p.93-116.

SUGUIO, K.; MARTIN, L. Significance of Quaternary sea-level fluctuations for delta construction along the Brazilian Coast. **Geo-Marine Letters**, v.1, p. 181- 185, 1981.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; FLEXOR, J.M. Sea-level fluctuations during the past 6,000 years along the coast of the State of São Paulo, Brazil. In: MÖRNER, N. A. (ed.), **Earth rheology, isostasy and eustasy**, New John Willey and Sons: 471-486, 1980.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, INPE, v. 05, p. 1657-1664. 10 abr. 2003.

TAVARES, A.C; SILVA, A.C.F. **Urbanização, Chuvas de Verão e Inundações: uma análise episódica.** Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro. Vol. 3, n.1, 2008.

THIELER, E. R; HAMMAR-KLOSE, E. S. **National assessment of coastal vulnerability to future sea-level rise: preliminary results for the U.S.** Atlantic coast. U.S. Geological Survey, Open File Report, 2000, p. 99-593. 1 sheet.

THIELER, E.R, HAMMER-KLOSE, E.S. **National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea Level Rise: preliminary results for the U.S.** Atlanta coast. USGS, Open File Report, 1999, p.99–593. Available via <http://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/index.html> Accessed on 30 Aug 2008.

TOMAZELLI, L.J. **Ambientes de Sedimentação.** Notas de aula. Curso de Geologia - UFRGS. Gráfica da UFRGS, 2000.

TRALLI, D.; BLOM, R.G.; ZLOTNICKI, V.; DONNELLAN, A.; EVANS, DL. **Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards.** J Photogramm Remote Sens, vol. 59, 2005, p.185–198.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 3ª ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 2004.

TURNER, B. L.; KASPERSON, R.E.; MATSON, P. A.; MCCARTHY, J.J.; CORELL, R.W.; CHRISTENSEN, L.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J.X.; LUERS, A.; MARTELLO, M.L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. **A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 100, n. 14, p. 8074-79, 2003.

TV GAZETA. **Rio Doce ultrapassa cota de inundação em Colatina - ES.** [https://g1.globo.com/es/espirito-santo/noticia/2022/01/11/rio-doce-ultrapassa\\_cota-de-inundacao-em-colatina-es.ghtml](https://g1.globo.com/es/espirito-santo/noticia/2022/01/11/rio-doce-ultrapassa_cota-de-inundacao-em-colatina-es.ghtml). Acessado em: 19/01/2022.

UN-ISDR - UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives, United Nations.** Geneva, Suíça. 2002. Disponível em: [http://www.unisdr.org/eng/about\\_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm](http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm)

**USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.** Disponível em: <https://www.usgs.gov/products/data-and-tools/real-time-data/floods> Acesso em 21 set. 2020.

**USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY.** Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: [https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital\\_elevation-](https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital_elevation-)

---

[shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt\\_science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](#) >. Acesso em: 20 set. 2020.

VALENTE, O.F. **Reflexões Hidrológicas sobre Inundações e Alagamentos Urbanos**. Minha Cidade, São Paulo, ano 10, n. 109.01, Vitruvius, ago. 2009. <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/10.109/1839>>.

VALERIANO, M.M. Dados Topográficos: In: FLORENZANO, T.G (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. (Cap. 3), Oficina de Textos: São Paulo, 2008.

VAN DER MEER, J.W. Coastal Flooding: A view from a practical Dutchman on presente and future strategies. In: SAMUELS, P; HUNTINGTON, S; ALLSOP, W; HARROP, J. **Flood Risk Management: Research and Practice**. Anais da Conferência europeia de investigação Inundação de Gestão de Risco em Prática (risco de inundação 2008), OXFORD, Reino Unido, 2009.

VERVLOET, R.J.H.M. A Geomorfologia da Região de Rompimento da Barragem da Samarco: a originalidade da paisagem à paisagem da mineração In: MILANEZ, B; LOSEKANN, C. (Orgs). **Desastre no Vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**. Cap. 2. Rio de Janeiro: Folio Digital: Letra e Imagem, 2016.

VGR - **Gestão de Resíduos Online**. <https://www.vgresiduos.com.br/blog/impactos-ambientais-no-brasil-o-que-sao-consequencias-e-como-diminuir/> >Acessado em: 16/07/2021.

VIOLA, C. N. A; GRIFOLL, M; PALALANE, J; OLIVEIRA, T. C. A. **Sea Wave Propagation from Offshore to Maputo's Coast. Application to Longshore Sediment Transport Assessment**. Water Science & Technology, 69 (12), 2438–2445, 2014.

WATSON, K.M., WELBORN, T.L., STENGEL, V.G., WALLACE, D.S., MCDOWELL, J.S. **Data used to characterize peak streamflows and flood inundation resulting from Hurricane Harvey of selected areas in southeastern Texas and southwestern Louisiana, August–September 2017**: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/F7VH5N3N>, 2018.

WOOD, R. **Natural ups and downs**. Nat, 2008. 453:43–45. doi:10.1038/453043a.

WRIGHT, L.D. **Sediment transport and deposition at river mounts**. A synteses. Geol. Soc. Amer. Bull, v. 88, 1977, p. 837-868.

WRIGHT, L.D.; COLEMAN, J.M. **Mississippi river mouth process: effluent dynamics and morphologic development**: Journal of Geology, v.82, 1974, p. 751-778.

YAN, K.; CHEN, J.Y.; SONG, D. Q, et al. **The Report of Environmental Quality and Resource Investigation for the Coastal Areas in China (in Chinese)**. Beijing: China ocean press, 1991.

---

YIN, J.; YIN, Z.; WANG, J.; XU, S. **National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise for the Chinese Coast.** Journal of Coastal Conservation. Vol.16(1), 2012, p.123-133, 2012. Doi 10.1007/s11852-012-0180-9.

YIN, J; XU, S; WANG, J; ZHONG, H; HU, Y; YIN, Z; WANG, K; ZHANG, X. **Vulnerability Assessment of Combined Impacts of Sea Level Rise and Coastal Flooding for China's Coastal Region using Remote Sensing and GIS.** 18th international conference on geoinformatics, pp 1-4Nat Hazards, 62, 2012, p.1301–1321.

## ANEXO I

### **Forçantes Oceanográficas: Maré Astronômica e Maré Meteorológica**

As oscilações do nível do mar decorrem de uma larga escala temporal de curto, médio e longo período, correspondendo a segundos, minutos, horas, semanas, meses, anos, décadas, séculos e milênios. Nesse sentido, a maré astronômica é a de maior representatividade, cujas variações são de aspectos periódicos, agrupadas em períodos aproximados de 12 e 24 horas, resultando da reação dos oceanos com os efeitos das denominadas Forças Geradoras de Maré (FGM), tendo sua gênese da ação gravitacional dos sistemas Terra-Lua/Terra-Sol sobre o oceano (LISITZIN, 1974; MELO FILHO, 2017).

Segundo Melo Filho (2017), a análise mais precisa sobre o fenômeno da maré astronômica foi exposto de forma sintética por Gill (1982), onde o autor a descreve como o feedback das águas oceânicas em relação a Forças Geradoras de Maré (FGM) que é determinada pelos resultados das equações de ondas longas (forçantes) na superfície da Terra, esta que é descrita com uma morfologia de fundos e margens laterais significativamente complexas.

Contudo, a amplitude da maré astronômica em um determinado setor costeiro depende das ondulações da maré astronômica na margem da plataforma continental, esta que necessita da distância de alcance dos específicos pontos anfidrômicos e/ou das particularidades em si da plataforma (MELO FILHO, 2017).

As constantes alterações na variação do nível do mar decorrentes de processos atmosféricos, podem ocorrer tanto de forma positiva como negativa. Com isso, verifica-se que a diferença entre a maré observada e a maré astronômica projetada para uma região costeira específica é denominada de maré meteorológica. Esse tipo de maré caracteriza-se por ocorrer numa escala temporal de período curto com duração de dias, e com atuação das pistas de vento atreladas aos eventos extremos de sobreelevação (transposição), com comprimento que alcança centenas de quilômetros (PUGH, 1987; CAMPOS et al.; 2010).

Conforme o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), a maré meteorológica (meteorological tide) ocorre quando ventos intensos impulsionam a água do oceano em direção à costa em função do efeito de Coriolis, elevando, desse modo, o nível do mar. Contudo, se os fortes ventos coincidirem ao chegar no litoral

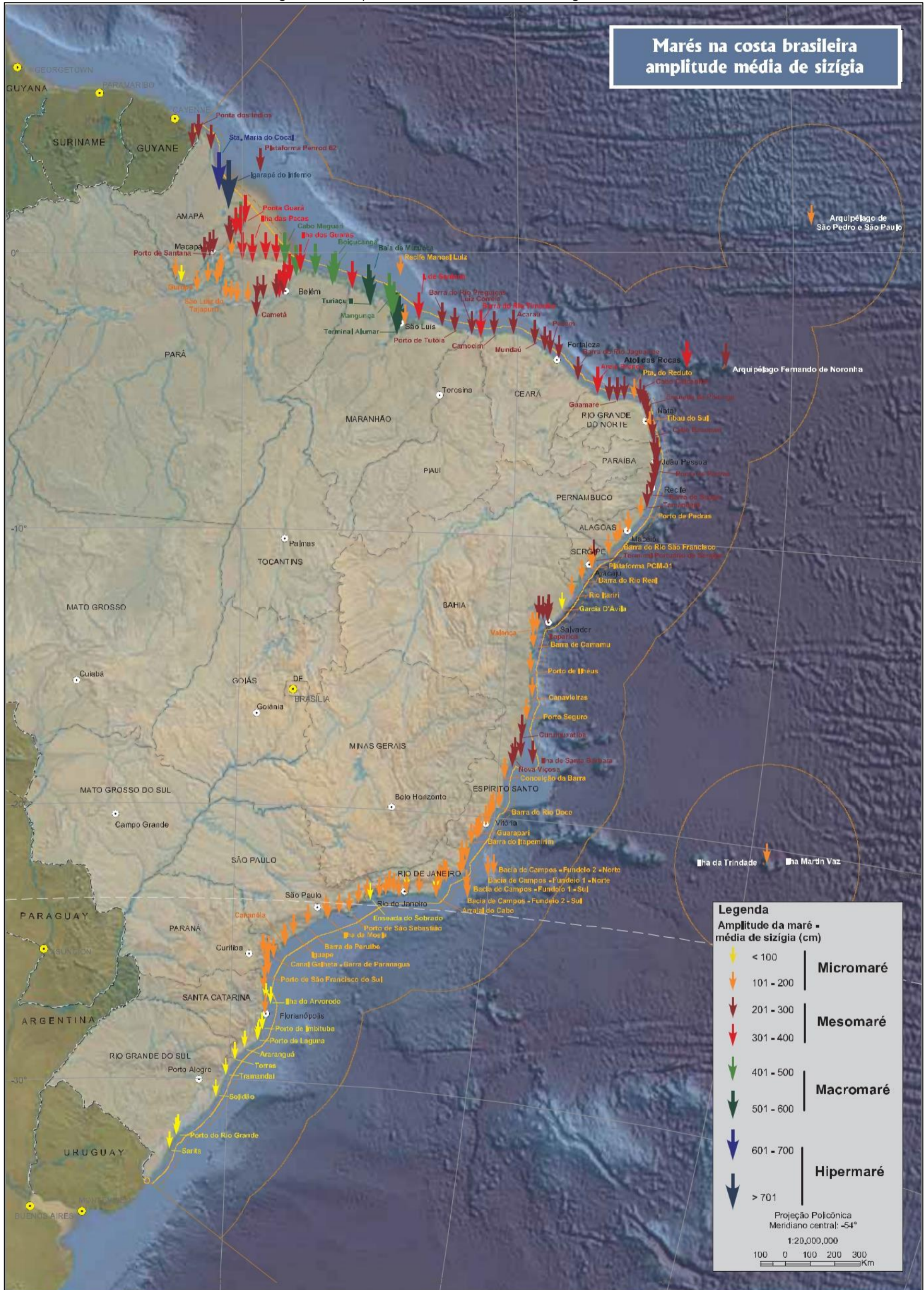
---

com a preamar de sizígia formam ondas altas causando inundações e, conseqüentemente, danos a equipamentos e infraestruturas costeiras.

A relevância com relação as circulações de marés astronômicas e marés meteorológicas depende da sazonalidade de determinados períodos do ano e da batimetria local, todavia, pode-se ratificar de forma mais generalista, que alterações meteorológicas são mais excessivas no inverno, tendo maior consequência em água rasas. Esses distúrbios meteoceanográficos como as tempestades extremas, aumentam significativamente o nível do mar provocando inundações em regiões costeiras (PBMC, 2016), principalmente durante a máxima preamar astronômica, ou seja, maré de sizígia (Figura 7) (CAMARGO; HARARI, 1994; CAMPOS et al.; 2010).

Por outro lado, as zonas litorâneas de baixas altitudes e com grande contingente populacional podem sofrer as consequências de fenômenos oceânicos. As expressivas variações negativas do nível médio do mar causam transtornos à navegabilidade de grandes embarcações, dificultando tanto o acesso a docas, atracadouros e portos como, ocasionalmente, inviabiliza os procedimentos de atracação (CAMARGO; HARARI, 1994; CAMPOS et al.; 2010).

Registro das amplitudes médias das marés de sizígia na costa brasileira.



Fonte: IBGE, Diretoria de Geociências, Coordenação de Geografia (2011).

Nota: Mapa elaborado com dados de: Sales, F. J. P.; Bentes, F. C. M.; Santos, J. A. dos. (Org.). Catálogo de estações maregráficas brasileiras. Rio de Janeiro: Fundação de Estudos do Mar - FEMAR, 2000. Disponível em: <[http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/cat\\_emb.html](http://www.fundacaofemar.org.br/biblioteca/emb/cat_emb.html)>. Acesso em: dez. 2010; e Davies, J. L. Geographical variation in coastal development. London: Longman, 1964.



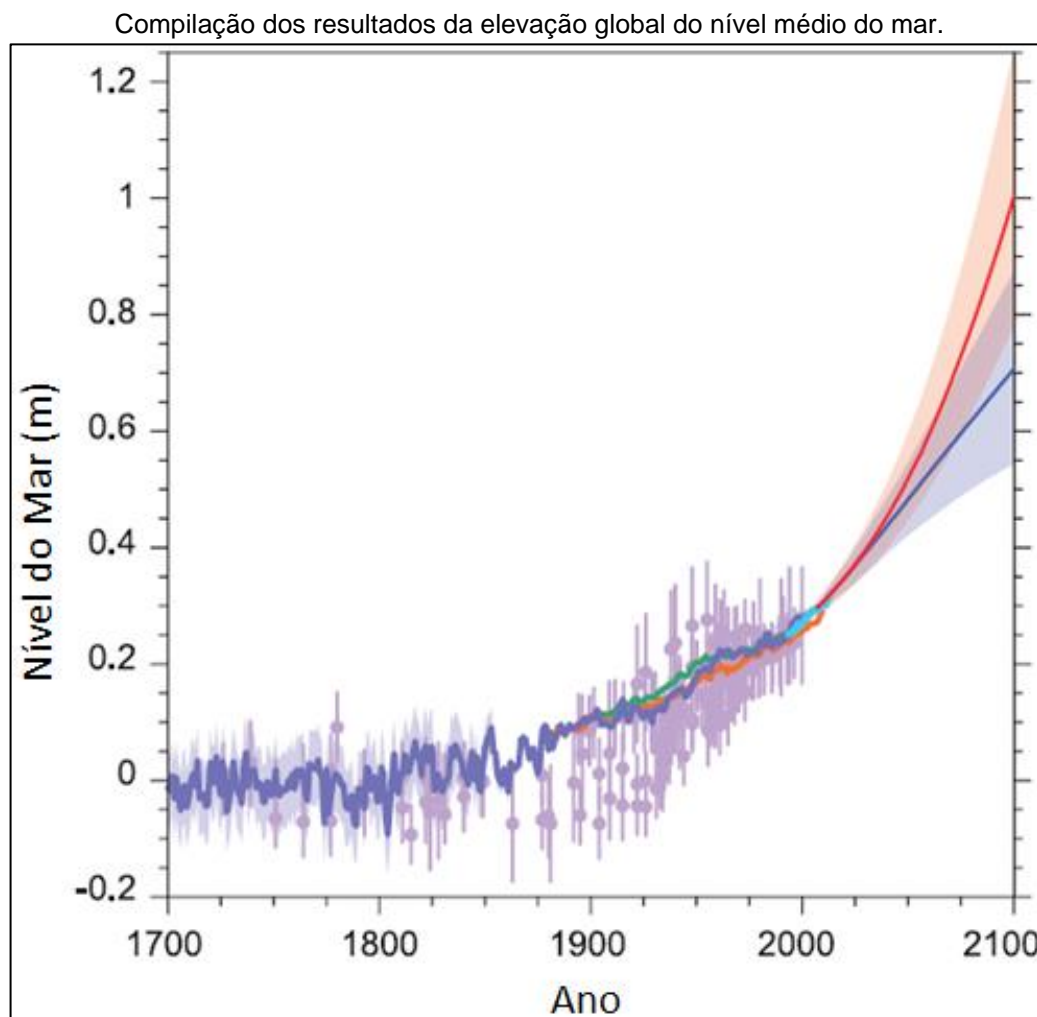
## **Nível Médio do Mar (NMM)**

Na atualidade há uma gama de discussões e estudos a respeito das flutuações do Nível Médio do Mar (NMM) nas escalas temporal de médio e longo prazo. As análises apontam que seu principal vetor é o aquecimento global que causa a elevação da temperatura dos oceanos e, assim, aumenta o seu volume devido ao derretimento de geleiras continentais (SILVA, 2012).

Conforme o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), as alterações globais do clima e o aumento eustático do NMM afetarão gravemente o meio ambiente natural e as sociedades humanas litorâneas (IPCC, 2007; 2013). Durante o último século houve uma elevação na temperatura média global, onde nas últimas três décadas o aquecimento do planeta apresentou um aumento estimado em 0,6° C com uma taxa por década de 0,2° C (NAGESWARA RAO et al. 2009; IPCC 2007; ROSENZWEIG et al. 2008; WOOD, 2008; ALLEN; KOMAR, 2006; YIN, 2012).

As oscilações do NMM quaternárias são resultantes das flutuações reais do nível marinho (eustasia) e das mudanças de nível dos continentes, processos de tectonismo e isostasia (MARTIN et al., 1993). Essas variações desempenham um papel crucial na evolução da linha de costa, onde a depender da escala de tempo geológico (Mega Escala) pode expor uma parcela da plataforma continental ou recobrir em parte ou totalmente as planícies costeiras atuais (SILVA et al., 2004).

Com as mudanças climáticas globais previstas, estima-se que o NMM subirá entre 0,3 e 0,9 m até o final do próximo século, pondo em risco populações de cidades e zonas costeiras de baixa altitude, sujeitas à erosão e inundação, além do aumento das taxas de salinização. As implicações de um aumento do nível do mar não seriam espacialmente uniformes, principalmente, em decorrência de movimentos verticais ou regionais da crosta, resistência a erosão diferencial, variação no clima de ondas e alteração das correntes longitudinais. Apesar dos diversos fatores que podem determinar a elevação do nível do mar, estudos derivados de medição de maré estimam uma elevação do nível do mar com taxa global média de 1 e 2 mm/ano até 2100 (Figura 8) (GORNITZ, 1991; IPCC, 2007; 2013).



Fonte: IPCC (2013).

Muitas regiões costeiras têm sofrido com problemas socioambientais, como efeitos de subsidência, derivadas de ações antrópicas numa escala temporal de curto, médio e longo prazo, principalmente em ambientes deltaicos. Desse modo, as flutuações do nível do mar associadas a mudanças climáticas tendem a aumentar a intensidade e frequência das tempestades, assim provocando inundações de costas baixas, erosão de praias e infiltração de água salgada nos aquíferos (TRALLI et al. 2005; YIN et al.; 2012).

### **Inundação em Ambientes Costeiros**

A inundação costeira ocorre devido aos efeitos imediatos da subida do Nível Médio do Mar (NMM), podendo se tornar frequente e de grandes proporções em função da intensidade de fenômenos climáticos, como o aumento nos índices de

precipitação, eventos de marés meteorológicas, dentre outros (NICHOLLS; CAZENAVE, 2010; DIEZ et al., 2011; SANTOS, 2017).

No caso de inundação decorrente de eventos extremos (tempestade), duas alterações principais podem ocorrer na morfologia da praia: a) retração ou retirada de sedimentos, dinamizando a redução da altura do perfil praial; b) achatamento ou redução da inclinação da face praial. Tratando-se, assim, de mudanças morfológicas que propiciam um *feedback* nos processos morfodinâmicos costeiros, sendo intensificados pela inundação em razão do efeito de *overtopping* (MORTON, 2002; LARSON et al., 2005; DONNELLY et al., 2006; JIMÉNEZ et al., 2006).

A resposta da costa aos efeitos de ondas e marés de tempestade é um fator importante na avaliação, com maior precisão, da extensão das áreas vulneráveis a inundação, principalmente em costas baixas não protegidas. O risco de inundação devido a eventos extremos tem ligação com os aspectos morfológicos da costa, estes que devem ser analisados considerando a pré-tempestade (ALVARADO-AGUILAR; JIMÉNEZ, 2008).

As praias ou barreiras arenosas quando presentes na costa, funcionam como um fator de proteção contra a ação das ondas e marés, impedindo o avanço das águas. Contudo, algumas regiões costeiras podem ser submetidas à inundação de ondas fortes quebrando na praia e sendo capaz de alcançar certas distâncias do interior continental. Nesse caso, é necessário que se estime o prolongamento das ondas afim de avaliar com precisão a extensão da inundação (MÖLLER et al., 1999; FEMA, 2003; ALVARADO-AGUILAR; JIMÉNEZ, 2008).

Para tanto, diversos estudos foram desenvolvidos ao longo dos anos em todo o mundo sobre inundações costeiras, em países europeus como Holanda (VAN DER MEER, 2009), na costa mediterrânea da Espanha, no delta do rio Ebro (ALVARADO-AGUILAR et al., 2012; JIMÉNEZ, 2006; 2008; ALVARADO-AGUILAR, 2009). Assim como na costa chinesa (CHEN; ZONG, 1998; YIN, 2012), no Japão (CHEN, 2016), nos Estados Unidos da América (GORNITZ, 1990, 1991; WATSON et al., 2018; USGS, 2020), e no Brasil (SOUZA, 1998; LINS-DE-BARROS; MUEHE, 2010; BONETTI et al., 2013; COELHO et al., 2014; SILVA, 2012; SILVA, 2014; SANTOS, 2017; SERAFIM; BONETTI, 2017).

Além de estudos da *Associated Programme on Flood Management* (APFM), que em parceria com a *World Meteorological Organization* (WMO), e a *Global Water Partnership* (GWP), desenvolveram o projeto *Integrated Flood Management* (IFM),

com uma abordagem voltada para o gerenciamento de inundações. O financiamento das pesquisas no âmbito desse projeto foi de iniciativa dos governos do Japão, Suíça e Alemanha (APFM, 2013).

## ANEXO II

Com relação a ocorrência de inundação em razão de eventos oceanográficos, destaca-se o estudo realizado por Alvarado-Aguilar (2009) no delta do rio Ebro, Espanha, onde adotou uma metodologia que mapeou os riscos de inundação e avaliou os danos causados por tempestades costeiras, com base em duas escalas espaço-temporais: uma escala de longo prazo, relaciona a elevação relativa do nível do mar e a outra em escala episódica, associada a eventos extremos de tempestades.

Nesse delta, os eventos de inundação em escala temporal de longo prazo, tiveram como principal processo que resultou em alterações significativas nas áreas costeiras de baixa altitude, a elevação relativa do nível do mar. Sendo que, para o referido delta, três possíveis cenários de elevação do nível do mar foram reproduzidos para determinar áreas potencialmente inundáveis, levando em conta a função das estruturas internas como canais, docas e rodovias, no intuito de prevenir enchentes (ALVARADO-AGUILAR, 2009).

Já em relação ao cenário de eventos extremos, no delta do rio Ebro, Alvarado-Aguilar (2009) evidenciou que estão relacionados a processos oceanográficos com período de retorno bastante longo, que não indicam uma periodicidade temporal. Dessa forma, foram identificadas áreas de inundação associadas a tempestades costeiras com períodos de retorno de 10, 50, 100 e 500 anos. O autor também realizou uma avaliação das perdas e danos derivados da inundação, sendo utilizados valores dos serviços ecológicos do ecossistema, além da terminação da vulnerabilidade costeira devido a erosão por tempestades.

Um estudo sobre vulnerabilidade a inundação na costa chinesa devido ao aumento do nível mar, foi desenvolvido por Yin et al. (2012), adotando-se o método multicritério AHP em ambiente SIG e com técnicas de sensoriamento remoto. Os autores constataram que a região vem sofrendo ao longo do tempo efeitos da subsidência, sendo consequência das atividades humanas, sobretudo, nos deltas dos rios Yangtze, Amarelo e das Pérolas. Além disso, a elevação do nível do mar combinada a subsidência de terra, a intensidade e a frequência de tempestades, causaram inundações nas terras baixas, erosão nas praias e infiltração salina de aquíferos.

Segundo Yin et al. (2012), o aumento e centralidade das atividades antrópicas diminuiu e continuará diminuindo a capacidade natural e socioeconômica da costa de

---

se adaptar as alterações, com isso eleva-se a vulnerabilidade costeira em relação a uma futura elevação do nível do mar. A zona costeira da China sofre com uma série de riscos naturais, como: ciclones tropicais, inundações e tufões (incluindo os ciclones tropicais), que são os principais eventos de tempestade, ocorrendo geralmente nos meses de junho a outubro.

Para determinar o índice de vulnerabilidade a inundações da costa chinesa 8 variáveis foram utilizadas, sendo divididas em dois grupos: a) variáveis terrestres (geomorfologia, elevação, declividade, erosão da linha de costa e uso da terra) e b) variáveis oceânicas (elevação do nível do mar, faixa média da maré e altura média da onda). Sendo, contudo, essas variáveis os principais vetores que influenciam a resposta costeira a inundações devido ao aumento do nível do mar (YIN et al., 2012). O CVI para inundações calculou uma área total de 18.616,16 km da linha de costa chinesa, dos quais 3% (619 km) foi classificado como altamente vulnerável, nos setores que compreendem a baía de Bohai, planície costeira de Jiangsu do norte e costa sudoeste de Taiwan. A categoria de alta vulnerabilidade representou 29% da extensão total (5.360,74 km), com ocorrência ao longo da costa de Dandong, delta do rio Liaohe, costa de Tangshan, delta do rio Amarelo, baía de Laizhou, costa de Rizhao, costa de Lianyungang, delta do rio Yangtze, costa sul de Zhejiang, delta do rio das Pérolas e a costa noroeste de Taiwan (YIN et al., 2012).

Por outro lado, mais da metade da zona costeira chinesa estudada mostrou vulnerabilidade moderada, em particular na Península de Liaodong, costa de Huludao, costa de Qinhuangdao, Península de Shandong, costa leste de Taiwan e na maioria dos litorais ao sul da baía de Hangzhou (exceto o delta do rio das Pérolas, sendo altamente vulnerável). Os 10% restantes (1916,34 km), foram classificados como vulnerabilidade baixa, principalmente no Golfo de Beibu, a norte do delta do Rio das Pérolas, e a norte do estreito de Qiongzhou. Assim comprovando, que a costa chinesa é vulnerável à subida do nível do mar e subseqüentes multi-perigos (YIN et al., 2012).

Contudo, diferente da maioria dos estudos analisados sobre inundações em ambiente deltaico e costeiro, que avaliaram a inundações procedente das forçantes oceanográficas, com exceção do trabalho desenvolvido por Van Der Meer (2009) no complexo deltaico Reno-Mosa-Escalda, nos Países Baixos. Nesse estudo o autor avaliar a extensão da inundações sob dois sistemas: o fluvial (devido as cheias e transbordamento dos rios) e o oceânico (em razão, principalmente, das ondas e marés de tempestades).

---

Os estudos no Brasil, sobre inundação em ambientes litorâneos, são realizados em sua quase totalidade em praia e planície costeira. Assim, pode-se exemplificar com alguns trabalhos, como o de Serafim e Bonetti (2017), que avaliaram a vulnerabilidade a eventos de erosão e inundação costeira com base em um índice multicritério em praias de Santa Catarina.

Nesse sentido, Serafim e Bonetti (2017), apresentaram nesse trabalho uma proposta metodológica visando mapear a vulnerabilidade costeira das praias de Santa Catarina, ante aos eventos extremos de ondas e marés apoiado na aplicação de um índice multicritério por meio do SIG. Assim, a vulnerabilidade foi alcançada integrando dois submodelos: um que obteve a suscetibilidade, sendo composto por variáveis físicas e o outro estabelecendo a capacidade adaptativa, formado por variáveis socioeconômicas.

Com isso, os valores mais altos de vulnerabilidade foram identificados nos trechos centrais dos setores Norte e Centro-Norte e em segmentos individualizados no setor Central. No segmento Centro-Norte, que apresenta forte balneabilidade, a exemplo dos municípios de Balneário Camboriú, Itapema e Navegantes, os aspectos socioeconômicos são de grande relevância, salientando que a vulnerabilidade foi mais baixa que a suscetibilidade em razão da alta capacidade adaptativa local. Em contrapartida, os segmentos Sul e Centro-Sul, apesar de apresentar capacidade adaptativa baixa, foram os de menos vulneráveis, apontando que o cenário de baixa suscetibilidade foi mais condicionante nestes setores (SERAFIM; BONETTI, 2017).

Lins-de-Barros e Muehe (2010) realizaram um estudo sobre vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da região dos lagos, no Rio de Janeiro, onde propuseram uma metodologia para avaliar em escala local a vulnerabilidade e os riscos de inundação costeira e os impactos sociais do presente e futuros, usando como unidade de análise os setores censitários urbanos demarcados pelo IBGE. Nesse sendo, com base na integração de dados demográficos, de campo, aspecto morfodinâmicos praias e registros de alagamentos, foi estabelecida uma classificação da vulnerabilidade à erosão, inundação e poluição do lençol freático.

Para avaliar o efeito dos impactos diretos da inundação na poluição do lençol freático e na disponibilidade de água potável Lins-de-Barros e Muehe (2010) empregaram variáveis que levaram em consideração a forma de abastecimento de água e a destinação dos efluentes domésticos por domicílios. Com isso, foram identificados treze setores na costa com classes alta e muito alta de vulnerabilidade a

transposição de ondas, ocorrendo construção diretamente à retaguarda das praias em seis dos treze setores.

Para tanto, o contexto mais crítico correspondeu aos trechos onde a transposição por ondas teve relação com o processo de erosão costeira. Os segmentos vulneráveis a alagamentos foram identificados, com maior ênfase, na margem norte das lagunas, particularmente no município de Saquarema, onde foram evidenciados o maior número de registros, sendo dois, referentes a transposição de ondas. Ressalta-se o fato de cerca de 75 mil habitantes residem nas áreas tidas como vulneráveis a alagamentos, transposição de ondas e erosão, sendo em torno de 3 mil pessoas vivem em condições precárias de acesso à água e saneamento básico, indicando setores com alto potencial de risco a saúde humana (LINS-DE-BARROS; MUEHE, 2010).