

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE – IEE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA - PPGE**

**KARINA CRISTINA CAETANO FARIAS NEVES**

**CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA DOS ARENITOS  
TURBIDÍTICOS DA FORMAÇÃO ORANGE PARA AVALIAÇÃO DA  
POSSIBILIDADE DE CCS ASSOCIADO AO EOR: POTENCIAL DE INJEÇÃO E  
MITIGAÇÃO DE IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS NA BACIA FOZ DO  
AMAZONAS**

**SÃO PAULO  
2024**

KARINA CRISTINA CAETANO FARIAS NEVES

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOFÍSICA DOS ARENITOS TURBIDÍTICOS DA  
FORMAÇÃO ORANGE PARA AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE CCS  
ASSOCIADO AO EOR: POTENCIAL DE INJEÇÃO E MITIGAÇÃO DE IMPACTOS  
SOCIOECONÔMICOS NA BACIA FOZ DO AMAZONAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Energia do Instituto de Energia  
e Ambiente da Universidade de São Paulo para  
a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Colombo Celso Gaeta  
Tassinari

Versão Corrigida

SÃO PAULO

2024

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

### FICHA CATALOGRÁFICA

Neves, Karina Cristina Caetano Farias.

Caracterização geológica e geofísica dos arenitos turbidíticos da formação Orange para avaliação da possibilidade de CCS associado ao EOR: potencial de injeção e mitigação de impactos socioeconômicos na Bacia Foz do Amazonas. / Karina Cristina Caetano Farias Neves; orientador: Colombo Celso Gaeta Tassinari. – São Paulo, 2024.  
128 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

1. Dióxido de carbono - armazenamento. 2. Bacia Foz do Amazonas – aspectos socioeconômicos. 3. Recuperação avançada de óleo. I. Título.

Nome: FARIAS NEVES, Karina Cristina Caetano

Título: Caracterização geológica e geofísica dos arenitos turbidíticos da Formação Orange para avaliação da possibilidade de CCS associado ao EOR: potencial de injeção e mitigação de impactos socioeconômicos na Bacia Foz do Amazonas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr.:

Instituição:

Julgamento:

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.:

Instituição:

Julgamento:

Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof. Dr.:

Instituição:

Julgamento:

Assinatura: \_\_\_\_\_

“Sou uma pessoa que acredita, como o Nobel, que a humanidade obterá mais coisas boas do que ruins com as novas descobertas.”

Maria Curie

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento desta pesquisa.

Ao Instituto de Energia e Meio Ambiente e à Universidade de São Paulo, por todo amparo dedicado ao longo do desenvolvimento deste Mestrado.

Ao Prof. Dr. Colombo Celso Gaeta Tassinari, por dedicar tempo e energia para tornar esta pesquisa mais completa e de alto nível.

Ao Prof. Dr. Estanislau Luczynski, pelo encorajamento em uma das minhas primeiras publicações em evento científico em 2018, e pelo esforço empenhado durante a seleção de mestrado.

Ao Prof. Dr. João Carlos Ribeiro Cruz, pelas oportunidades na graduação de estágio, iniciação científica, produção de artigos, minicursos. Obrigada por confiar no meu trabalho.

À Sandra Caetano, minha mãe, por dedicar toda a sua vida à minha educação e por me tornar uma mulher independente, estudiosa, respeitadora e determinada. Assim como disse Carl Sagan: “Dada a vastidão do tempo e a imensidão do universo, é um imenso prazer para mim compartilhar um planeta e uma época com você”, mãe.

À Karem Caetano, minha irmã, por incentivar meu crescimento e sempre acreditar que sou capaz.

Ao Sormani Augusto, meu tio, por ter ajudado na minha criação, e por ter feito a minha infância mais divertida.

Ao Raimundo Carlos Simões, meu pai, por ter financiado os meus estudos desde criança, e por ter aceitado me criar com toda a atmosfera de ensino necessária para que eu conseguisse desenvolver as minhas habilidades. Por mais que me esforce, nunca conseguirei retribuir.

Ao Vitor Farias (*in memoriam*), meu pai biológico, se estivesse aqui para acompanhar minha trajetória, de fato teria muito orgulho de tantas barreiras que eu derrubei, e do excelente trabalho da mamãe.

Ao Renato Neves, meu marido, por ter iluminado a minha vida, por me trazer a paz e a segurança de um amor tranquilo, e por dedicar boa parte dos seus dias para cuidar de mim. Sem você, finalizar essa dissertação não seria possível.

Por fim, à todos os familiares e amigos que contribuíram de alguma forma. Obrigada.

## RESUMO

FARIAS NEVES, K. C. C. **Caracterização geológica e geofísica dos arenitos turbidíticos da Formação Orange para avaliação da possibilidade de CCS associado ao EOR: potencial de injeção e mitigação de impactos socioeconômicos na Bacia Foz do Amazonas.** 2024, 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2024.

A presente pesquisa avalia a possibilidade do reservatório de arenitos turbidíticos da Formação Orange, na Bacia Foz do Amazonas, possuir as características necessárias para promover a injeção de dióxido de carbono associada à recuperação de óleo e gás, por meio da análise de dados do poço 1-BP-2-APS, e da interpretação de levantamento sísmico 3D. Ainda, analisa os possíveis impactos associados à produção de petróleo e gás para os municípios de Oiapoque, Calçoene e Amapá, região costeira adjacente ao empreendimento. As interpretações geofísicas se concentraram em três reservatórios alvos, datando do Plioceno, Mioceno superior e Mioceno médio. A interpretação dos dados revelou que os reservatórios possuem preliminarmente um conjunto de características relevantes e satisfatórias para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, como a presença de reservatório com profundidade acima de 2.5 km, porosidades variando de 19% a 30%, presença de armadilhas estruturais e estratigráficas, espessuras e continuidades laterais adequadas, e volumes da formação de 44.372 km<sup>3</sup> (plioceno), 115.782 km<sup>3</sup> (mioceno superior), 51.482 km<sup>3</sup> (mioceno médio). A análise dos impactos associados embasou-se em um delineamento demográfico da população de cada município, que indicou um histórico de construção social e desenvolvimento urbano com alicerces em exploração mineral e seus impactos, mostrando a sensibilidade da região à grandes empreendimentos. Devido a isso, desenvolveu-se as medidas de mitigação levando em consideração a necessidade de a população local fazer parte das tomadas de decisões, e realizando a antecipação de cenários fundamentado em empreendimentos *offshore* anteriores. Sendo assim, sugeriu-se entender as frentes de atuação da população, capacitar a região com base nas demandas do empreendimento, garantir a priorização de insumos locais, e o desenvolvimento de outras áreas potenciais para diminuição da dependência do petróleo, considerando a fase de retração.

**Palavras-chave:** Formação Orange. Interpretação Geofísica. Armazenamento Geológico de Carbono. Recuperação Avançada de Óleo. Bacia Foz do Amazonas.

## ABSTRACT

FARIAS NEVES, K. C. C. **Geological and geophysical characterization of Orange Formation turbiditic sandstone to evaluate the possibility of CCS associated with EOR: injection potential and mitigation of socioeconomic impacts in the Foz do Amazonas Basin.** 2024, 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências – Programa de Pós-Graduação em Energia) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, 2024.

This research evaluates the potential of the Orange Formation Sandstone Reservoir, in the Foz do Amazonas Basin, to promote the injection of carbon dioxide associated with oil and gas recovery, through the analysis of well data 1-BP-2-APS, and the interpretation of 3D seismic survey. Also, it analyzes the possible negative impacts associated with oil and gas production for the municipalities of Oiapoque, Calçoene and Amapá, a coastal region surrounding the project. Geophysical interpretations were concentrated in three target reservoirs, dating from the pliocene, upper myiocene and medium myiocene. The interpretation of the data revealed that reservoirs preliminarily have a set of relevant and satisfactory characteristics for the geological storage of CO<sub>2</sub>, such as the presence of a reservoir with depth above 2.5 km, porosities ranging from 19% to 30%, presence of structural traps and stratigraphic, thickness and sufficient lateral continuities, and volumes of the formation of 44,372 km<sup>3</sup> (plyocene), 115,782 km<sup>3</sup> (upper myiocene), 51,482 km<sup>3</sup> (average myiocene). The analysis of the associated impacts was based on a demographic design of the population of each municipality, which indicated a history of social construction and urban development with foundations in mineral exploration and its impacts, showing the sensitivity of the region to large enterprises. Because of this, mitigation measures were developed considering the need for the local population to be part of the decision making, and to anticipate scenarios based on previous offshore enterprises. Thus, it was suggested to understand the fronts of action of the population, to enable the region based on the demands of the enterprise, to ensure a prioritization of local inputs, and the development of other potential areas to reduce oil dependence, considering the retraction phase.

**Keywords:** Orange Formation. Geophysical interpretation. Geological Carbon Storage. Enhanced oil recovery. Foz Amazonas Basin.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Fig. 1.</b> Emissão de CO <sub>2</sub> por fonte. Modificado de HAUSFATHER et al., (2022).....	21
<b>Fig. 2.</b> Consumo de Petróleo em 2021 por país. IBP (2022).....	22
<b>Fig. 3.</b> Matriz Energética Brasileira, distribuição referente ao ano de 2022. Fontes renováveis representadas por: lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana, eólica e solar e outras renováveis. (MME e EPE, 2023).....	23
<b>Fig. 4.</b> Consumo final por fonte no Brasil, dados referentes ao intervalo de 1970 a 2022. Consumo de derivados de petróleo em azul escuro, mostrando a disparidade em relação ao consumo final de outras fontes de energia. (MME e EPE, 2023).....	23
<b>Fig. 5.</b> Consumo de petróleo e derivados por setor, distribuição referente ao intervalo de tempo de 1970 à 2022. (MME e EPE, 2023).....	24
<b>Fig. 6.</b> Consumo de gás natural por setor, dados referentes ao ano de 2022. (MME e EPE, 2023).....	24
<b>Fig. 7.</b> Mapa de infraestrutura de escoamento de gás do Brasil (MME e EPE, 2019).....	25
<b>Fig. 8.</b> Previsão de produção de óleo e gás no ambiente pré-sal em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022).....	26
<b>Fig. 9.</b> Previsão de produção de óleo e gás no Brasil em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022).....	26
<b>Fig. 10.</b> Evolução da população brasileira e da relação habitantes por domicílio em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022).....	27
<b>Fig. 11.</b> Bacias sedimentares <i>offshore</i> da Margem Equatorial Brasileira. Modificado de Carvalho (2015).....	28
<b>Fig. 12.</b> Mapa de localização da Bacia Guiana-Suriname, e do Cone do Amazonas. (Pattier et al., 2015).....	29

<b>Fig. 13.</b> Localização das descobertas na Guiana. Lisa, Payara, Snoek, Lisa deep, Turbot (Exxon Mobil, 2022).....	29
<b>Fig. 14.</b> Intensidade de Carbono em kgCO <sub>2</sub> por barril de óleo equivalente, por país produtor de petróleo. (BP, 2022).....	31
<b>Fig. 15.</b> Mapa de localização do levantamento sísmico, poço 1-BP-2-APS, e dos municípios costeiros alvos da pesquisa.....	33
<b>Fig. 16.</b> Capacidade de armazenamento de CO <sub>2</sub> por reservatórios nos campos de petróleo da Bacia de Campos, Brasil (ROCKET, 2010).....	34
<b>Fig. 17.</b> Mapa de Área de Importância Petrolífera, com as áreas com Necessidade de Conhecimento avalidadas. (MME e EPE, 2023).....	35
<b>Fig. 18.</b> Mapa de zoneamento de Gás Natural, com identificação de maior expectativa no Cone do Amazonas. (MME e EPE, 2023).....	35
<b>Fig. 19.</b> Mapa de zoneamento de recurso não-convencional, com identificação de Hidrato de Metano da Bacia Foz do Amazonas. (MME e EPE, 2023).....	35
<b>Fig. 20.</b> Coluna estratigráfica generalizada com o final da Formação Pomeroon, e Formação Corentyne. Composta por arenitos turbidíticos com a presença de óleo e gás. Modificado de Yang e Escalona (2011).....	37
<b>Fig. 21.</b> Seção cruzada mostrando o sistema petrolífero da Bacia da Guiana. Com foco para os reservatórios de arenitos turbidíticos do Mioceno (Yang e Escalona, 2011).....	37
<b>Fig. 22.</b> Rotas de captura e separação de CO <sub>2</sub> . Modificado de SANTOS et al. (2014).....	41
<b>Fig. 23.</b> Sites de armazenamento geológico. Modificado de KING et al. (2009).....	43
<b>Fig. 24.</b> Sites de armazenamento geológico complexos. Modificado de KREVOR et al. (2023).....	44

<b>Fig. 25.</b> Capacidade das instalações de CCS por estágio de desenvolvimento. Modificado de Global CCS Institute (2022).....	45
<b>Fig. 26.</b> Fluxograma com os tipos de recuperação de óleo. Modificado de AMBALIYA et al., 2023.....	47
<b>Fig. 27.</b> Levantamento sísmico 3D com as direções <i>inline</i> , <i>crossline</i> , e <i>Z-slice</i> . (ZOU et al., 2023).....	50
<b>Fig. 28.</b> Perfis de poços, sônico, neutrônico e densidade. Modificado de BP Brasil, 2001.....	51
<b>Fig. 29.</b> Mapa de localização da área de influência à atividade de perfuração marítima no bloco FZA-M-59 (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018).....	53
<b>Fig. 30.</b> Mapa de localização da área em que está contido o dado sísmico, o setor SFZA-AP2. (VASCONCELLOS, 2023).....	54
<b>Fig. 31.</b> Reconstrução tectônica das bacias sedimentares na configuração pré-deriva continental (Mohriak, 2003).....	57
<b>Fig. 32.</b> Mapa Geológico do Gondwana, com a localização da Faixa Móvel Rokelides, análoga à África. Siglas: CA - Cráton Amazônico; CSL - Cráton São Luís; COA - Cráton Oeste Africano; FR - Faixa Rokelides; FG - Faixa Gurupi; FA - Faixa Araguaia (ADIO, 2020).....	58
<b>Fig. 33.</b> Mapa geológico regional da MEB com localização de início no Gráben de Cassiporé, embasamento da BFAMZ, e localização final na Bacia do Ceará.....	59
<b>Fig. 34.</b> Carta Estratigráfica da Bacia Foz do Amazonas (DE FIGUEIREDO et al., 2007).....	60
<b>Fig. 35.</b> Deposição de grandes volumes de arenitos turbidíticos. Modificado de Catuneanu (2006).....	63
<b>Fig. 36.</b> Well 1-BP-2-APS com seção geológica esquemática. (BP Brasil, 2001).....	65
<b>Fig. 37.</b> Exemplo de horizonte geológico 3D. Modificado de Serazio et al. (2021).....	69

<b>Fig. 38.</b> Perfil geológico do poço 1-BP-2-APS. Modificado de BP Brasil (2001).....	77
<b>Fig. 39.</b> a) Seção sísmica não interpretada. b) Seção sísmica com horizontes delineados com o método seed trace.....	79
<b>Fig. 40.</b> a) Seção sísmica na direção <i>inline</i> na posição 15744 não interpretada. b) Seções sísmica com interpretação de baixo para cima, mioceno médio (verde), topo do mioceno (verde acqua), plioceno em quatro intervalos: 2.6 Ma (azul claro), 2.2 Ma (verde), plioceno superior (vermelho) e topo 1.65 Ma (rosa), e no mais recente, pleistoceno médio (amarelo) e pleistoceno 0.4 Ma (azul escuro).....	80
<b>Fig. 41.</b> Seções sísmicas na direção <i>inline</i> posição 15744, direção <i>crossline</i> posição 1 e 1501. a) Seções sísmicas não interpretadas. b) Seções com interpretação 2D do limite superior do reservatório de arenitos turbidíticos do plioceno. c) Horizonte 3D do reservatório.....	81
<b>Fig. 42.</b> Horizonte sísmico 3D do reservatório de arenito turbidítico do plioceno, objetivo primário.....	82
<b>Fig. 43.</b> Gráfico de variação de profundidade do reservatório do plioceno, objetivo primário..	82
<b>Fig. 44.</b> Seções sísmicas na direção <i>inline</i> posição 14921, direção <i>crossline</i> posição 1 e 1501. a) Seções sísmicas não interpretadas. b) Seções com interpretação 2D do limite superior do reservatório de arenitos turbidíticos do mioceno superior. c) Horizonte 3D do reservatório....	83
<b>Fig. 45.</b> Horizonte sísmico 3D do reservatório de arenito turbidítico do mioceno superior, objetivo primário.....	84
<b>Fig. 46.</b> Gráfico de variação de profundidade do reservatório do mioceno superior, objetivo primário.....	84
<b>Fig. 47.</b> Seção sísmica na direção <i>inline</i> , posição 15744. a) Seção original não interpretada. b) Seção original com o topo do reservatório de arenito turbidítico interpretado do mioceno médio, objetivo secundário.....	85

<b>Fig. 48.</b> Seção sísmica na direção <i>inline</i> e <i>crossline</i> , posições 15744 e 759, respectivamente. a) Seções originais não interpretadas. b) Seções originais com o topo do reservatório de arenito turbidítico do mioceno médio interpretado.....	86
<b>Fig. 49.</b> Seção sísmica na direção <i>inline</i> e <i>crossline</i> , posições 15744 e 759, respectivamente. a) Seções originais cruzadas com a superfície 3D do reservatório de arenito turbidítico do mioceno médio. b) Superfície 3D do reservatório.....	87
<b>Fig. 50.</b> Gráfico de variação de profundidade do reservatório do mioceno superior, objetivo primário.....	88
<b>Fig. 51.</b> Mapa de Localização da Serra do Navio (TIRELLO e DA COSTA, 2017).....	91
<b>Fig. 52.</b> Distritos mineiros do estado do Amapá (RAUBER e PALHARES, 2022).....	91
<b>Fig. 53.</b> Mapa de densidade demográfica por município no estado do Amapá, com destaque para os municípios estudados. Modificado de IBGE (2022).....	94
<b>Fig. 54.</b> Mapa de área de unidade territorial do estado do Amapá, com destaque para os municípios estudados. Modificado de IBGE (2022).....	94
<b>Fig. 55.</b> Mapa de salário médio mensal dos trabalhadores formais. Modificado de IBGE (2022).....	97
<b>Fig. 56.</b> Mapa de taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade. Modificado de IBGE (2022).....	97
<b>Fig. 57.</b> Mapa de mortalidade infantil. Modificado de IBGE (2022).....	97
<b>Fig. 58.</b> Mapa de área urbanizada. Modificado de IBGE (2022).....	97
<b>Fig. 59.</b> Mapa de localização do município Oiapoque com a distância entre o município e o levantamento.....	101
<b>Fig. 60.</b> Pirâmide etária do município Oiapoque. IBGE (2022).....	101

<b>Fig. 61.</b> Mapa de localização do município Calçoene com a distância entre o município e o levantamento.....	102
<b>Fig. 62.</b> Pirâmide etária do município Calçoene. IBGE (2022).....	103
<b>Fig. 63.</b> Mapa de localização do município Calçoene com a distância entre o município e o levantamento.....	104
<b>Fig. 64.</b> Pirâmide etária do município Amapá. IBGE (2022).....	104

## LISTA DE TABELAS

<b>Tab. 1:</b> Desenvolvimento do CCS por país ano 2021-2022. Modificado de Global CCS Institute (2022).....	45
<b>Tab. 2:</b> Regiões incluídas no mapeamento de áreas impactadas pela exploração do bloco FZA-M-59 (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018).....	55
<b>Tab. 3:</b> Informações do levantamento sísmico. Modificado de BP Brasil (2001).....	64
<b>Tab. 4:</b> Informações do poço. Modificado de BP Brasil (2001).....	65
<b>Tab. 5:</b> Etapas da interpretação de horizontes sísmicos (ONAJITE, 2014).....	66
<b>Tab. 6:</b> Base de dados com as características da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2022.....	71
<b>Tab. 7:</b> Base de dados com as características econômicas da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2021 e 2022.....	72
<b>Tab. 8:</b> Base de dados com as características educacionais da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2010 e 2021.....	73
<b>Tab. 9:</b> Base de dados com as características de saúde população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE (2022).....	73
<b>Tab. 10:</b> Base de dados com as características da meio ambiente e território da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE (2022).....	73
<b>Tab. 11:</b> Presença de óleo e gás na Fm. Orange a partir do poço 1-BP-2-APS. Modificado de BP Brasil (2001).....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFAMZ	Bacia Foz do Amazonas
CA	Cráton Amazônico
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CSL	Cráton São Luís
COA	Cráton Oeste Africano
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>
EUA	Estados Unidos da América
FA	Faixa Araguaia
FG	Faixa Gurupi
FR	Faixa Rokelides
GEE	Gases do Efeito Estufa
GN	Gás Natural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
IPA	Área de Importância Petrolífera
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MEB	Margem Equatorial Brasileira
NDC	Contribuição Nacionalmente Determinada
PCC	<i>Post Combustion Capture</i>
PNE	Plano Nacional de Energia

TE	Transição Energética
UH	Usina Hidrelétrica
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UTE	Usina Termoelétrica
WAG	<i>Water Alternating Gas</i>

## SUMÁRIO

<b>1. APRESENTAÇÃO</b> .....	21
1.1 INTRODUÇÃO.....	21
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	32
1.3 JUSTIFICATIVA.....	34
1.4 OBJETIVOS.....	38
1.5 ESTRUTURA CAPITULAR.....	39
<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	41
2.1. <i>CARBON CAPTURE AND STORAGE</i> .....	41
<b>2.1.1 Aspectos Elementares</b> .....	41
2.1.1.1 Reservatórios Potenciais.....	42
<b>2.1.2 Panorama Mundial</b> .....	44
<b>2.1.3 Contexto Brasileiro</b> .....	46
2.2 <i>ENHANCED OIL RECOVERY</i> .....	46
<b>2.2.1 Aspectos Elementares</b> .....	46
2.3 CCS e EOR.....	47
2.4 GEOFÍSICA APLICADA À AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS.....	49
<b>2.4.1 Sísmica de Reflexão</b> .....	49
<b>2.4.2 Geofísica de Poço</b> .....	50
2.5 ÁREA DE ESTUDOS.....	53

<b>2.5.1 Bacia Foz do Amazonas</b> .....	56
2.5.1.1 Geologia Regional.....	56
<b>2.5.2 Formação Orange</b> .....	61
2.5.2.1 Arenitos Turbidíticos.....	62
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	64
3.1 AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE E INJETIVIDADE DA FORMAÇÃO ORANGE....	64
<b>3.1.1 Base de Dados</b> .....	64
3.1.1.1 Dados Sísmicos.....	64
3.1.1.2 Dados de Poço.....	65
3.1.1.3 OpendTect.....	66
3.2 INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA.....	66
3.2.1 Método <i>Seed Trace</i> .....	67
3.2.2 Algoritmo <i>Convex Hull</i> .....	67
3.2.3 Algoritmo Distância Inversa.....	69
3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA COSTA DO AMAPÁ.....	70
<b>3.3.1 Base de Dados</b> .....	70
3.3.1.1 Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.....	70
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	75
4.1 Estimativa de capacidade de injeção de CO <sub>2</sub> na Formação Orange.....	75
4.1.1 Dados de poço.....	75

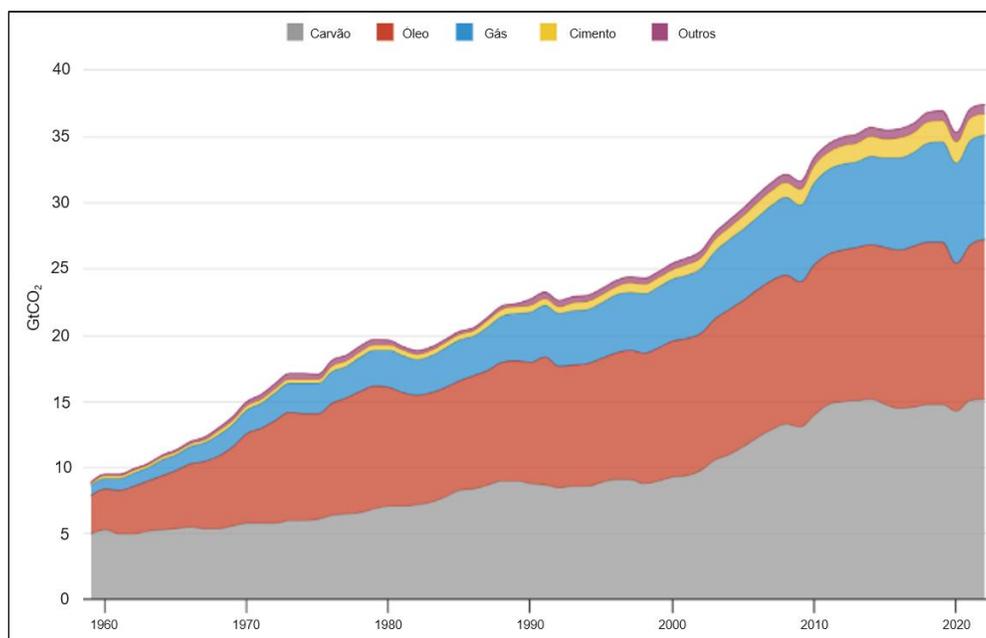
4.1.2 Dados sísmicos.....	76
4.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS SOCIOECONOMICOS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO..	89
<b>4.2.1 Histórico de exploração e exploração minerária no estado do Amapá.....</b>	<b>89</b>
<b>4.2.2 Análise da região costeira do Amapá.....</b>	<b>93</b>
<b>4.2.3 Oiapoque.....</b>	<b>100</b>
<b>4.2.4 Calçoene.....</b>	<b>102</b>
<b>4.2.5 Amapá.....</b>	<b>103</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## 1. APRESENTAÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

O compromisso de reduzir a dependência e a participação de combustíveis fósseis na matriz energética global tornou-se uma prioridade após a assinatura de 195 países no Acordo de Paris (ROMAN, 2022; FONSECA et al., 2022) durante a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC) em 2015, na França. Desde então, o acordo tem fomentado a discussão de mecanismos para uma Transição Energética (TE) justa<sup>1</sup> e gradual, priorizando o bem-estar dos envolvidos e focando em uma matriz de baixo carbono (CERUTTI, 2023), reiterando a relevância de um desenvolvimento sustentável.

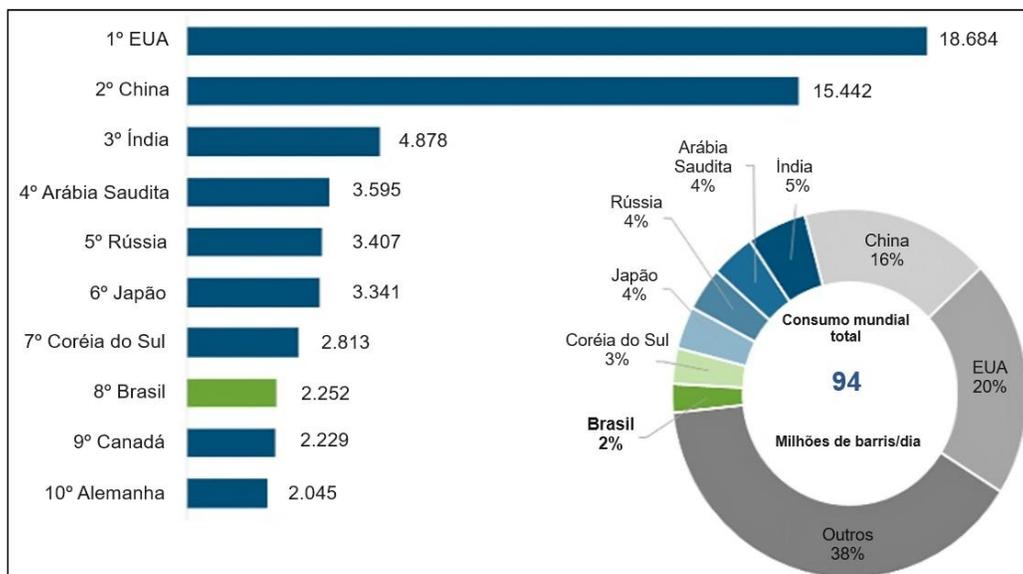
Conjecturando o cenário em evolução da atual transição no setor de energia e o potencial de emissões de carbono (Fig. 1), juntamente com a crescente necessidade global de combustíveis fósseis, especialmente o petróleo (Fig. 2), surge a expectativa de substituir esses recursos por fontes de energia menos poluentes. Nesse contexto, destaca-se o gás natural (GN) como uma opção viável, com menor emissão de gases do efeito estufa (GEE) e vantagens econômicas, de segurança<sup>2</sup> e eficiência energética (MONTENEGRO, 2023; VOLKAN et al., 2023; SUPING ZHAO et al., 2023), desempenhando um papel fundamental neste cenário.



**Fig. 1.** Emissão de CO<sub>2</sub> por fonte. Modificado de HAUSFATHER et al., (2022).

<sup>1</sup> A literatura sobre justiça energética se baseia no reconhecimento das injustiças na distribuição espacial e social dos custos e benefícios dos sistemas de energia, nas responsabilidades associadas, nos processos de tomada de decisão relacionados ao planejamento dos sistemas de energia e do acesso à energia (DUARTE, 2023).

<sup>2</sup> O termo segurança energética está ligado à estabilidade na oferta de energia. O fornecimento estável de bens energéticos e seus abastecimentos de combustíveis (COSTA et al., 2023).

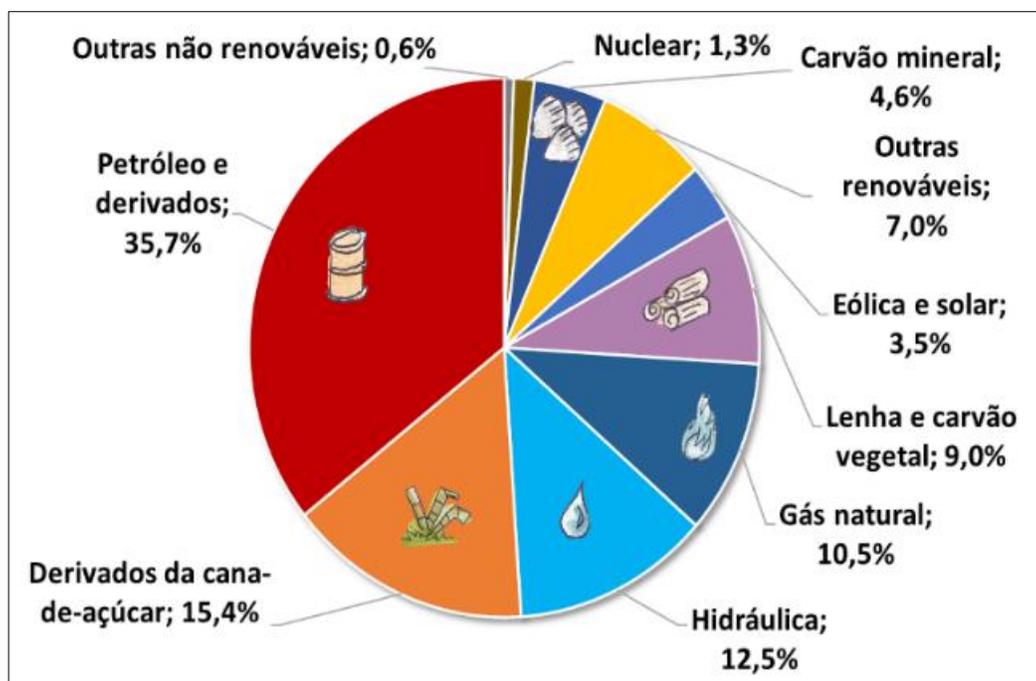


**Fig. 2.** Consumo de Petróleo no ano de 2021 por país. IBP (2022).

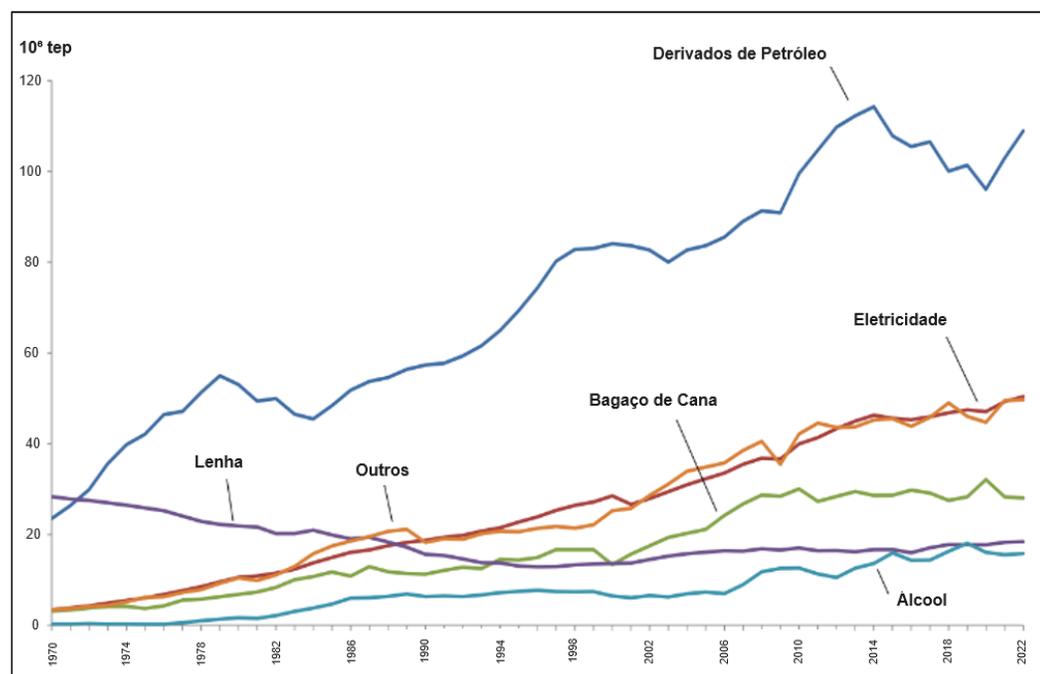
O gás natural é avaliado como uma fonte estratégica e alternativa de energia para impulsionar a TE, contribuindo para o desenvolvimento econômico e ambiental (SOUSA (2023). Entretanto, é importante destacar que o contexto de deliberação da emergência climática<sup>3</sup> possui reflexos de resolutiva ímpares em cada país ou região, com contornos específicos que detém características de desigualdades regionais entre países centrais e periféricos (GUERRA, 2023). Isso se acentua quando a região possui dimensões continentais, (LOPES, 2023) como o Brasil, que possui uma área de 8.515.767,049 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022).

Sendo assim, as especificidades da base de composição energética de cada país devem ser analisadas individualmente. A matriz energética nacional, por exemplo, é composta por 47,4% de geração de energia oriunda de fontes renováveis (Fig. 3) (MME e EPE, 2023). Esses dados corroboram para o reconhecimento mundial do Brasil como uma potência energética e ambiental, devido a riqueza de opções de produção provenientes de diversas fontes, abundância de matéria-prima e a capacidade de produção em larga escala (ELIAS, 2023). Entretanto, o país destaca também uma característica global, a alta dependência nacional por combustíveis fósseis (Fig. 4).

<sup>3</sup> A utilização do termo emergência climática converge com a necessidade do desenvolvimento de medidas de mitigação de eventos que já ocorrem e que em um cenário de projeção podem tornar-se ainda mais severos. Seja pelo aumento das temperaturas do ar e da água, que por sua vez, leva ao aumento do nível do mar; Quanto pela ocorrência de tempestades sobrecarregadas e velocidades de vento mais altas; Além de, secas e temporadas de incêndios florestais mais intensas e prolongadas (REI et al., 2023).

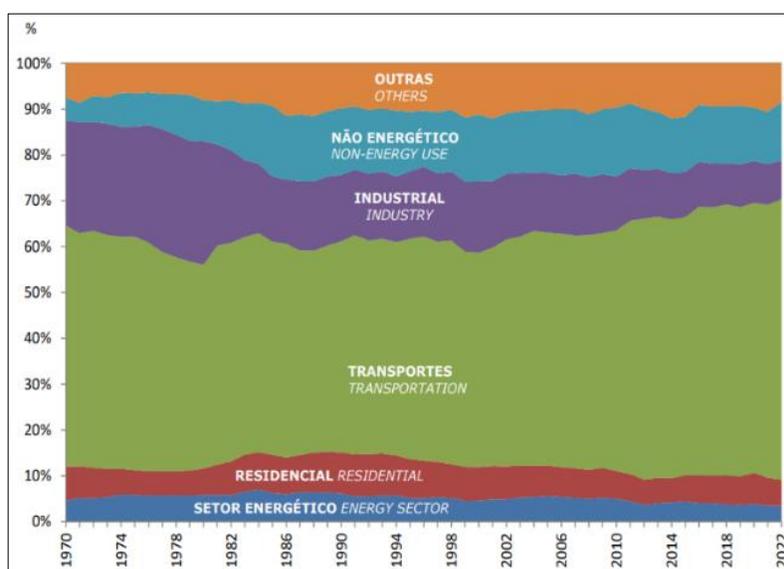


**Fig. 3.** Matriz Energética Brasileira, distribuição referente ao ano de 2022. Fontes renováveis representadas por: lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana, eólica e solar e outras renováveis. (MME e EPE, 2023).

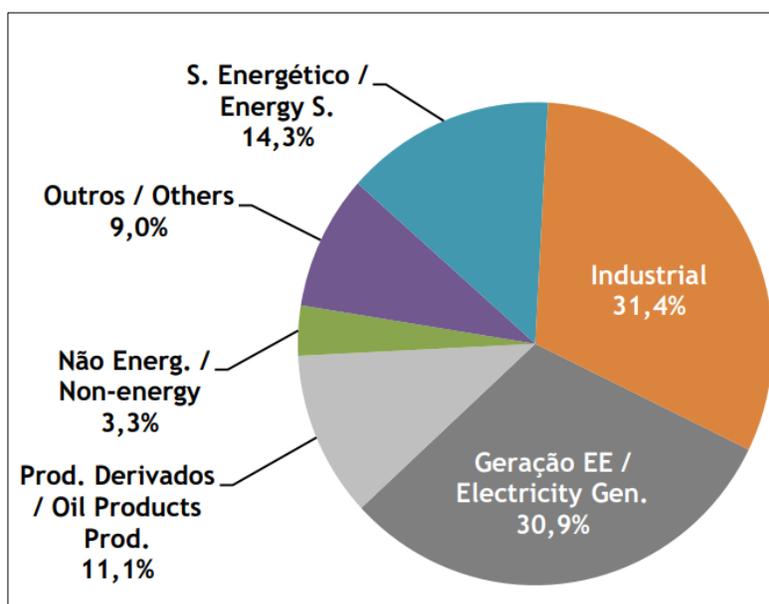


**Fig. 4.** Consumo final por fonte no Brasil, dados referentes ao intervalo de 1970 a 2022. Consumo de derivados de petróleo em azul escuro, mostrando a disparidade em relação ao consumo final de outras fontes de energia. (MME e EPE, 2023).

O petróleo nacional e seus derivados possuem participação de 35,7% na matriz energética nacional, e é utilizado majoritariamente no setor de transportes, mas também possui ampla aplicabilidade nos setores residencial e industrial (MME e EPE, 2023) (Fig. 5). O GN, que é indicado como o recurso energético de substituição do petróleo em um cenário de transição energética, possui participação de 10,5% na matriz energética nacional, com aplicabilidade no setor industrial e no setor de geração de energia elétrica (Fig. 6) por meio do complemento de geração de energia a partir de usinas termoeletricas (UTE) à gás natural.

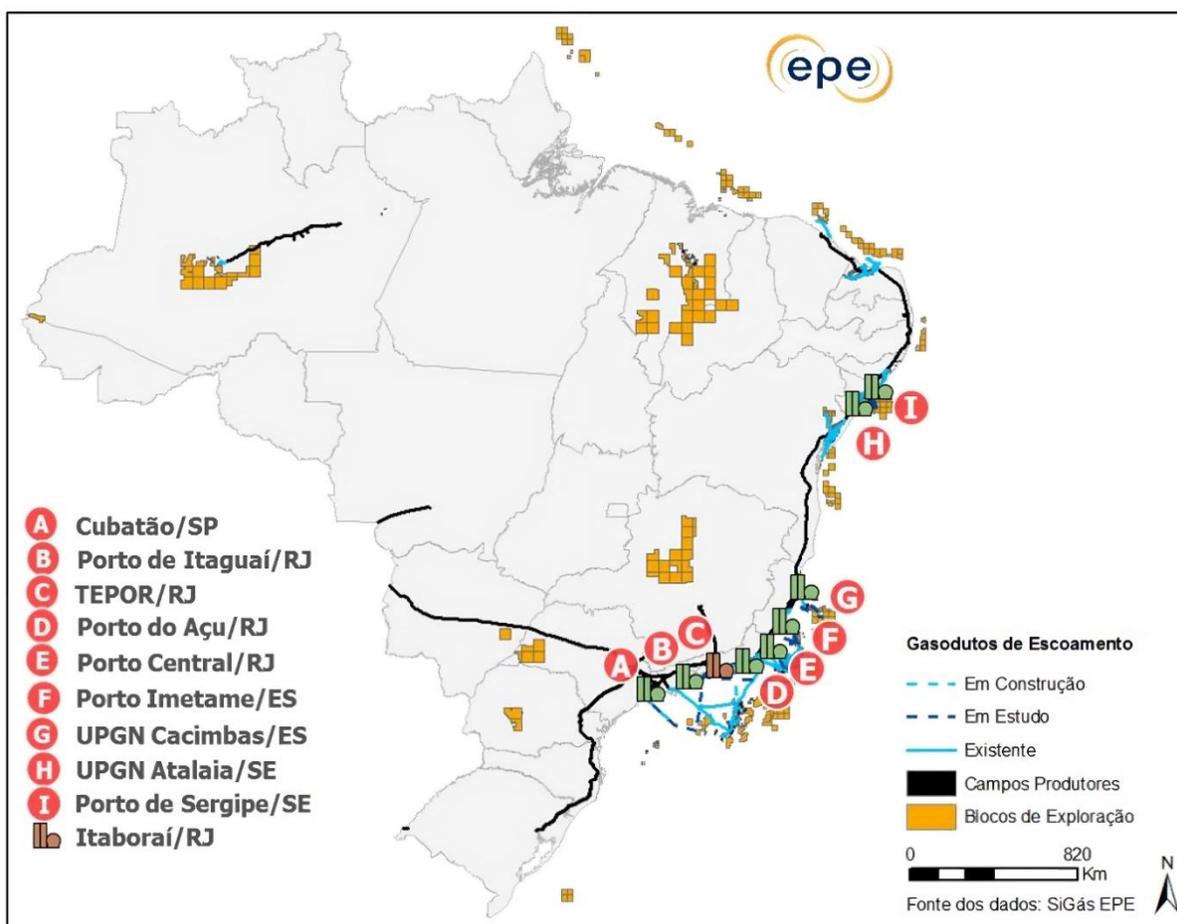


**Fig. 5.** Consumo de petróleo e derivados por setor, distribuição referente ao intervalo de tempo de 1970 à 2022. (MME e EPE, 2023).



**Fig. 6.** Consumo de gás natural por setor, dados referentes ao ano de 2022. (MME e EPE, 2023).

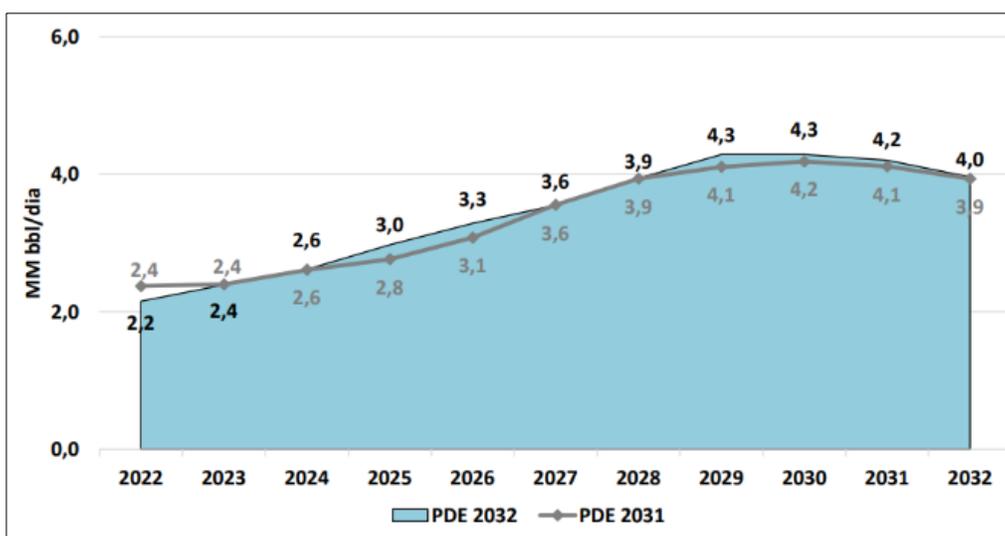
O cenário de substituição do petróleo por GN no Brasil percorre por diferentes discussões, sendo a infraestrutura de transporte de GN um dos principais fatores que dificultam o cenário de escalabilidade desta fonte (LEWENKOPF, 2021). A infraestrutura de gasodutos de escoamento atualmente em operação revela-se ineficaz na distribuição de gás para todas as regiões do país, conforme ilustrado na Figura 7. Resultante, entre outras coisas, da vasta extensão territorial do Brasil, indicando a necessidade de melhorias na rede de distribuição de gás para garantir um abastecimento eficiente e abrangente em todo o território nacional.



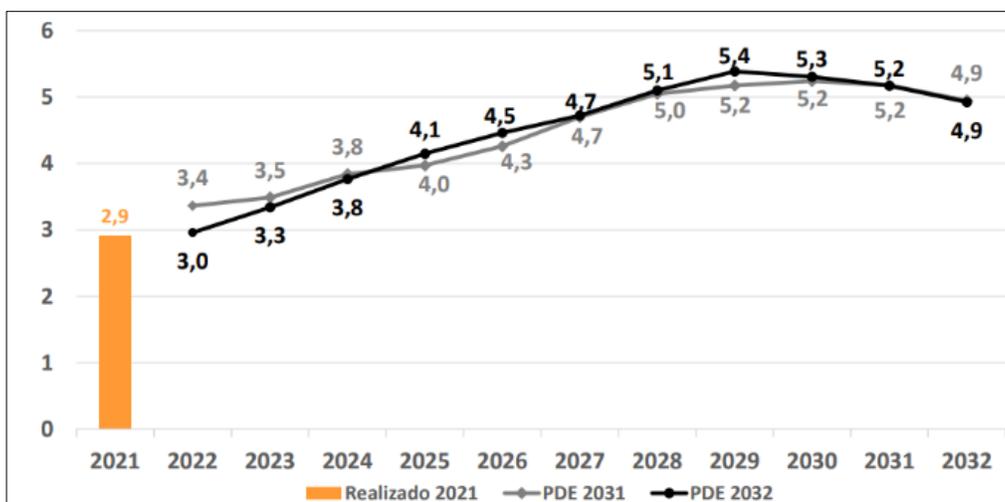
**Fig. 7.** Mapa de infraestrutura de escoamento de gás do Brasil (MME e EPE, 2019).

A consolidação de infraestrutura do setor de gás necessitaria de investimentos fixos, de longo prazo e de maturação substanciais, especialmente em gasodutos (MATTOS, 2022). Logo, estes entraves relacionados ao transporte de GN, mas que também permeiam a distribuição, são importantes pontos que necessitariam de grandes esforços dos tomadores de decisões em Energia para viabilizar a maior adesão do gás em setores como o industrial, automobilístico e residencial (LEWENKOPF, 2021), a fim de suprir a alta demanda de petróleo por estes setores.

Dada a importância nacional do petróleo e seus derivados para o abastecimento dos principais setores, e as especificidades do território que possivelmente dificultam a substituição desse recurso de forma segura e economicamente viável em um médio prazo, destaca-se uma relevante previsão, a diminuição de produção de petróleo a partir da Bacia de Campos e de Santos (Fig. 8), regiões responsáveis atualmente por 93,9% da produção total de óleo e gás (O&G) no Brasil (MME e EPE, 2023), refletindo diretamente no decréscimo da produção de petróleo nacional no horizonte até 2032 (Fig. 9).



**Fig. 8.** Previsão de produção de óleo e gás no ambiente pré-sal em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022)



**Fig. 9.** Previsão de produção de óleo e gás no Brasil em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022)

Ao analisar a perspectiva de redução na produção de O&G, vislumbra-se um cenário potencial a longo prazo que aponta para possíveis desafios de desabastecimento e a necessidade de recorrer à importação desses recursos para atender à demanda nacional. Esse contexto se deve, em parte, à projeção de crescimento populacional (Fig. 10), e, por sua vez, ao aumento significativo na demanda por recursos energéticos, indicando a necessidade de estratégias para garantir o suprimento energético necessário para a sustentabilidade e desenvolvimento do país.

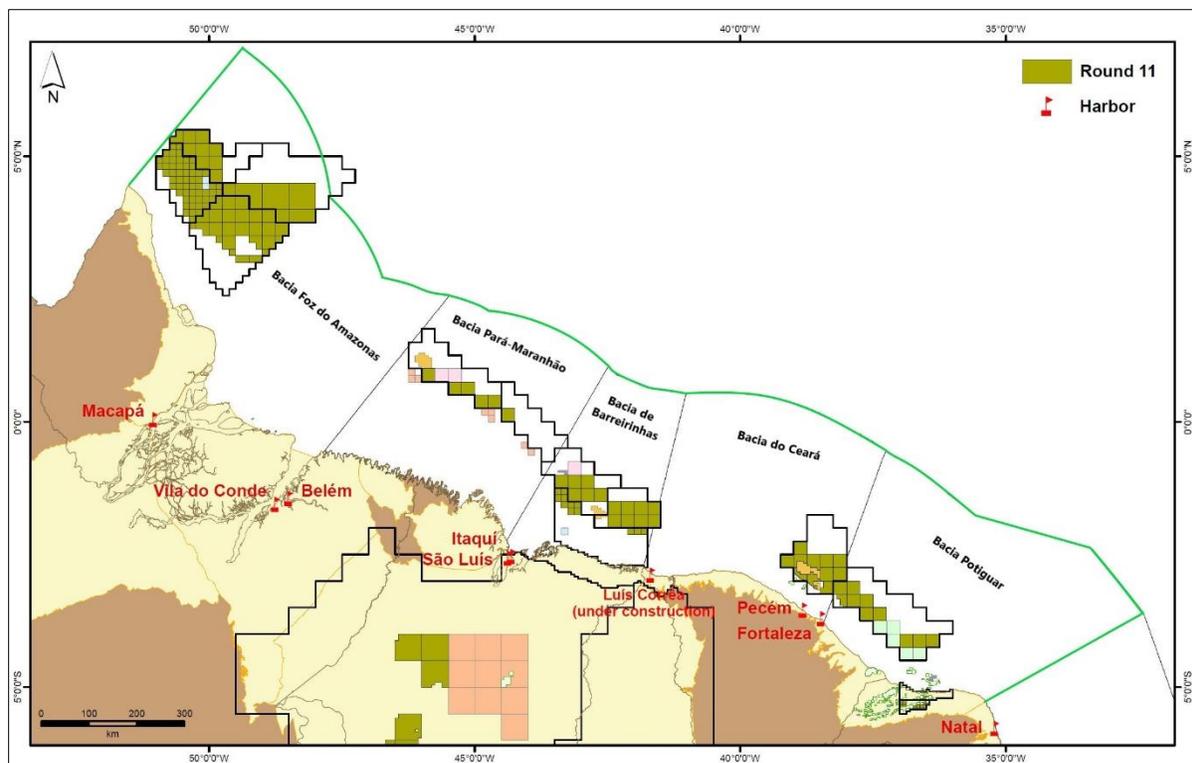


**Fig. 10.** Evolução da população brasileira e da relação habitantes por domicílio em um horizonte até 2032 (MME e EPE, 2022).

Esse cenário, delineado pelo Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 indica a necessidade de manter uma atividade contínua de exploração para alcançar uma produção expressiva de cerca de 6,1 milhões de barris de petróleo por dia até o horizonte de 2050, em um cenário de expansão. Para evitar quedas na produção e garantir a autossuficiência nacional no setor de petróleo<sup>4</sup>, o PNE 2050 demonstra também a necessidade da promoção de licitações de blocos exploratórios (MME e EPE, 2020).

Diante do panorama de aumento da exploração em busca de novas reservas, destaca-se como uma oportunidade promissora a exploração da Margem Equatorial Brasileira (MEB), que se configura como a principal fronteira exploratória do país na atualidade. A MEB abrange uma série de bacias sedimentares (Fig. 11), a Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar, localizadas ao longo das margens continentais passivas, na região da costa norte-nordeste do Brasil (RIO, 2023), com uma área total de cerca de 889 mil km<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> A crise do Canal de Suez em 1956 e a primeira crise do petróleo em 1973 foram eventos globais que ocorreram no período de exclusividade de exploração da Petrobras (1954-1997), e que motivaram uma sequência de descobertas e avanços tecnológicos a fim de aumentar a produção interna e diminuir a necessidade de importação (LUCCHESI, 1998), pois, a autossuficiência de um país na produção de petróleo é importante para garantir a segurança energética, o controle de custos, o desenvolvimento econômico e a redução de impactos ambientais.

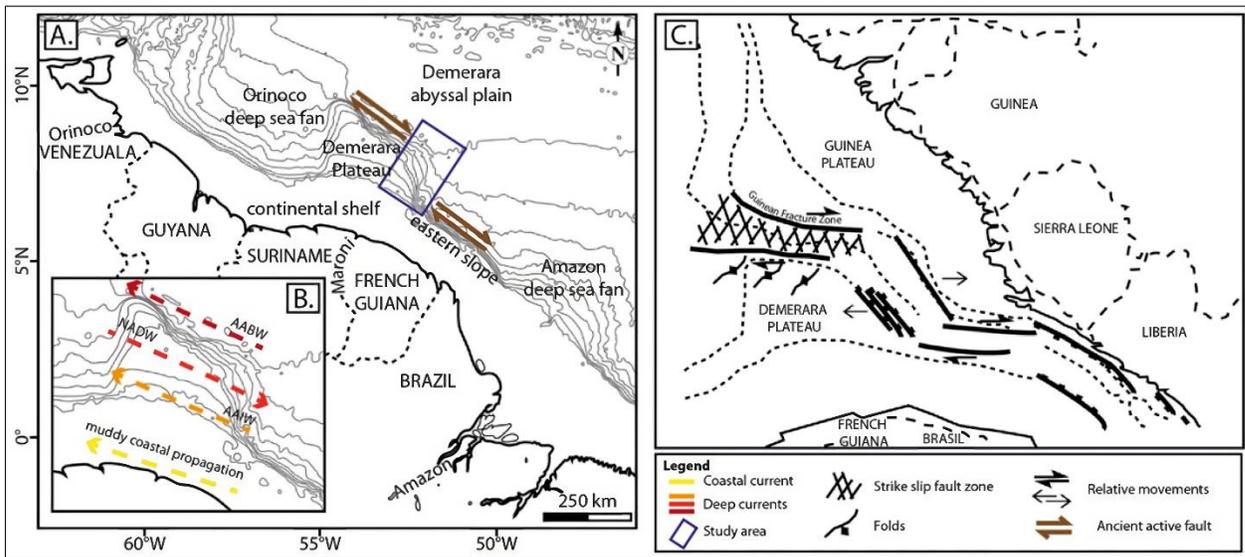


**Fig. 11.** Bacias sedimentares *offshore* da Margem Equatorial Brasileira. Modificado de Carvalho (2015).

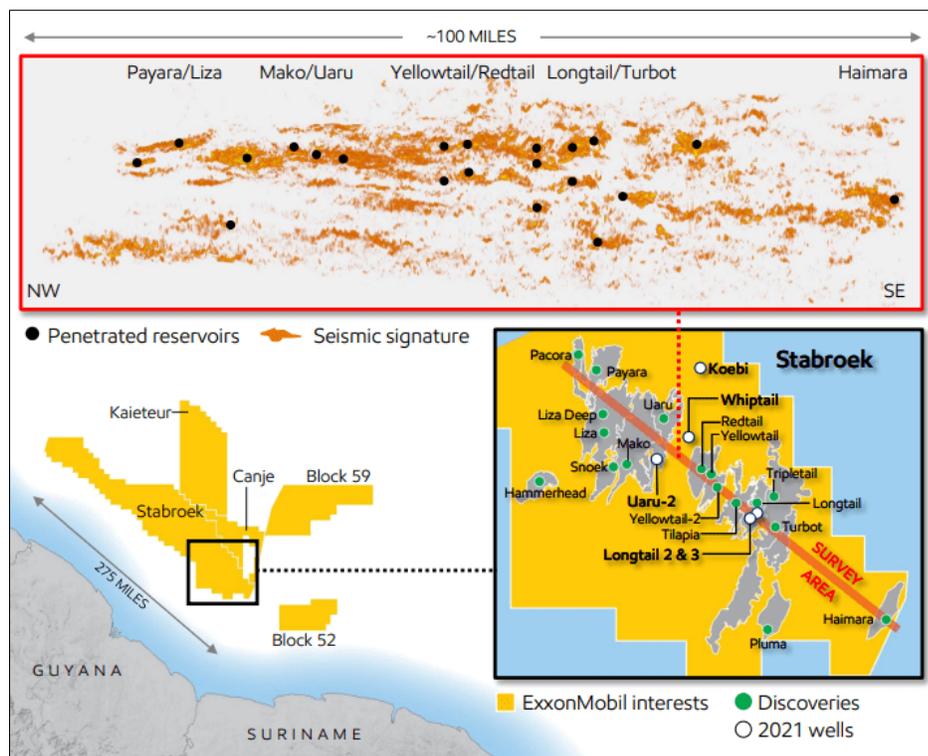
As descobertas de grandes volumes de O&G na Bacia Guiana-Suriname, região *offshore* dos países Guiana, Suriname e Guiana Francesa, motivaram os empreendimentos de O&G para iniciarem<sup>5</sup> as suas atividades de exploração em direção a MEB, mais especificamente em sua porção amazônica, na Bacia Foz do Amazonas (BFAMZ), que possui uma área de cerca de 283 mil km<sup>2</sup> (TRAVASSOS et al., 2021), com limite em mar de 200 milhas náuticas e distando apenas 50 km (Fig. 12) das descobertas na Bacia Guiana-Suriname (FILHO et al., 2020).

Essa expectativa se fundamenta, pois, a Bacia Guiana-Suriname possui características geológicas semelhantes à BFAMZ, devido a gênese de formação da subsuperfície geológica não considerar os limites políticos dos territórios. Sendo assim, o êxito das descobertas na Guiana, que ocorre desde o prospecto Zaedyus, os campos gigantes de Lisa, Payara, Snoek e Lisa deep, e mais recentemente a descoberta de cerca de 23 m de coluna de óleo no poço Turbot (TRAVASSOS et al., 2021)(Fig. 13), representa a mesma possibilidade para a BFAMZ.

<sup>5</sup> O termo “iniciarem” corresponde a mais recente movimentação de exploração na Bacia Foz do Amazonas. O histórico exploratório tem início absoluto em 1963 com a aquisição dos primeiros dados sísmicos (TRAVASSOS et al., 2021), com intensificação exploratória nas décadas de 70 a 80, em águas rasas, e com retomada no final da década de 90 com três poços em águas profundas entre 2001 e 2004 (FIGUEIREDO et al., 2007).



**Fig. 12.** Mapa de localização da Bacia Guiana-Suriname, e do Cone do Amazonas. (Pattier et al., 2015).



**Fig. 13.** Localização das descobertas na Guiana. Lisa, Payara, Snoek, Lisa deep, Turbot (Exxon Mobil, 2022).

Diante do cenário de produção de O&G na BFAMZ, para maior segurança e consolidação da soberania energética nacional, destaca-se outro fator relevante, o desenvolvimento responsável. A BFAMZ localiza-se em uma região sensível do ponto de vista ambiental, social e econômico, visto que é a região *offshore* adjacente à maior floresta tropical, biodiversidade e maiores rios do mundo (GONDIM, 2021), além de povos tradicionais que são historicamente segregados das decisões sobre os grandes empreendimentos (FERNANDES et al., 2021).

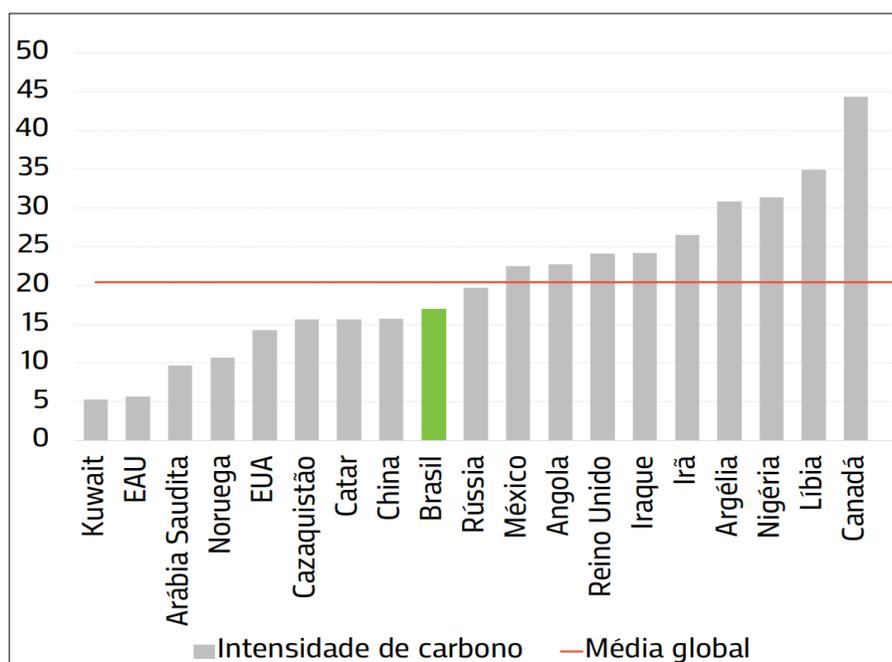
Toda geração de energia, de fonte renovável ou não, possui impactos associados (AZEVEDO et al., 2017; ROSA et al., 2016). A geração de energia a partir de petróleo e gás *offshore*, por exemplo, está intrinsecamente ligada à poluição, que está presente em todas as fases dessas atividades, a perfuração, produção (sendo esta a principal fonte) e transporte, são gerados efluentes líquidos, sólidos e gasosos, bem como aerossóis, contendo mais de 800 substâncias químicas (CARVALHO, 2008).

Esse fato, aumenta a responsabilidade por parte do Estado e do empreendimento antes mesmo da fase de exploração da bacia, tornando necessário o mapeamento de todos os impactos associados ao empreendimento *offshore*, e o levantamento de medidas de mitigação dos impactos, utilizando como base o histórico de acidentes globais, e pesquisas científicas que indiquem métodos validados que potencialmente poderão ser ajustados levando em consideração as especificidades do território e da população amazônica.

Sendo assim, a presente pesquisa contribui com medidas de mitigação de dois fundamentais aspectos no cenário de produção de O&G na Bacia Foz do Amazonas: A intensidade de carbono da atividade de produção e os impactos socioeconômicos utilizando o recorte metodológico na região costeira do estado do Amapá, sendo geograficamente o local mais próximo ao empreendimento, com foco nos municípios de Oiapoque, Calçoene e Amapá (homônimo ao estado).

Dentre as medidas de diminuição da intensidade de carbono, destaca-se nesta pesquisa a captura e armazenamento geológico de carbono (*Carbon Capture and Storage - CCS*) (ARAÚJO et al., 2022), tecnologia que consiste na separação do CO<sub>2</sub> dos outros gases, e a sua captura no processo produtivo antes mesmo de entrar em contato com a atmosfera, seguido de transporte por meio de dutos, caminhões ou navios, e o armazenamento em reservatórios geológicos em subsuperfície (CARVALHO, 2021).

O CCS também pode ser utilizado em conjunto com a recuperação avançada de óleo (*Enhance Oil Recovery – EOR*), um mecanismo de prolongamento da vida útil de um reservatório (DA SILVA et al., 2022). No pré-sal, por exemplo, o uso de CCS-EOR (NEVES, 2021) garantiu ao Brasil o posto de um dos países com menor intensidade de carbono por barril de óleo produzido (Fig. 14). Dessa forma, avalia-se nesta pesquisa a possibilidade do armazenamento no contexto de EOR, mas que também converge com armazenamento a partir de outras fontes estacionárias da Amazônia.



**Fig. 14.** Intensidade de Carbono em kgCO<sub>2</sub> por barril de óleo equivalente, por país produtor de petróleo. (BP, 2022)

O impacto socioeconômico, também objeto desta pesquisa, pode ser caracterizado de forma geral, pelas mudanças na configuração urbana que ocorrem por meio da ocupação irregular do solo, o inchaço demográfico, as epidemias, a deterioração de equipamentos sociais e o conflitos com as comunidades tradicionais (MARTINEZ et al., 2016). A forma de mitigar estes impactos nesta pesquisa, consiste em mostrar por meio de dados as características da população amazônica potencialmente impactada no recorte utilizado, e as medidas de mitigação implementadas no Brasil e no mundo, encontradas na literatura.

O delineamento do perfil da população é uma forma de elevá-los ao protagonismo desta discussão, tornando-os parte fundamental para o exercício das tomadas de decisões, condicionando a atividade de O&G na região a geração de empregos, desenvolvimento econômico e social, investimentos em infraestrutura, transferência de conhecimento e

capacitação, além da valorização da cultura e conhecimento regional, fortalecendo as atividades tradicionalmente desenvolvidas pela população.

Por fim, a presente dissertação visa colaborar para o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7:

Assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis os serviços de energia; Acesso à pesquisa e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas (ONU, 2019, p. 36).

Além de convergir com o que fora recomendado pelo Plano Nacional de Energia 2050:

Continuar o esforço em exploração e produção, priorizando a pesquisa para avanços no conhecimento geológico das bacias sedimentares e nas tecnologias de prospecção e extração (PNE 2050, 2021, p. 10).

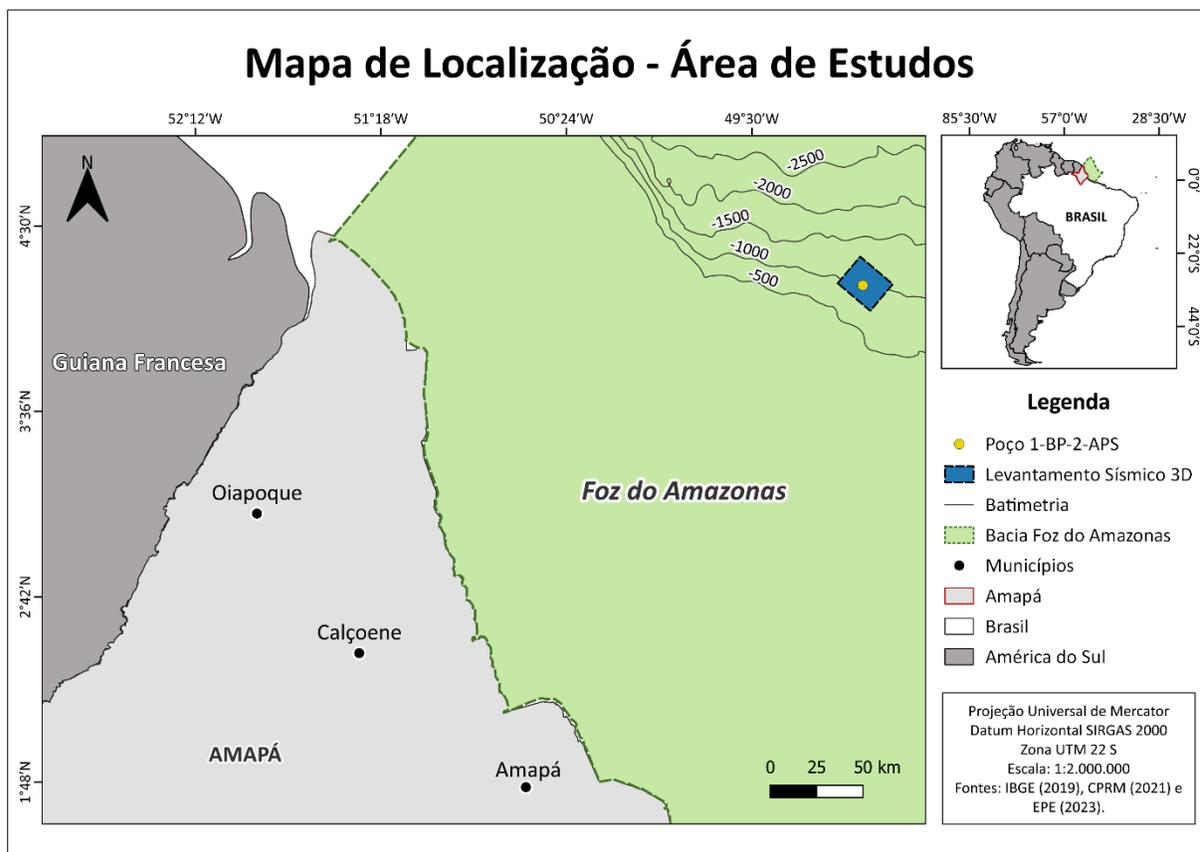
Nesta pesquisa, isso será realizado por meio da utilização de dados geofísicos para a avaliação do reservatório de arenito turbidítico da Bacia Foz do Amazonas, no que tange a potencialidade para implementação de CO<sub>2</sub>-EOR, e por meio de estudos de casos de mitigação de impactos sociais e econômicos mapeados na história de empreendimentos de óleo e gás *offshore*, com a motivação de encontrar soluções que podem ser ajustadas à realidade da população amazônica, em um cenário de produção de petróleo na margem equatorial amazônica.

## 1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A implementação do armazenamento geológico depende de pré-requisitos do reservatório alvo da injeção de CO<sub>2</sub>. Este, deve atender à alguns critérios relacionados à capacidade, injetividade e integridade (GALVÃO, 2023). Para conseguir essas informações da subsuperfície, dados geofísicos e geológicos da região podem ser utilizados, como os dados sísmicos e dados de perfilagem geofísica de poço, entretanto, a aquisição desses dados pode gerar um alto custo (ARAÚJO, 2018).

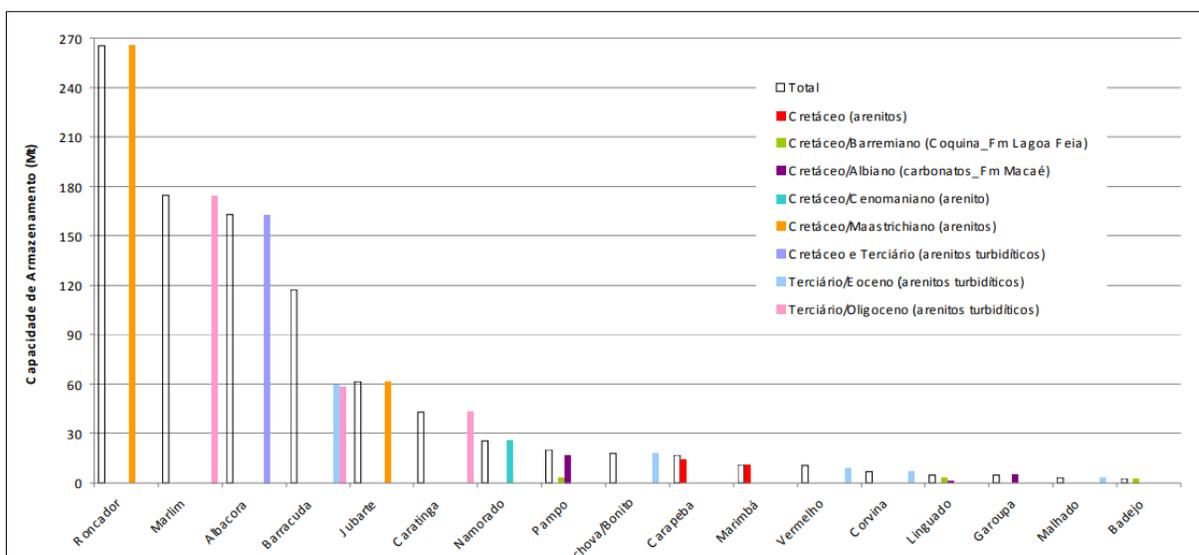
Nesse caso, os reservatórios de O&G possuem vantagem para o armazenamento geológico. Essa prerrogativa se baseia no fato de que os reservatórios de O&G já explorados geralmente possuem previamente grande parte dos dados necessários para o conhecimento dessas características (CIOTTA et al., 2021). O critério de viabilidade econômica de um projeto de CCS em reservatórios de O&G, por exemplo, seria provavelmente atendido ou teriam os custos reduzidos, pelo menos do ponto de vista de aquisição dos dados geofísicos.

A área de estudo da presente dissertação, por exemplo, possui um levantamento sísmico 3D, localizado na porção profunda à ultraprofunda (1000 m a 5500 m) (SIQUEIRA, 2021) do Cone do Amazonas, na BFAMZ. Nesta região (Fig. 15), busca-se encontrar informações do reservatório alvo, os arenitos turbidíticos do mioceno médio da Formação Orange, região indicada com a maior possibilidade de ocorrência de reservatórios de O&G (TRAVASSOS et al., 2021) e que possui um poço identificando estes recursos, o 1-BP-2-APS.



**Fig. 15.** Mapa de localização do levantamento sísmico, poço 1-BP-2-APS, e dos municípios costeiros alvos da pesquisa.

Os arenitos turbidíticos presentes nos campos de Marlim (terciário/oligoceno) e Albacora (cretáceo e terciário) na Bacia de Campos, conforme indicado na Figura 16, e as pesquisas sobre a injeção de CO<sub>2</sub> nos arenitos turbidíticos da Formação Itajaí-Açú (Membro Ilhabela), localizados no campo de Merluza, na Bacia de Santos, referenciadas por CIOTTA (2019), contribuem para fortalecer a investigação sobre o armazenamento de CO<sub>2</sub> nos arenitos turbidíticos da Formação Orange, Bacia Foz do Amazonas.



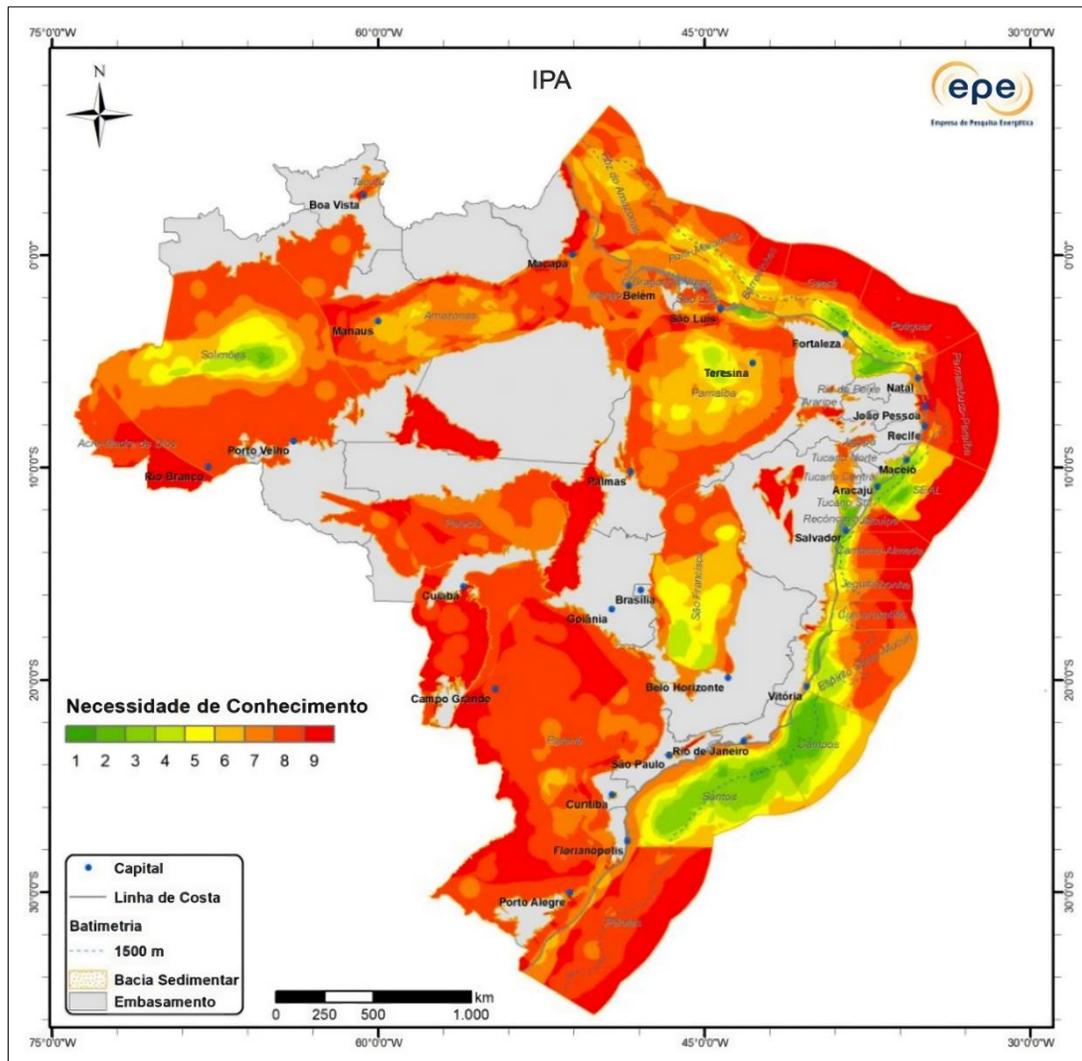
**Fig. 16.** Capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> por reservatórios nos campos de petróleo da Bacia de Campos, Brasil (ROCKET, 2010).

Para realizar a análise dos impactos socioeconômicos, foi desenvolvida uma base de dados que abrange uma variedade de aspectos relacionados a essa problemática. Isso incluiu uma revisão extensiva da literatura para entender as diferentes nuances envolvidas. Além disso, foram coletados dados demográficos dos municípios situados na região costeira do Amapá, como Oiapoque, Amapá e Calçoene. Esse processo visou fornecer uma compreensão abrangente da situação atual e das medidas que podem ser implementadas para lidar com os desafios enfrentados pela comunidade local.

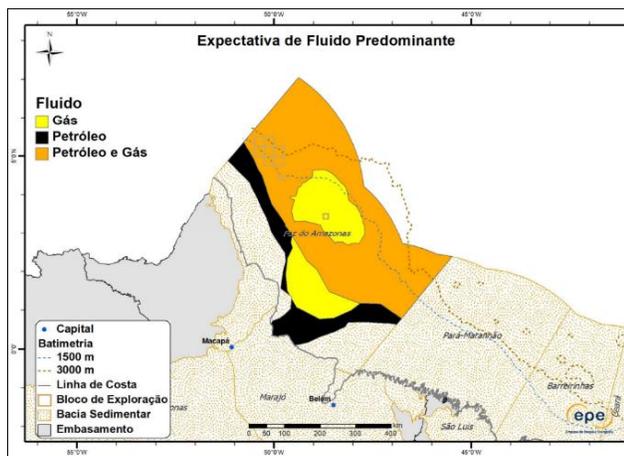
### 1.3 JUSTIFICATIVA

A região da BFAMZ está incluída no mapa IPA (Área de Importância Petrolífera) (Fig. 17) com níveis acima de 5 na escala de Necessidade de Conhecimento, (i.e.), para o desenvolvimento dessas bacias é necessária a aquisição, processamento e/ou interpretação de um volume considerável de dados além dos já existentes (MME e EPE, 2023). Logo, o presente estudo contribui primariamente para a interpretação adicional de dados, e consequentemente impulsiona o conhecimento científico sobre a subsuperfície da região, que possui expectativa de fluidos predominantes de petróleo, gás natural (Fig. 18), e hidratos de gás (Fig. 19).

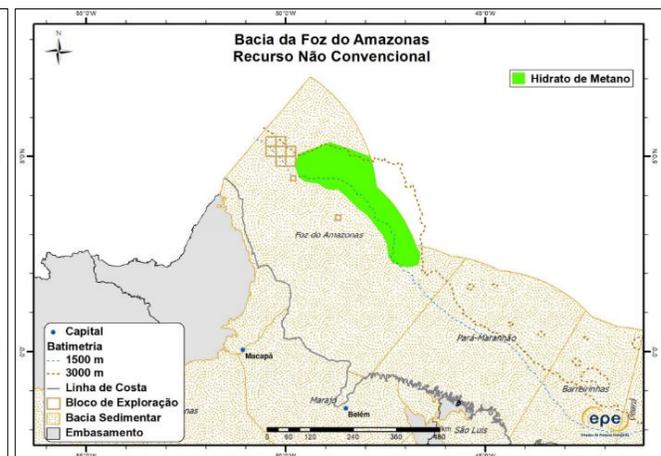
O conhecimento sobre a região torna-se ainda mais pertinente após os mais de 9 bilhões de barris de óleo equivalente em recursos recuperáveis descobertos da Bacia Guiana-Suriname (FILHO et al., 2020). Correlações entre as bacias podem ser realizadas por meio dos arenitos



**Fig. 17.** Mapa de Área de Importância Petrolífera, com as áreas com Necessidade de Conhecimento avaliadas. (MME e EPE, 2023)



**Fig. 18.** Mapa de zoneamento de Gás Natural, com identificação de maior expectativa no Cone do Amazonas. (MME e EPE, 2023)



**Fig. 19.** Mapa de zoneamento de recurso não-convencional, com identificação de Hidrato de Metano da Bacia Foz do Amazonas. (MME e EPE, 2023)

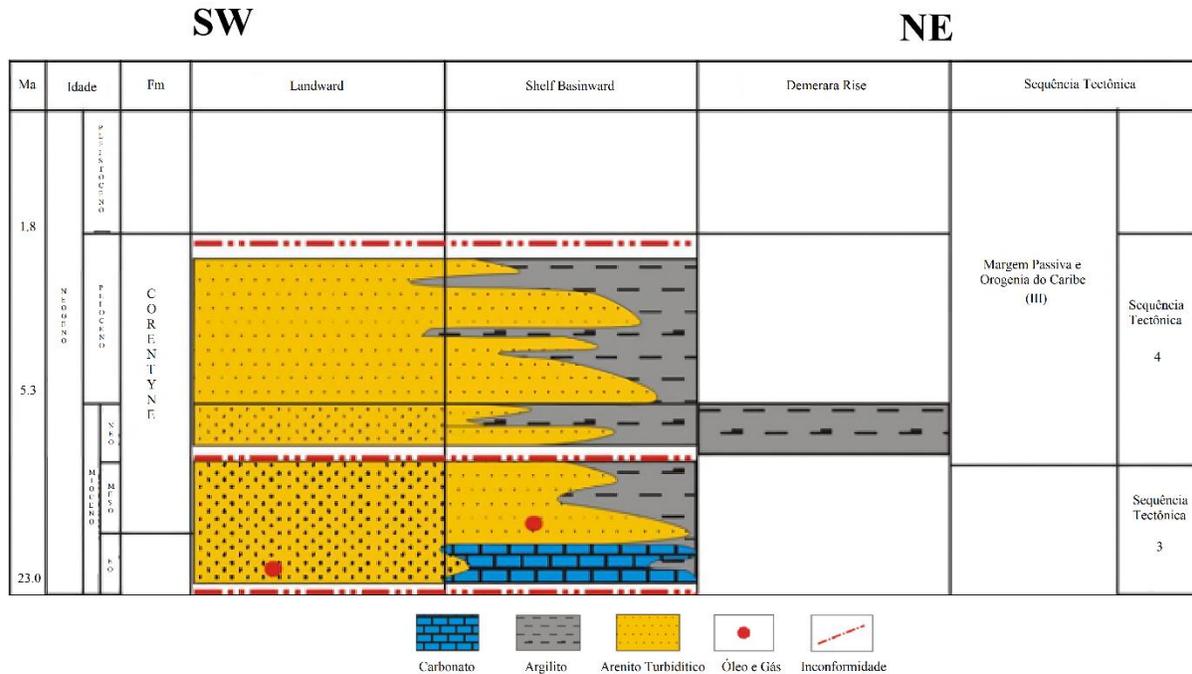
turbidíticos do Médio Mioceno da BFAMZ, objeto do presente estudo, que também estão presentes na Formação Corentyne (Fig. 20), Bacia da Guiana. Os arenitos turbidíticos da Formação Corentyne compõe parte do sistema petrolífero, também como rocha reservatório (Fig. 21), próximo aos carbonatos do paleógeno. Além disso, possuem na seção cruzada da Fig. 21, um sistema estrutural composto por falhas lítricas (YANG e ESCALONA, 2011).

Ainda, busca-se elevar a compreensão acerca da aptidão da Fm. Orange para a injeção de CO<sub>2</sub> em um contexto EOR, convergindo para o fortalecimento e impulsionamento nacional, no cenário de baixa intensidade de carbono por barril de petróleo, diminuindo a possibilidade de impacto negativo associado ao aumento de intensidade de carbono na Amazônia, visto que a região já experimenta uma liberação média de 200 milhões de toneladas de carbono por ano (SOARES et al., 2019) associados apenas ao desmatamento.

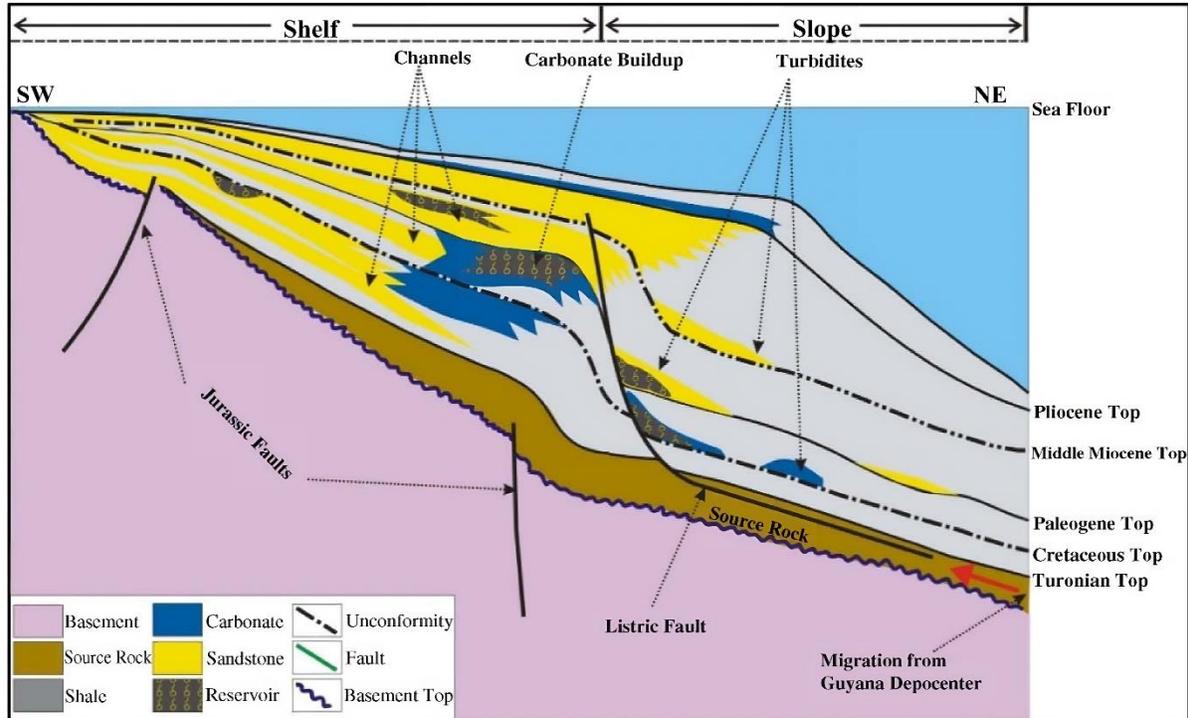
A dissertação em questão focaliza exclusivamente em um dos aspectos ambientais inerentes à implementação de empreendimentos *offshore* de óleo e gás, especificamente a preocupação com as emissões de carbono. Contudo, é importante ressaltar que ao longo das fases de exploração, instalação, produção, escoamento e descomissionamento, conforme destacado por Vilaro (2023), uma miríade de outros impactos ambientais e socioeconômicos emerge, os quais não serão abordados nesta pesquisa.

Essa ampla gama de impactos inclui, mas não se limita a, alterações na qualidade do ar e da água, perturbações na fauna marinha, mudanças na paisagem costeira, questões de segurança ocupacional, efeitos na saúde das comunidades locais, entre outros (LOPES, 2013). Assim, reconhece-se que a análise completa e abrangente desses impactos demandaria um estudo mais amplo e aprofundado que ultrapassa o escopo desta dissertação.

Além disso, sabe-se que a exploração petrolífera é uma atividade que modifica as dinâmicas ambientais, sociais, e econômicas da localidade que se situa, e não necessariamente o desenvolvimento econômico virá acompanhado da qualidade de vida da população (SOUZA, 2017). Sendo assim, essa pesquisa focará também no levantamento de medidas de mitigação que foram experienciadas por meio dos impactos que existiram em outras regiões, levando em consideração as particularidades da população amazônica.



**Fig. 20.** Coluna estratigráfica generalizada com o final da Formação Pomeroon, e Formação Corentyne. Composta por arenitos turbidíticos com a presença de óleo e gás. Modificado de YANG e ESCALONA (2011).



**Fig. 21.** Seção cruzada mostrando o sistema petrolífero da Bacia da Guiana. Com foco para os reservatórios de arenitos turbidíticos do Mioceno (YANG e ESCALONA, 2011).

#### 1.4 OBJETIVOS

O objetivo primordial é encontrar soluções eficazes para atenuar os impactos ambientais e socioeconômicos associados à eventual produção de óleo e gás na Bacia Foz do Amazonas. No âmbito ambiental, o foco reside na análise da viabilidade da injeção de CO<sub>2</sub> na Fm. Orange, por meio de uma compreensão técnica aprofundada dos arenitos turbidíticos (rocha reservatório alvo). No âmbito socioeconômico, busca-se destacar as características da população amazônica que reside nas proximidades do empreendimento, ao mesmo tempo em que se propõem métodos de mitigação de impacto que foram testados e comprovados em outras comunidades.

Para determinar se Fm. Orange é adequada para o armazenamento geológico, são usadas tecnologias de interpretação de dados geofísicos, analisando seções sísmicas e perfis do poço. No contexto socioeconômico, é feita uma análise de publicações científicas sobre experiências em empreendimentos de O&G, especialmente *offshore*. Também identifica-se as principais atividades econômicas em Oiapoque, Calçoene e Amapá, e a presença de comunidades tradicionais. Para caracterizá-los demograficamente, utiliza-se a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os objetivos específicos podem ser observados a seguir:

- a) Identificação de dados relacionados aos arenitos turbidíticos da Fm. Orange: Composição físico-química, ambientes de formação, porosidade, espessura, profundidade, estimativa de volume local.
- b) Descrever o estado da arte da Fm. Orange da BFAMZ.
- c) Correlacionar as evidências de óleo e gás das Bacias Serra-Leoa-Liberia e Guiana-Suriname com a BFAMZ.
- d) Caracterização dos dados utilizados: dado sísmico 3D e dados de poços.
- e) Descrição das metodologias de interpretação geofísica.
- f) Análise de resultados interdisciplinares.
- g) Apresentação de dados geográficos referentes aos municípios contemplados com o empreendimento no que tange a localização e dimensão de área territorial.
- h) Análise de dados relativos à demografia da região: as características da população local, como idade, gênero, profissão, ocupação, nível de renda familiar, estado civil.

## 1.5 ESTRUTURA CAPITULAR

Esta pesquisa está dividida em cinco capítulos. O primeiro capítulo, traz reflexões sobre a transição energética atual, a relevância dos combustíveis fósseis, e as particularidades de cada nação que podem dificultar a adoção em curto prazo de fontes de energia menos intensivas em carbono. Avalia-se a matriz energética nacional, a alta dependência de petróleo, e a maturação dos campos do pré-sal. E por fim, analisa-se a relevância de bacias de novas fronteiras, como a Bacia Foz do Amazonas, e a necessidade do desenvolvimento responsável.

O segundo capítulo aborda os princípios fundamentais da captura e armazenamento geológico de carbono, além da recuperação avançada de óleo, destacando a integração dessas duas tecnologias. Explora-se o papel da geofísica na caracterização de reservatórios adequados para armazenamento e descreve-se a área de estudo, incluindo o cronograma de exploração divulgado pela Petrobras e sua relação com esta pesquisa. Por fim, oferece-se um contexto sobre a geologia regional da Bacia Foz do Amazonas.

No capítulo três, será apresentada a localização e a ficha técnica do volume sísmico, bem como os perfis de poço que serão empregados na avaliação do reservatório de arenito turbidítico da Formação Orange. Além disso, será exibida a base de dados elaborada a partir de informações fornecidas pelo IBGE, a qual será utilizada como instrumento para caracterizar a população dos municípios selecionados para esta pesquisa, nomeadamente Oiapoque, Calçoene e Amapá. Esses elementos fornecerão uma base sólida para a análise detalhada do contexto geológico e demográfico da região em estudo.

No quarto capítulo, são expostas as informações obtidas por meio da análise da correlação entre os dados sísmicos e de poço. Além disso, serão discutidas as metodologias físico-matemáticas utilizadas para estimar a viabilidade do armazenamento geológico. Essa análise se baseará nas características fundamentais do reservatório, como capacidade, injetividade e integridade. Serão exploradas abordagens detalhadas que fornecerão uma compreensão mais aprofundada da capacidade do reservatório de armazenar o CO<sub>2</sub> de forma eficaz e segura.

Além disso, serão conduzidas análises detalhadas dos dados demográficos da população do Amapá, dentro da amostra selecionada para este estudo. Também serão examinados, com base no contexto histórico da exploração de petróleo em outras regiões, quais medidas de mitigação podem ser adotadas para reduzir os potenciais impactos socioeconômicos negativos.

Essas análises visam identificar estratégias eficazes que possam ser implementadas para promover o desenvolvimento sustentável e garantir que os benefícios econômicos resultantes da atividade petrolífera sejam equitativamente distribuídos e minimizem os impactos adversos sobre as comunidades locais.

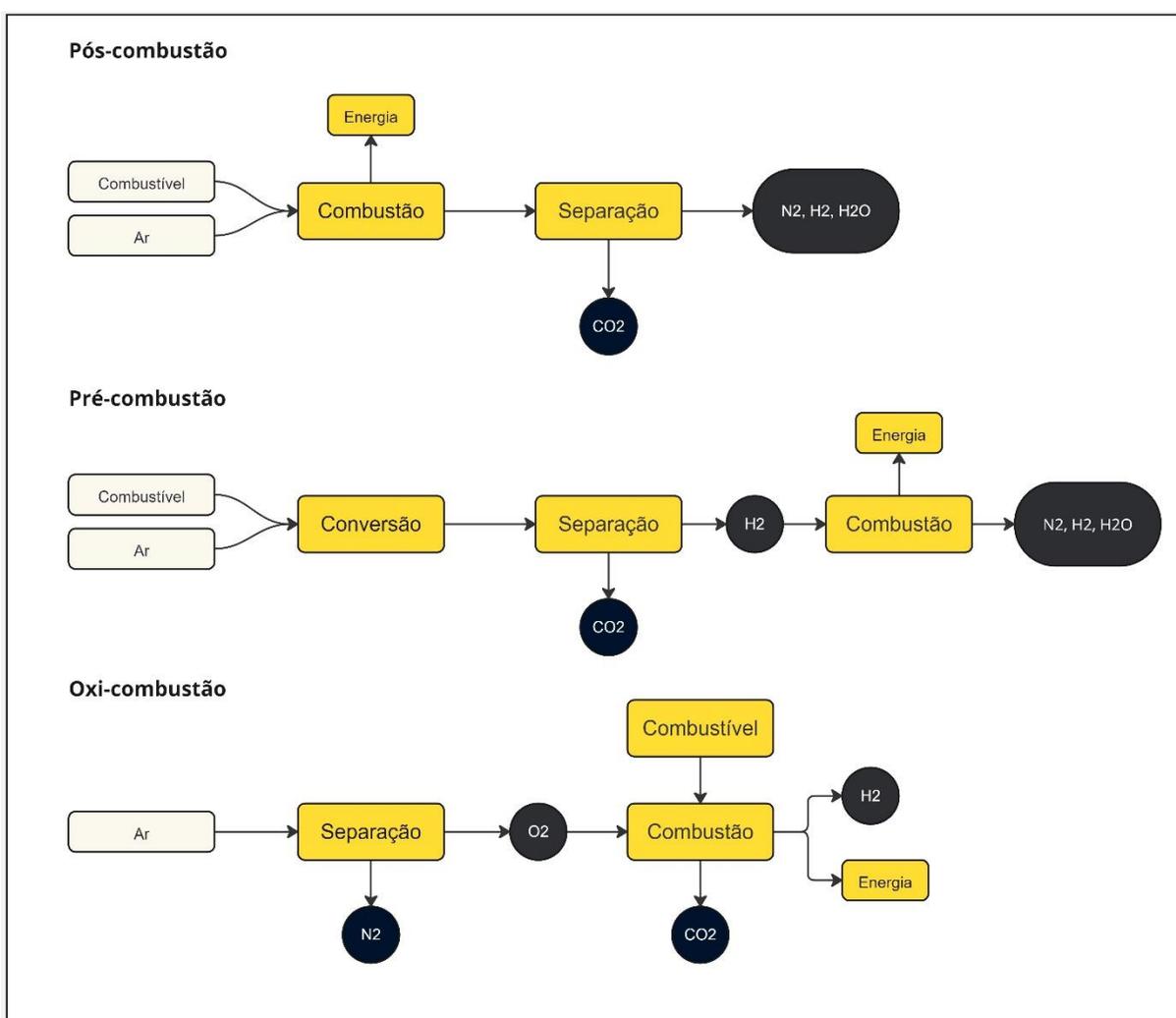
No último capítulo, serão apresentados os resultados obtidos por meio desta pesquisa, detalhando a aplicação específica das técnicas de interpretação de dados geofísicos, suas limitações e possíveis direções para futuros estudos, incluindo a expectativa de utilização de materiais adicionais. Além disso, serão discutidas possibilidades de aprofundamento na avaliação da injeção de CO<sub>2</sub>. Será explorada a implementação de modelos previamente estabelecidos e a importância do planejamento estratégico para mitigar os impactos negativos identificados.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. CARBON CAPTURE AND STORAGE

#### 2.1.1 Aspectos Elementares

A tecnologia conhecida como CCS (Captura e Armazenamento de Carbono) inicia sua operação com o isolamento do dióxido de carbono em um processo de captura (SHU et al., 2023). Esse processo de captura pode ser dividido em três metodologias principais: pré-combustão, pós-combustão e oxicomcombustão (Fig. 22). Atualmente, o método mais desenvolvido para essa etapa do CCS é o PCC (Captura Pós-Combustão), que consiste na separação do  $\text{CO}_2$  utilizando solventes à base de aminas (CIOTTA, 2019). Após a separação, o  $\text{CO}_2$  pode ser transportado para um local de armazenamento isolado e seguro (GALVÃO, 2023).



**Fig. 22.** Rotas de captura e separação de  $\text{CO}_2$ . Modificado de SANTOS et al. (2014).

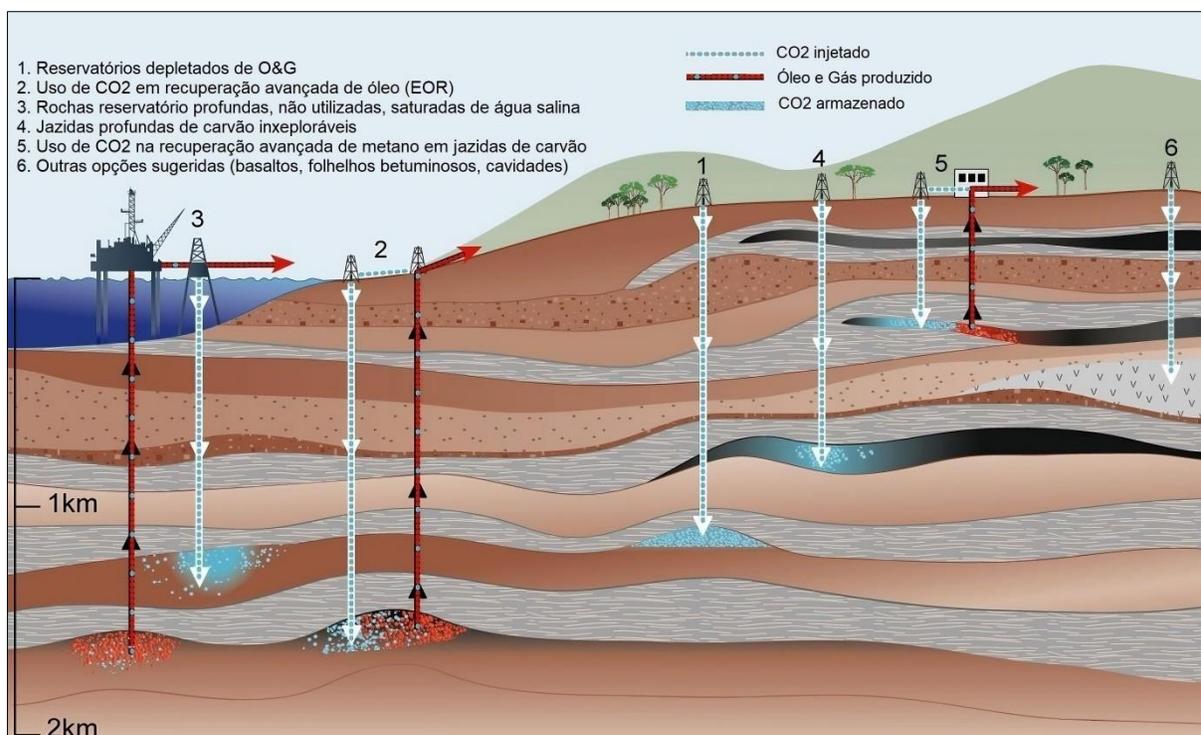
O transporte de dióxido de carbono é amplamente reconhecido como uma fase de alto custo (SANTA-CRUZ et al., 2022), principalmente devido ao fato de que o CO<sub>2</sub>, assim como outros fluidos, quando está na forma gasosa e em temperatura ambiente, ocupa um volume muito maior em comparação com sua massa (KRAUSE, 2010). Esse fator dificulta significativamente o transporte eficiente do CO<sub>2</sub>. A escolha do método de transporte de CO<sub>2</sub> deve levar em consideração a distância entre o local de captura e o de armazenamento, bem como o volume do fluido a ser transportado.

Para grandes volumes de CO<sub>2</sub> e pequenas a médias distâncias, o modal dutoviário é geralmente a opção mais viável, sendo o meio de transporte mais comumente utilizado (DE FARIAS NOGUEIRA, 2020). Por outro lado, para pequenos volumes de CO<sub>2</sub> e grandes distâncias, o transporte por navios é mais adequado (MONTICELI et al., 2021), principalmente devido aos menores custos associados e à flexibilidade na rota em comparação com os dutos (IEA, 2016; DE FARIAS NOGUEIRA, 2020). Essa variedade de opções de transporte permite adaptar-se às diferentes necessidades logísticas e econômicas.

A fase de estocagem do CCS envolve o armazenamento geológico, que requer um conjunto específico de características na subsuperfície para garantir a segurança do armazenamento. Essas características, destacadas por GALVÃO (2023), incluem a capacidade do ambiente de armazenamento de acomodar grandes volumes de CO<sub>2</sub>, a injetividade (ou seja, a capacidade de injetar CO<sub>2</sub> no meio) e a integridade, garantindo que o CO<sub>2</sub> armazenado seja confinado por longos períodos sem vazamentos. Ainda, os reservatórios devem apresentar parâmetros como baixa sismicidade, estratigrafia uniforme e uma distância segura de aquíferos.

#### 2.1.1.1 Reservatórios Potenciais

O armazenamento geológico pode ser realizado em vários locais da subsuperfície (Fig. 23), em reservatórios depletados de óleo e gás, aquíferos salinos, camadas profundas de carvão (MOSER et al., 2021), folhelhos (HANSON et al., 2023), que correspondam aos pré-requisitos para um armazenamento seguro. Os reservatórios depletados de O&G são os sites mais utilizados, correspondem a 75% das instalações em operação no mundo (CONFORT, 2021) e são caracterizados por serem campos nos quais a fase de produção já se encerrou ou não é mais economicamente atrativa (CONFORT, 2017).



**Fig. 23.** Sites de armazenamento geológico. Modificado de KING et al. (2009).

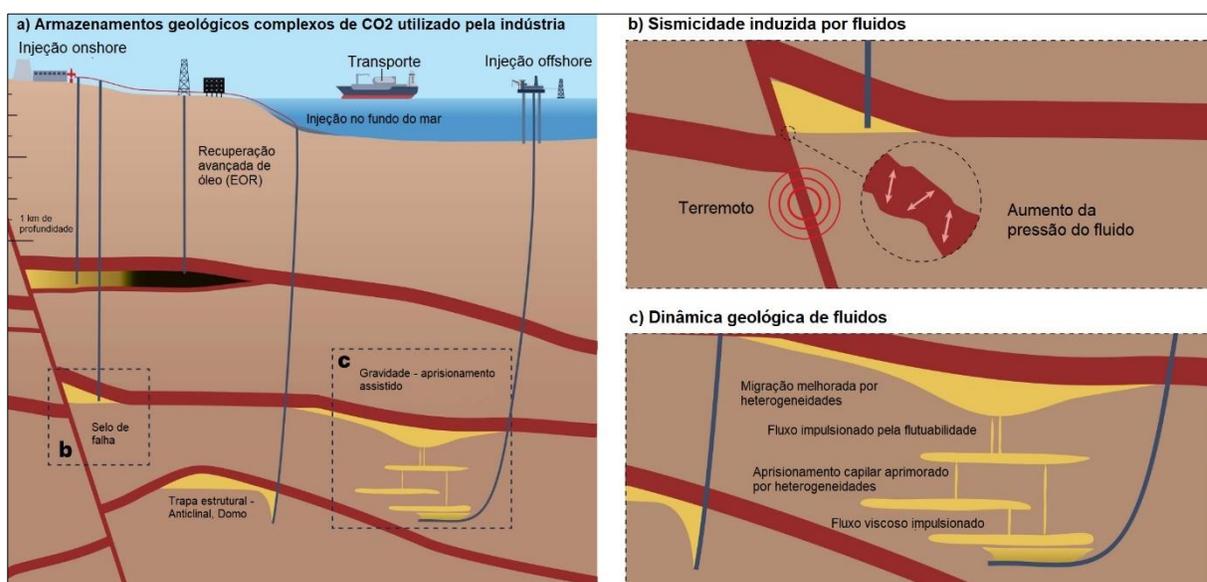
O armazenamento de CO<sub>2</sub> em reservatórios depletados é considerado uma das opções mais adequadas, quando em comparação a outros tipos de formação geológica, devido essas formações já terem sido previamente caracterizadas, além de já terem armazenado óleo e gás por um longo período, o que aumentaria sua segurança (MOSER et al., 2021), sendo uma forma de aprisionamento mais estável, diminuindo o risco de fuga do CO<sub>2</sub> para a superfície (GUZMÁN, 2023)..

Os reservatórios salinos são outra opção relevante de armazenamento geológico, caracterizados por serem formações geológicas profundas, porosas e permeáveis, com uma capacidade mundial combinada de armazenamento *onshore* e *offshore* superior a 1.000 gigatoneladas de carbono. A desvantagem do reservatório salino em comparação com campos de petróleo e gás depletados é a necessidade de construir infra-estruturas a partir do zero e a possibilidade de pressurização, especialmente se a pressão dos poros devido à injeção aumentar demasiadamente (PETER et al., 2022).

O armazenamento de CO<sub>2</sub> em camadas profundas de carvão não mineráveis também são uma possibilidade devido a adsorção do carvão estar sendo reconhecida como o mecanismo mais importante para a retenção de gás, sendo assim, em teoria, uma camada de carvão adsorverá substancialmente mais CO<sub>2</sub> do que metano em condições geológicas semelhantes. Além disso,

a minimização de custos de armazenamento em camadas profundas de carvão em conjunto com a recuperação melhorada de metano torna ainda mais viável esse processo (JIANG et al., 2022).

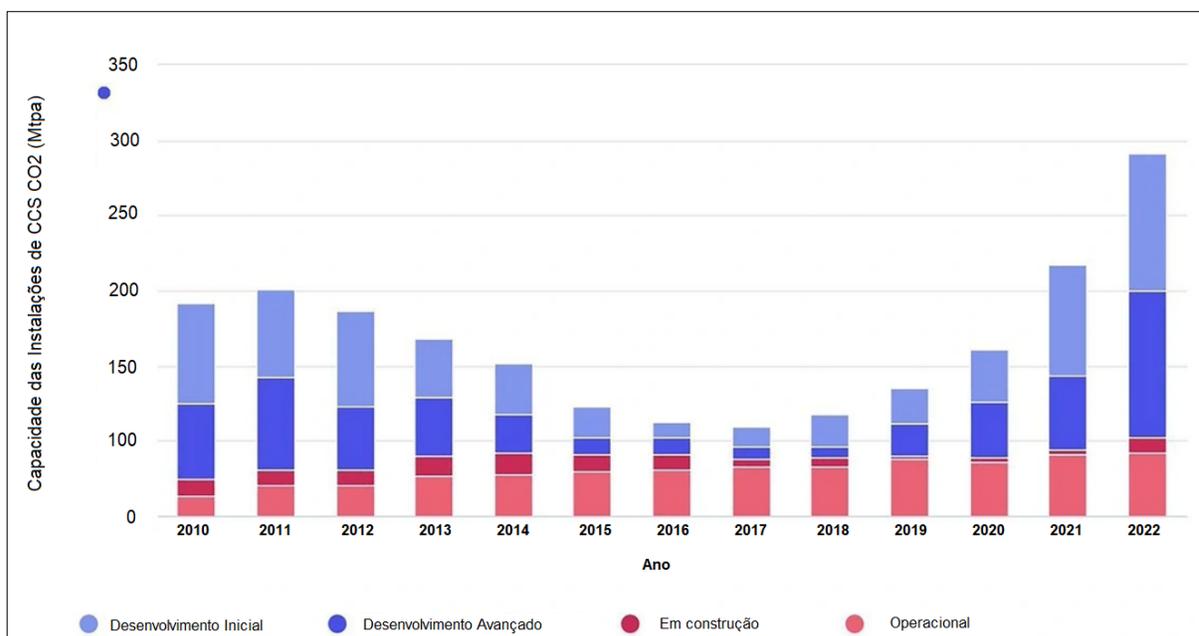
O complexo de armazenamento geológico (Fig. 24) é uma outra alternativa. Ele é constituído pelos estratos subterrâneos nos quais o CO<sub>2</sub> é injetado e contido e normalmente compreende um reservatório poroso e permeável destinado ao armazenamento de CO<sub>2</sub>, uma rocha de cobertura impermeável que evita a migração ascendente e uma combinação para garantir que o CO<sub>2</sub> fique preso permanentemente. Esta combinação de feições ocorre em seqüências de rochas sedimentares e a geografia das bacias sedimentares coloca o limite superior na distribuição global do potencial local de armazenamento (KREVOR et al., 2023).



**Fig. 24.** Sites de armazenamento geológico complexos. Modificado de KREVOR et al. (2023).

### 2.1.2 Panorama Mundial

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) considera o CCS um conjunto de tecnologias de relevante contribuição na descarbonização dos setores de energia e industriais (GALVÃO, 2023). Isso foi demonstrado pelo *Global CCS Institute* (2022), ao mostrar que novos projetos de CCS foram anunciados em 2022, sendo que em setembro de 2022, havia 196 projetos (incluindo dois suspensos) em preparação para instalações de CCS. Representando um crescimento de 44% no número de instalações CCS desde o relatório *Global Status of CCS 2021* e ratificando o impulso ascendente nos projetos CCS em desenvolvimento desde 2017 (Fig. 25).



**Fig. 25.** Capacidade das instalações de CCS por estágio de desenvolvimento. Modificado de Global CCS Institute (2022).

Do ponto de vista da tecnologia, o progresso em direção à implementação de soluções e ferramentas para reduzir as emissões de carbono na economia tem sido rápido. Atualmente, existem várias opções tecnológicas disponíveis, que estão bem desenvolvidas. Desta forma, destacam-se os países que mais contribuíram para o crescente avanço do desenvolvimento em 2021-2022 (Tab. 1), começando com o Timor-Leste na Ásia com a indústria de processamento de gás natural, o Estados Unidos com a geração de energia, Canadá atuando tanto na indústria de produção de etanol quanto na refinaria de óleo, e a China com a geração de eletricidade.

**Tab. 1:** Desenvolvimento do CCS por país ano 2021-2022. Modificado de Global CCS Institute (2022).

Instalação	País	Indústria	Capacidade (MTPA)
Bayu-undan ccs	Timor-Leste	Processamento de GN	10
Deer park energy centre ccs project	US	Geração de Eletricidade	5
Federated co-operatives limited	Canadá	Produção de Etanol	3
Huaneng longdong energy base carbon capture and storage	China	Geração de Eletricidade	1.5
Federated co-operatives limited (refinery)	Canadá	Refinamento de Óleo	1

### 2.1.3 Contexto Brasileiro

No Brasil, o projeto de armazenamento geológico existente é o CO<sub>2</sub>-EOR na Bacia de Santos, operado pela Petrobras. O projeto está localizado no mar, a aproximadamente 300 km da costa. O EOR é aplicado ao campo petrolífero da Petrobras Lula, que é um dos maiores campos de petróleo do Brasil, posicionado no reservatório carbonático do pré-sal, logo abaixo de uma espessa coluna de sal de 2.000 m. Após a injeção piloto do gás de reservatório produzido no campo de petróleo, a produção em larga escala começou em 2013 (MAVAR et al., 2021).

Do ponto de vista político, o *Global CCS Institute* (2022) destacou que existem deesenvolvimentos significativos em relação à implantação de CCS acontecendo no Brasil. Indo desde a atualização da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), até o Projeto de Lei 1.425/2022 que estabelece um marco legal, abordando os direitos de propriedade dos espaços porosos, as responsabilidades de longo prazo, sua transferência de agente privado para público, a definição de agências reguladoras e o período de monitoramento.

## 2.2 ENHANCED OIL RECOVERY

### 2.2.1 Aspectos Elementares

Para entender a recuperação avançada de óleo, é necessário ter uma compreensão do estágio inicial de produção de óleo, conhecido como recuperação primária (Fig. 26). Nesse estágio, utiliza-se a energia primária naturalmente presente no reservatório, caracterizada pela expansão de gases dissolvidos, variação do volume da rocha, diferença de pressão entre o reservatório e a superfície e influxo do aquífero. Essa energia é suficiente para permitir o deslocamento natural do óleo até a superfície (DA SILVA et al., 2022).

A recuperação secundária (Fig. 26) é o estágio em que técnicas especiais são utilizadas na recuperação para manter a energia do reservatório que agora está em declínio, essa fase se caracteriza pela utilização de fluidos nativos do próprio reservatório para injeção, na maioria das vezes água (DA SILVA VELOSO et al., 2014). O principal objetivo do processo de injeção de gás natural ou de água é repressurizar o reservatório e, em seguida, mantê-lo em alta pressão. Conseqüentemente, o termo manutenção de pressão é algumas vezes usado para descrever um processo de recuperação secundária (TERRY, 2001).

A recuperação terciária (Fig. 26) de óleos retidos ocorre devido a forças capilares, após uma inundação de água em reservatórios de petróleo leve, e de óleos imóveis ou quase imóveis

devido à alta viscosidade (óleos pesados e areias betuminosas) pode ser alcançada apenas diminuindo a saturação do óleo abaixo da saturação de óleo residual. Fazendo com que processos miscíveis, inundações químicas e métodos baseados em vapor sejam eficazes na redução da saturação residual de óleo, considerados EOR (THOMAS, 2008).



**Fig. 26.** Fluxograma com os tipos de recuperação de óleo. Modificado de AMBALIYA et al., 2023.

### 2.3 CCS e EOR

A aplicação de CO<sub>2</sub> em associação ao EOR (Enhanced Oil Recovery) teve início nos Estados Unidos da América (EUA) na década de 1980. Inicialmente, a prática predominante envolvia o uso de fontes naturais de CO<sub>2</sub> para o EOR, com o objetivo principal de aumentar a produção de petróleo, sem considerar a redução das emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub> (DA SILVA, 2022). No entanto, em resposta aos efeitos das mudanças climáticas, houve um

redirecionamento dessa técnica, visando também a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

O armazenamento geológico de carbono associada à tecnologia de recuperação avançada de petróleo, proporciona uma forma viável de diminuir o custo dinâmico da CCS (GUO et al., 2020). O CO<sub>2</sub> é injetado no subsolo para melhorar a recuperação de petróleo, auxiliando não só na extração de óleo residual, mas também contribuindo para a neutralidade de carbono, armazenando continuamente CO<sub>2</sub> no subsolo (JANG, 2023).

O CO<sub>2</sub>-EOR pode ser classificado em método miscível e imiscível, sendo a técnica CO<sub>2</sub>-água alternada com gás (Water Alternating Gas) (CO<sub>2</sub>-WAG) uma abordagem representativa dentro do método miscível. No CO<sub>2</sub>-WAG, água e CO<sub>2</sub> são injetados alternadamente no reservatório, contribuindo para a produção de petróleo e o armazenamento de CO<sub>2</sub>. O método WAG permite controlar o avanço dos fluidos de injeção, proporcionando vantagens na recuperação de petróleo (JANG, 2023).

## 2.4 GEOFÍSICA APLICADA À AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

A caracterização de reservatórios é um campo de pesquisa multidisciplinar que abrange diversas áreas, como geologia, geofísica, petrofísica, engenharia de petróleo, geoquímica, bioestratigrafia, geoestatística e ciência da computação (SLATT, 2006). Essas disciplinas se entrelaçam na análise dos dados necessários para caracterizar um reservatório, como a porosidade, permeabilidade, saturação de água, espessura da camada, as propriedades do fluido e a pressão inicial (BAKER et al., 2015).

A Geofísica, especialmente, desempenha um papel crucial na exploração e produção de petróleo, com os dados sísmicos emergindo como uma ferramenta essencial. Eles permitem a identificação e o mapeamento de estruturas geológicas, o reconhecimento da estratigrafia e a localização de reservatórios de hidrocarbonetos, além de revelar mudanças na porosidade, mapear fraturas e identificar fluidos (SCHROEDER et al., 2021).

A interpretação sísmica quantitativa, uma área da geofísica, integra os dados geofísicos, geológicos, petrofísicos, de engenharia de reservatórios e de produção para prever propriedades de reservatórios, fluidos e contatos de fluidos. Essa abordagem possibilita prever a extensão do reservatório, otimizar a localização de poços e apoiar a avaliação e o planejamento do desenvolvimento do campo. Essa correlação entre dados de poços e sísmicos permite entender como esses conjuntos de dados se relacionam e auxiliam na interpretação das seções sísmicas (MARTÍNEZ et al., 2021).

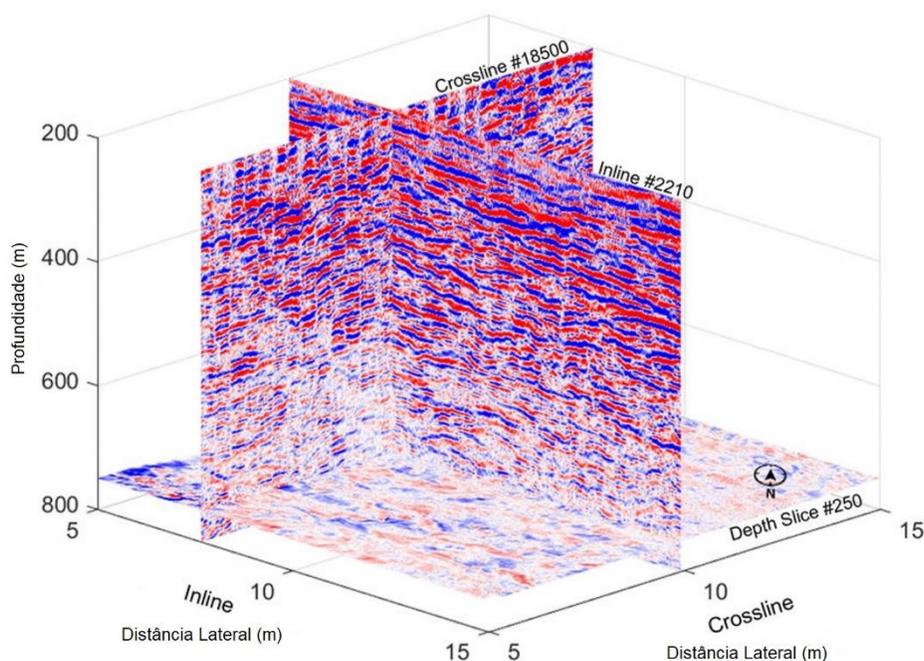
### 2.4.1 Sísmica de Reflexão

O método geofísico mais comum utilizado para obter imagens da subsuperfície é a sísmica, que pode ser aplicado em linhas bidimensionais ou em volumes tridimensionais. Esse método envolve a geração e transmissão de ondas sonoras na subsuperfície, onde podem ser refratadas ou refletidas na interface entre rochas com diferentes propriedades físicas, ou com diferentes tipos de fluidos. A energia que retorna à superfície é então registrada e processada para criar uma imagem acústica (COX et al., 2020).

As ondas refletidas são o objeto de estudo da sísmica de reflexão, uma sub-área dos métodos sísmicos, considerada a mais efetiva entre os métodos geofísicos para mapear as estruturas geológicas, utilizando fontes artificiais (GONZAGA, 2015). No Brasil, a sísmica de reflexão desempenhou um papel fundamental na história da exploração, especialmente nos anos

de 1985-1997, utilizada para a confirmação do potencial das águas profundas da Bacia de Campos, sendo uma das ferramentas exploratórias mais importantes para a consolidação das descobertas (LUCCHESI, 1998).

O levantamento sísmico empregado nesta pesquisa é produto da aquisição com a sísmica de reflexão. É composto por três dimensões, conforme ilustrado na Figura 27: *inline* (direção das linhas sísmicas ou dos cabos do navio de aquisição), *crossline* (direção perpendicular às linhas sísmicas) e uma direção temporal (FARIAS, 2020). Os dados sísmicos em três dimensões representam um recurso relevante na investigação, otimizando o tempo e os custos nas atividades de exploração (LUCCHESI, 1998). Essa estrutura oferece uma visão mais abrangente e detalhada da subsuperfície, contribuindo para uma análise mais precisa e eficiente.



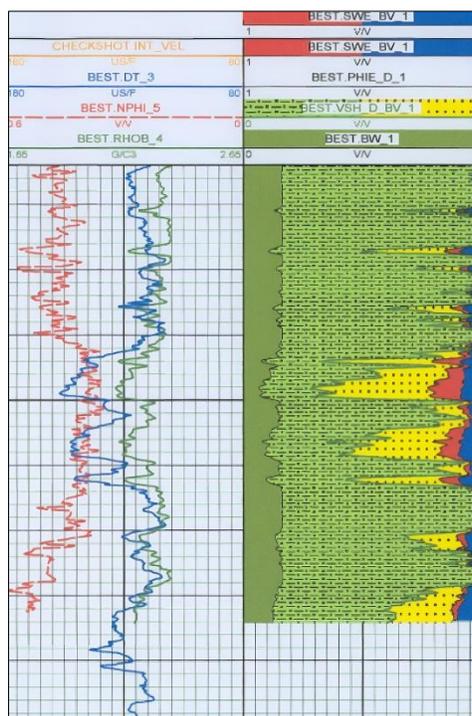
**Fig. 27.** Levantamento sísmico 3D com as direções *inline*, *crossline*, e *Z-slice*. (ZOU et al., 2023).

#### 2.4.2 Perfilagem Geofísica de Poços

A caracterização de dados de poços tem um papel importante na geofísica. É por meio das medições realizadas nos poços que é possível obter um registro confiável e contínuo de diversas propriedades das formações rochosas perfuradas. Além disso, serve como uma ponte entre as medições geofísicas realizadas na superfície e a compreensão da geologia subterrânea. Os dados obtidos permitem uma quantificação precisa na descrição dos processos sedimentológicos, adicionando um nível de rigor significativo (SERRA, 1983).

É somente com a perfuração do poço que os prognósticos obtidos a partir de outros dados podem ser confirmados. A medição de parâmetros elétricos (resistividade ou potencial eletroquímico natural), acústicos (velocidade de propagação ou tempo de trânsito de ondas sonoras) e radioativos (natural ou induzido), permite a inferência de propriedades físicas como a porosidade, permeabilidade e a saturação de fluido. Os dados numéricos obtidos com as medições podem ser transformados em perfis, permitindo uma perspectiva visual e em profundidade, de uma ou mais propriedades das rochas atravessadas (ROCHA et al., 2009).

Dentre as propriedades físicas que podem ser inferidas a partir das medições de poço, destaca-se a porosidade, uma característica importante para a identificação da rocha reservatório, que pode ser determinada a partir de três perfis de poços, densidade, neutrônico e sônico (Fig. 28). O perfil de densidade, mostra o registro contínuo das variações de densidade, tanto da matriz da rocha quanto do fluido contido no espaço poroso (MIRANDA, 2004), isso é obtido utilizando fontes radioativas e detectores que medem a intensidade dos raios gama, e relacionando-se à densidade de elétrons na formação rochosa (SANSONE, 2014).



**Fig. 28.** Perfis de poços, sônico, neutrônico e densidade. Modificado de BP Brasil, 2001.

O perfil neutrônico mostra os dados obtidos a partir da medição da radioatividade induzida artificialmente nas rochas, após o bombardeio de nêutrons de alta energia e velocidade (nêutrons rápidos) que interagem com os átomos das rochas (DO ROSÁRIO, 2018). Isso é possível, pois os nêutrons são partículas neutras, destituídas de carga elétrica, com massa quase idêntica a do núcleo do hidrogênio. Dessa forma, eles podem penetrar profundamente na matéria, atingindo o núcleo dos elementos que compõe a rocha, interagindo elástica ou inelasticamente (MIRANDA, 2004).

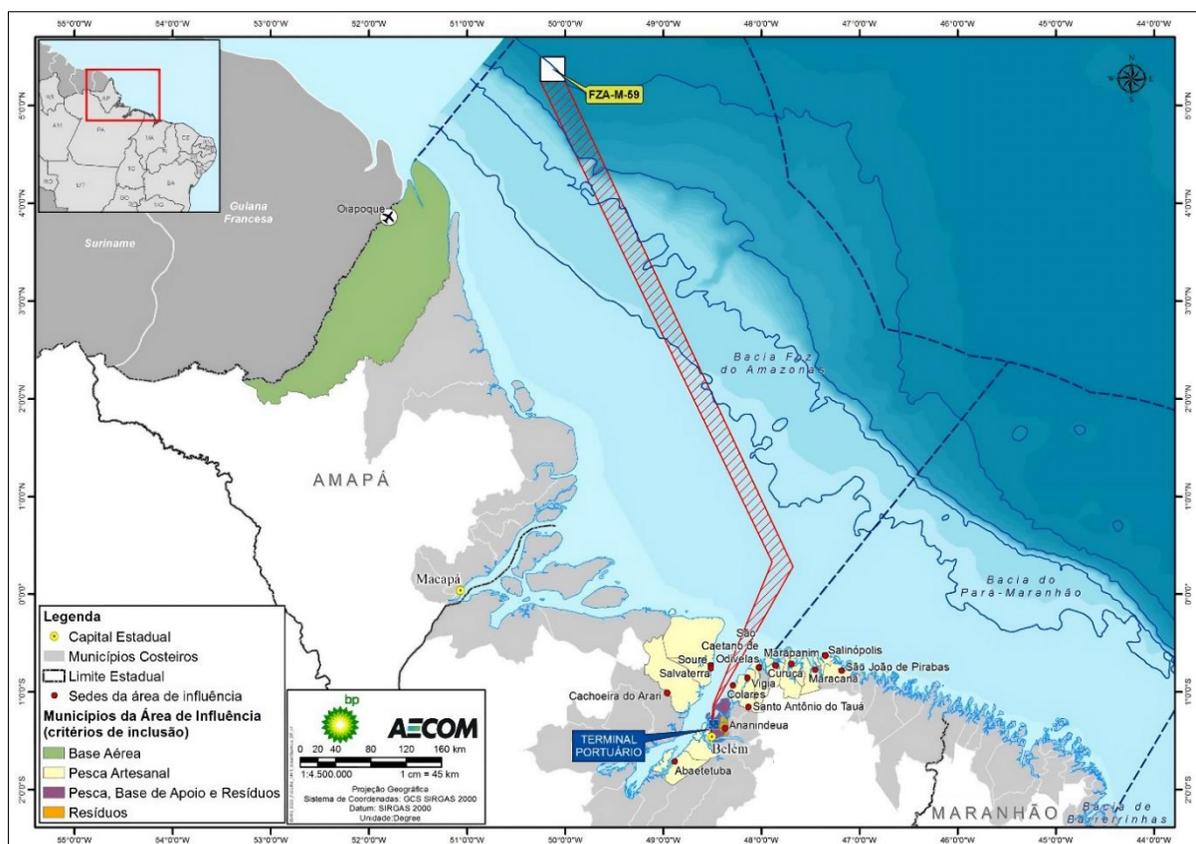
A velocidade do som é um parâmetro que depende da porosidade. Em suma, quanto maior a porosidade, menor a velocidade. A salinidade do fluido também interfere neste parâmetro, quanto maior a salinidade, maior a velocidade. Geralmente, em um contexto de porosidade e matriz constantes, ao substituírmos água por óleo ou óleo por gás a velocidade diminui, pelo menos até uma certa profundidade (SERRA, 1983). Além disso, outros fatores devem ser levados em consideração, a natureza do fluido de perfuração, dados petrofísicos da formação, se o poço apresenta desmoronamento ou a própria geometria do poço (SILVA, 2022).

Em resumo, a descoberta da perfilagem geofísica em 1920, permitiu a obtenção de informações que possibilitaram a identificação de horizontes produtores que ajudaram a indústria de petróleo e gás (DOTTI, 2008) na consolidação que ela possui hoje. E além dos perfis já citados, outros perfis também são utilizados na exploração de petróleo, como o perfil de Potencial Espontâneo, Resistividade, Indução Eletromagnética, “*Caliper*”, “*Dipmeter*” e temperatura (Luiz & Silva, 1983).

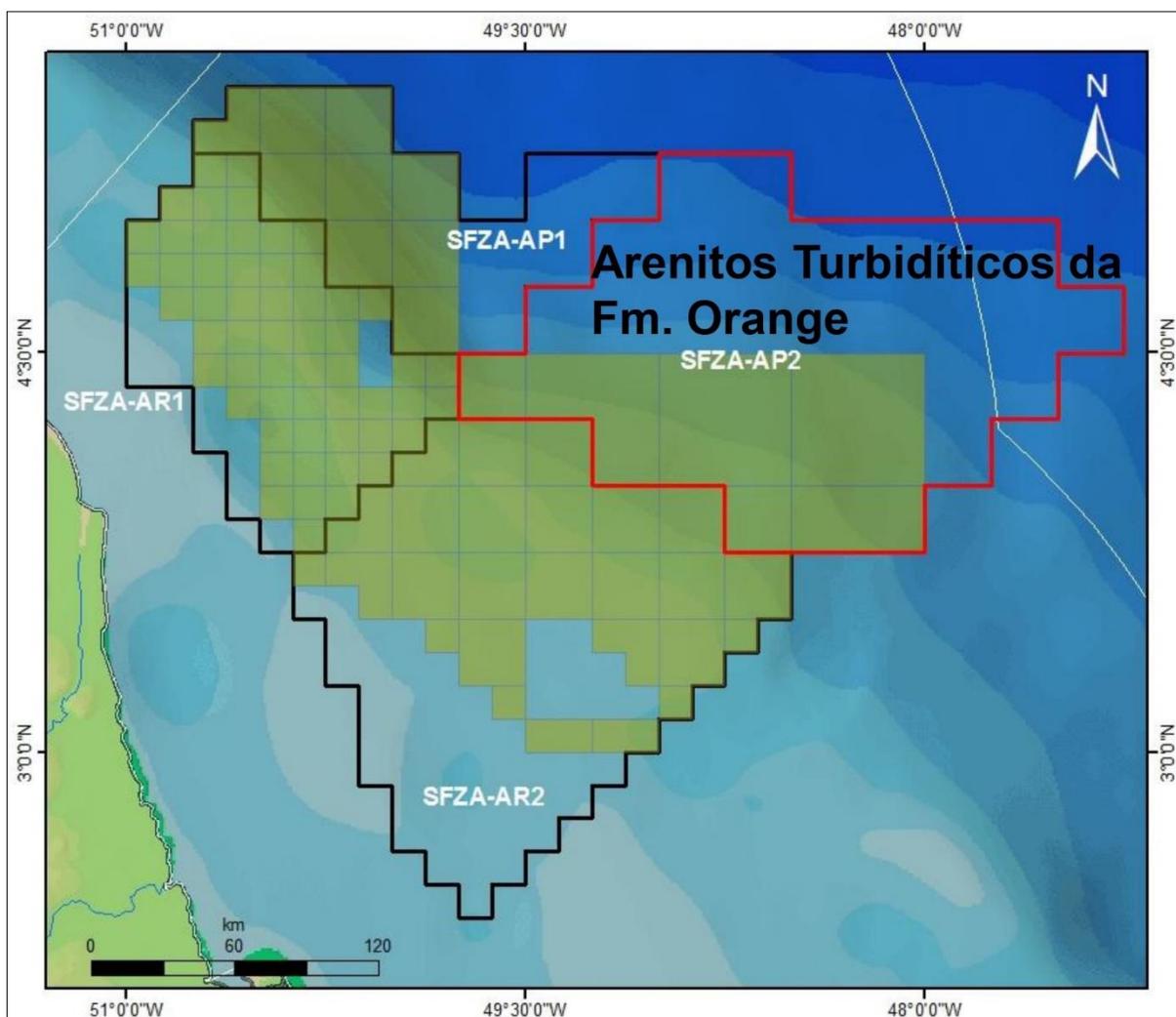
## 2.5 ÁREA DE ESTUDOS

A Bacia Foz do Amazonas, localiza-se na porção noroeste da Margem Equatorial Brasileira, e contempla uma área de 283.000 km<sup>2</sup> que engloba a região costeira do estado do Amapá e do Pará (TRAVASSOS et al., 2021), configurando-se como a mais extrema bacia ao norte da margem continental brasileira (FIGUEIREDO et al., 2007). A região prospectiva desta bacia localiza-se em águas profundas e ultra-profundas (Fig. 29), distando cerca de 200 km da região onde deságua o Rio Amazonas, no Oceano Atlântico Tropical Ocidental (NASCIMENTO et al., 2009), conhecido homonimamente à bacia, como Foz do Amazonas.

O panomara da exploração de O&G na BFAMZ indica que se ela for viabilizada, acontecerá em um primeiro momento, por meio do bloco FZA-M-59 (Fig. 29), pertencente ao setor SFZA-AP1 da décima primeira rodada, onde os *plays* exploratórios são os arenitos turbidíticos do neocretáceo, localizados na Formação Limoeiro. Entretanto, o presente estudo se concentra apenas em uma porção do setor SFZA-AP2, onde os *plays* exploratórios são os arenitos turbidíticos do Mioceno e Plioceno que estão na Formação Orange (Fig. 30).



**Fig. 29.** Mapa de localização da área de influência à atividade de perfuração marítima no bloco FZA-M-59 (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018).



**Fig. 30.** Mapa de localização da área em que está contido o dado sísmico, o setor SFZA-AP2. (VASCONCELLOS, 2023).

As regiões possivelmente pertencentes à área de influência dessa exploração, mapeadas por BP e Habtec Mott Macdonald (2018), são: Oiapoque (AP), Soure (PA), Salvaterra (PA), Cachoeira do Arari (PA), Abaetetuba (PA), Barcarena (PA), Belém (PA), Ananindeua (PA), Santo Antônio do Tauá (PA), Colares (PA), Vigia (PA), São Caetano de Odivelas (PA), Curuçá (PA), Marapanim (PA), Magalhães Barata (PA), Maracanã (PA), Salinópolis (PA) e São João de Pirabas (PA).

Sendo assim, com exceção do município de Oiapoque, estas áreas não são as mesmas contempladas pelo recorte metodológico utilizado nesta pesquisa. Isto ocorre devido dois fatores: o mapeamento abrange influências relacionadas somente à atividade de perfuração marítima, e, optou-se por realizar o estudo nos municípios de Oiapoque, Calçoene e Amapá,

devido estas serem as regiões mais proximais ao empreendimento, que serão afetadas direta e indiretamente.

O mapeamento da área de influência de perfuração marítima (Tab. 2) prevê então, que as regiões da coluna verde poderão sediar frotas pesqueiras artesanais que possivelmente utilizarão a área da rota das embarcações de apoio de forma expressiva e localizada para o exercício da atividade pesqueira, a região de Belém, na coluna rosa, poderá ser responsável por sediar instalações e infraestrutura de apoio marítimo à atividade (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018).

Além disso, poderá ainda ser responsável pelo recebimento de resíduos que provavelmente serão gerados pela atividade e abrigar comunidades de pesca artesanal atuantes na área da rota das embarcações de apoio. A coluna laranja, elenca o município de localização da base de apoio aéreo à atividade, provavelmente o município de Oiapoque, e em azul, as

**Tab. 2.** Regiões incluídas no mapeamento de áreas impactadas pela exploração do bloco FZA-M-59 (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018)

CRITÉRIO DE INCLUSÃO					
UF	MUNICÍPIOS	PESCA ARTESANAL	BASE DE APOIO	BASE AEREA	RESIDUOS
AP	Oiapoque			●	
PA	Soure	●			
	Salvaterra	●			
	Cachoeira do Arari	●			
	Abaetetuba	●			
	Barcarena	●			
	Belém	●	●		●
	Ananindeua				●
	Santo Antonio do Tauá	●			
	Colares	●			
	Vigia	●			
	São Caetano de Odivelas	●			
	Curuçá	●			
	Marapanim	●			
	Magalhães Barata	●			
	Maracanã	●			
	Salinópolis	●			
São João de Pirabas	●				

cidade que receberão os resíduos provavelmente gerados pela atividade (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018).

## **2.5.1 Bacia Foz do Amazonas**

### **2.5.1.1 Geologia Regional**

A MEB possui em seu contexto de evolução geológica, sucessivos episódios de movimentos transformantes<sup>6</sup> que resultaram na formação das bacias que atualmente a compõem, a Bacia Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Barreirinhas, Ceará e Potiguar (PEROVANO et al., 2009). Essa movimentação, descrita por JÚNIOR et al. (2008), marcou três eventos distensivos durante o Mesozóico, mais especificamente no Neotriássico, Eocretáceo-Valanginiano, e no Eocretáceo-Albiano.

O primeiro evento distensivo foi estabelecido a partir de esforços internos no Pangea<sup>7</sup>, que reverberaram na América do Sul em forma de soerguimentos com associação de magmatismo, e originaram o Oceano Atlântico Central. O segundo evento é marcado por um novo rifteamento, responsável pela ampliação da bacia e a formação das Bacias Marajó e Grajaú além da gênese do sistema de grábens do Gurupi. O último, que levou ao rompimento dos continentes sul-americano e africano, demandou esforços distensivos para a formação das bacias da MEB (JÚNIOR et al., 2008).

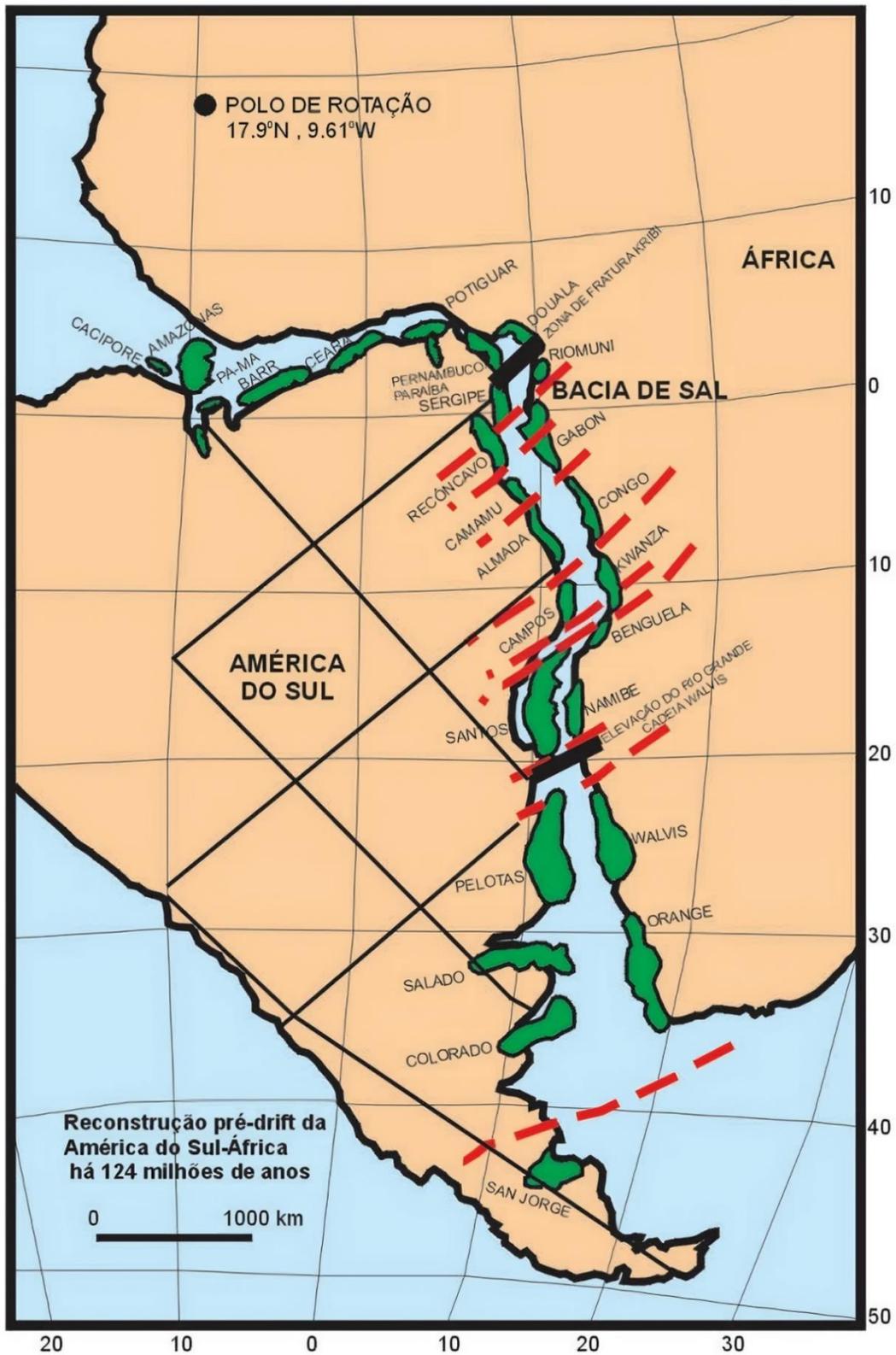
DE FIGUEIREDO et al., (2007) explica, que durante a amalgamação do supercontinente Gondwana (Fig. 31) formou-se a Faixa Móvel Rokelides<sup>8</sup> (Fig. 32), e nele foi consolidado parte do embasamento da BFAMZ, intitulados Grábens Cassiporézinho e Externo, compostos de rochas metassedimentares e metavulcânicas de origem infracrustal e supracrustal, com idades originais variando do Arqueano ao Neoproterozóico. A outra parte do embasamento da BFAMZ, Gráben Cassiporé (Fig. 33), estabeleceu-se isoladamente, divergente aos Grábens Cassiporézinho e Externo, entre o Cráton das Guianas, sendo constituído pelo Complexo Guianense (gnaiesses, granitóides, migmatitos, granulitos e ortoanfibolitos).

---

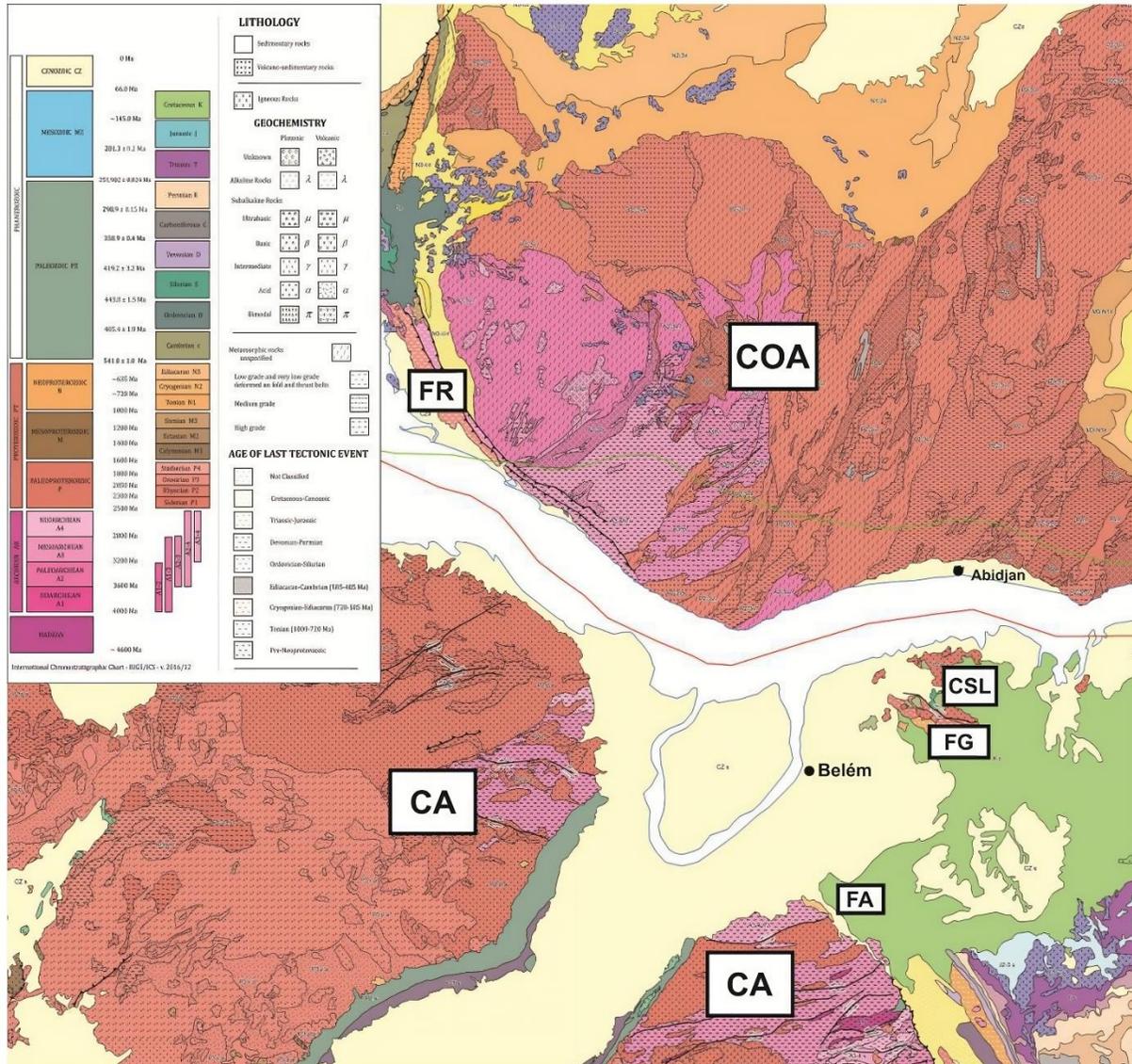
<sup>6</sup> Movimentos caracterizados pelo contato lateral entre placas tectônicas, que podem ser para a esquerda ou para a direita (LEITE et al., 2021).

<sup>7</sup> A formação desse supercontinente é o resultado de fusão em grande escala de continentes e microcontinentes, datando do final do Neoproterozóico (STAMPFLI et al., 2013).

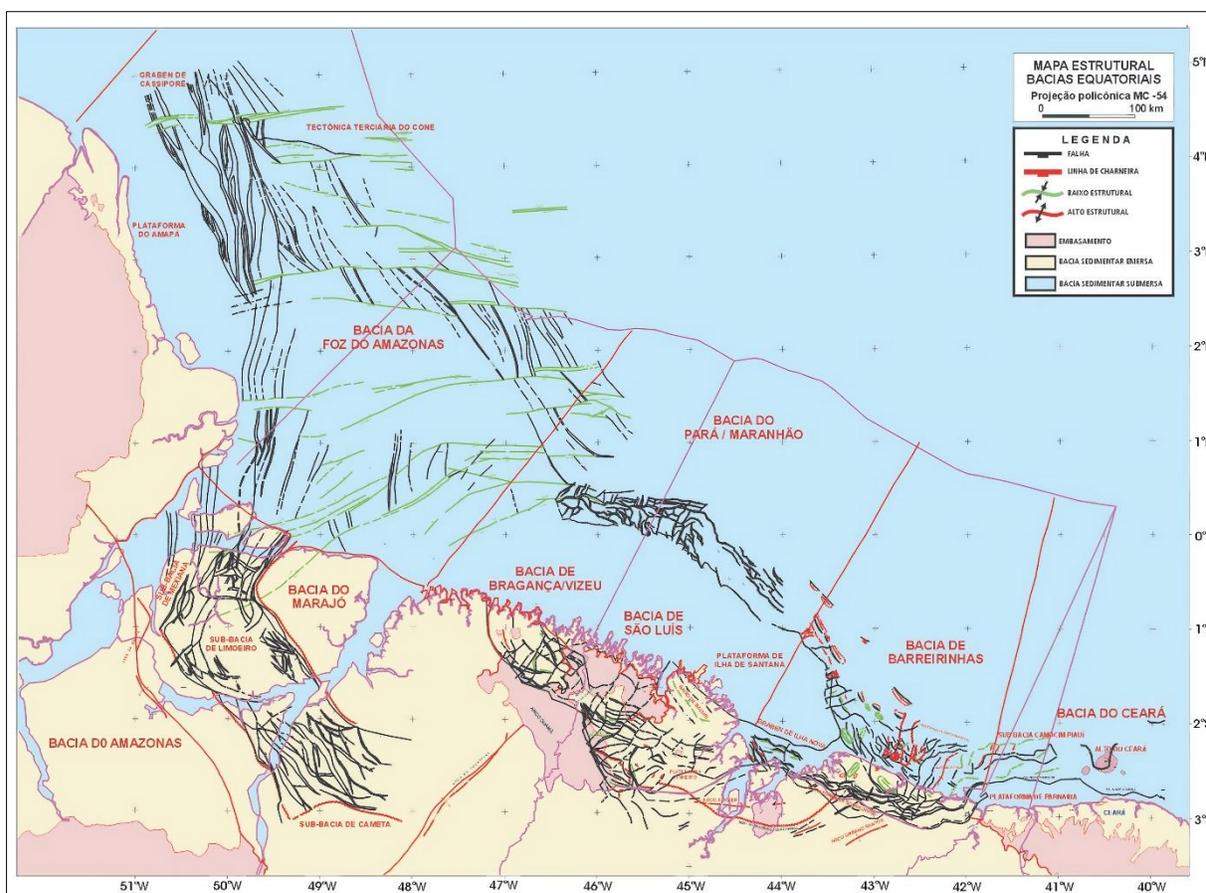
<sup>8</sup> O nome Rokelides provém da extensão desta faixa móvel amalgamada na África (DE FIGUEIREDO, 2007)



**Fig. 31.** Reconstrução tectônica das bacias sedimentares na configuração pré-deriva continental (MOHRIAK, 2003)



**Fig. 32.** Mapa Geológico do Gondwana, com a localização da Faixa Móvel Rokolides, análoga a formação África. Siglas: CA - Cráton Amazônico; CSL - Cráton São Luís; COA - Cráton Oeste Africano; FR - Faixa Rokolides; FG - Faixa Gurupi; FA - Faixa Araguaia (ADIO, 2020).



**Fig. 33.** Mapa geológico regional da MEB com localização de início no Gráben de Cassiporé, embasamento da BFAMZ, e localização final na Bacia do Ceará (MOHRIAK, 2003).

A Formação Calçoene (Fig. 34) é o primeiro conjunto de litologias depositado na Bacia Foz do Amazonas, e possui ocorrência em alto estrutural que possibilita a separação entre os Grábens de Cassiporezinho e Externo. Provavelmente, o contexto de ruptura do Gondwana experienciou condições intracratônicas desérticas, favorecendo as poucas variações de espessura e a presença de rochas ígneas na Fm. Calçoene. Este primeiro momento da BFAMZ é chamado de megassequência pré-rifte (DE FIGUEIREDO et al., 2007), e antecede a megassequência sinrifte (MOHRIAK, 2003).

Na megassequência sinrifte, há a deposição das formações Cassiporé e Codó, sendo a primeira composta por intercalações de folhelhos cinza-escuros, arenitos cinzentos muito finos a finos, seleção moderada, arenitos finos a médios, bem selecionados. Os arenitos porosos da Fm. Cassiporé são considerados como possíveis reservatórios e a sua representação em dados sísmicos indica refletores fracos e descontínuos, com aumento de espessura em direção às falhas de borda (DE FIGUEIREDO et al., 2007).

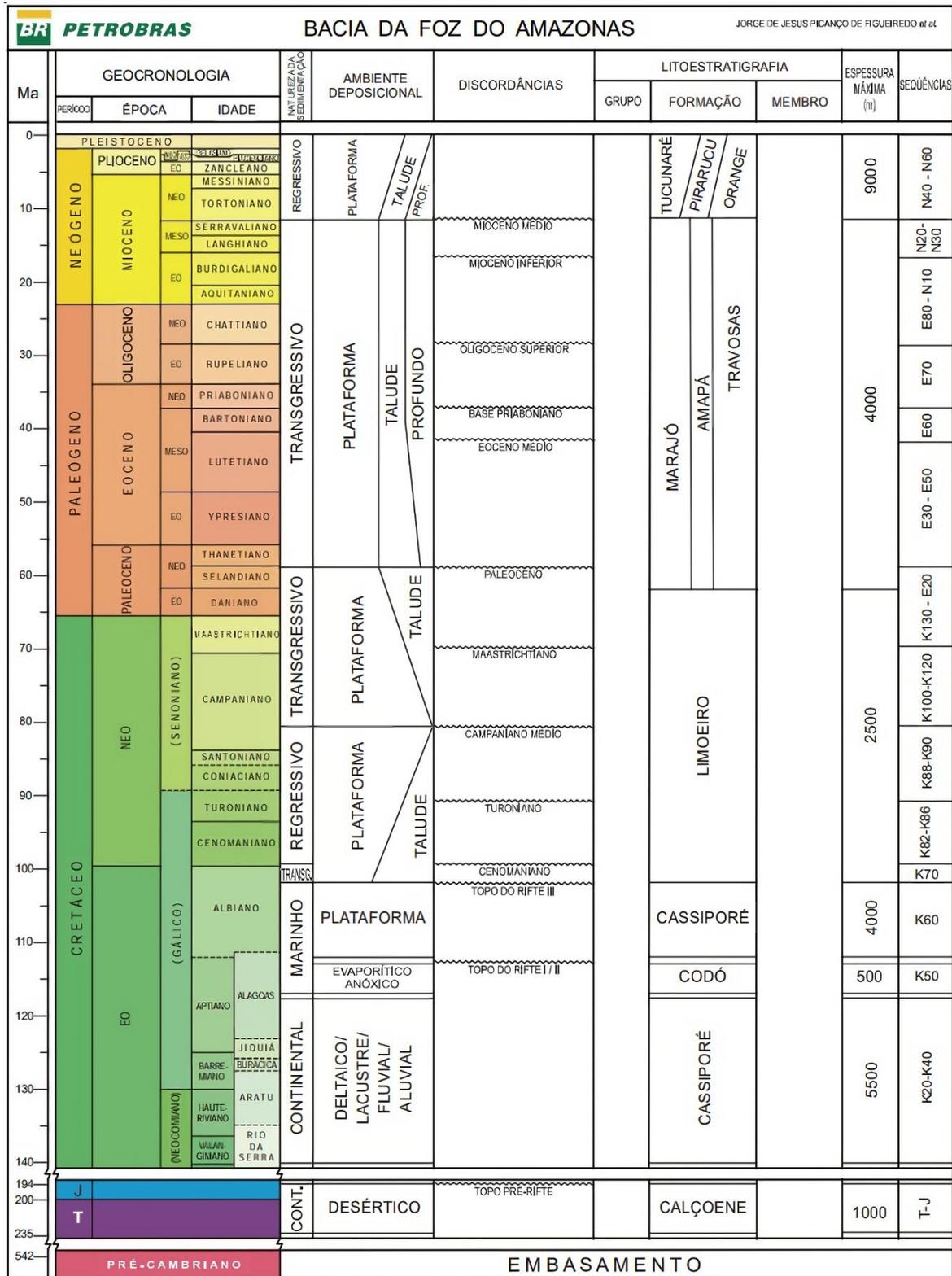


Fig. 34. Carta Estratigráfica da Bacia Foz do Amazonas (DE FIGUEIREDO et al., 2007).

A Formação Codó, é composta predominantemente por folhelhos e calcilutitos. E em seção sísmica, possui representação que indica refletores contínuos, plano paralelos, com alto contraste de impedância acústica. Seu contato superior é uma discordância no qual pousa em *onlap* os refletores subjacentes (DE FIGUEIREDO et al., 2007). Seu potencial petrolífero é determinado por atingir 10% de COT, possuir querogênio do Tipo I, sendo excelente para geração de petróleo, com maturidade térmica ideal (DA CRUZ et al., 2021).

A Formação Limoeiro, que compõe o sistema petrolífero da BFAMZ (TRAVASSOS et al., 2021), é depositada no primeiro intervalo da megassequência pós-rifte (MOHRIAK, 2003), por uma sedimentação clástica de marinha inicialmente regressiva para transgressiva (DE FIGUEIREDO et al., 2007). Sendo caracterizada pela presença de folhelhos e arenitos turbidíticos do cretáceo. É determinada com bom potencial petrolífero por possivelmente ter 4,4% de COT, e querogênio Tipo II (DA CRUZ et al., 2021).

No segundo intervalo são depositados sedimentos que formam uma espessa plataforma carbonática proximal de água rasa (CARVALHO et al., 2011), a Formação Amapá, que possui calcários porosos fraturados considerados excelentes reservatórios (TRAVASSOS et al., 2021) circundado por areias proximais da Formação Marajó, caracterizada por um sistema flúvio-deltaico, com clásticos finos a grosseiros (CARVALHO et al., 2011). A Formação Travosas deteve sedimentação regressiva, com sedimentos pelágicos distais (MOHRIAK, 2003).

O último intervalo da megassequência pós-rifte é caracterizado pela formação do Grupo Pará, que contém as formações Tucunaré, Pirarucu e Orange, responsáveis pela formação do Cone do Amazonas (TRAVASSOS et al., 2021). O Grupo Pará, faz parte da sequência N40-N60, a última sequência da BFAMZ, iniciada em 10,7 Ma até o recente (DE FIGUEIREDO et al., 2007). O sistema petrolífero estão nas Formações Pirarucu e Orange, a primeira em sua porção mais rasa, contendo arenitos selados por folhelhos. A Fm. Orange possui em seus arenitos do Mioceno Médio a expectativa de rocha reservatório (TRAVASSOS et al., 2021).

### **2.5.2 Formação Orange**

A mais marcante feição fisiográfica adjacente à plataforma continental setentrional da América do Sul, o Cone Amazônico, é constituído pelo pacote pelítico de folhelhos, siltitos acastanhados e argilitos cinzentos (CARVALHO, 2008; CARVALHO et al., 2021; CANELLAS, 2020) no talude e em águas profundas, associados às poucas camadas de arenitos

finos depositados sob a ação de correntes de turbidez, ou pulsos turbidíticos (CANELLAS, 2020). Essas características compõem a Formação Orange (PEROVANO et al., 2009).

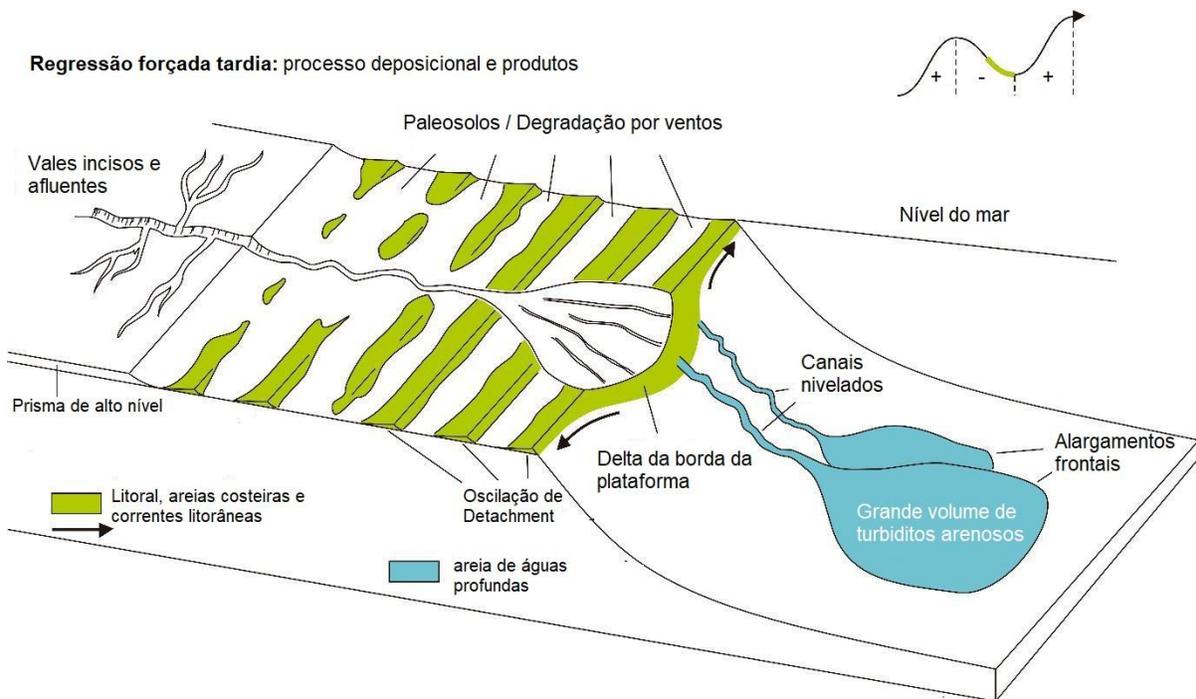
O fluxo gravitacional de massa que resulta em instabilidade e descolamento basal do Cone do Amazonas é atribuído por vários autores à deposição da espessa camada de argilas mal compactadas da Formação Orange (CARVALHO et al., 2011), devido o seu estado de superpressurização de fluidos (PEROVANO et al., 2009). Essas características, corroboram para a composição do sistema petrolífero da Fm. Orange, que possuem como rocha geradora folhelhos, rocha reservatório arenitos turbidíticos e folhelhos também como rochas selantes.

Os folhelhos como rocha geradora datam do cretáceo superior, formados entre o cenomaniano e o turoniano. Os arenitos turbidíticos, potenciais reservatórios, preenchem canais em águas profundas datando do Mioceno superior (5.2 Ma), arenitos turbidíticos do plioceno superior (2.2 Ma) (objetivos primários) e arenitos turbidíticos do mioceno médio (objetivos secundários). Os folhelhos como rochas selantes datam do plioceno (ANDRADE, 2001).

#### 2.5.2.1 Arenitos Turbidíticos

Os arenitos turbidíticos são rochas que se formam em ambiente marinho com grandes profundidades, em que há o transporte de suprimento sedimentar originado em plataformas continentais ou taludes, por meio de canais ou cânions, tendo sua deposição ocorrendo em longas distâncias no fundo oceânico e dando origem à formação de leques submarinos (Fig. 35), é devido a alternância de espessos e contínuos pacotes arenosos com lutitos que o tornam uma rocha com potencial petrolífero (GENEROSO, 2015).

Um sistema turbidítico pode ainda ser classificado como um corpo de rochas onde os depósitos de preenchimento do canal são substituídos por sedimentos não canalizados na direção descendente. Apesar deste padrão geral comum, os sistemas turbidíticos podem diferir consideravelmente em termos de tamanho, geometria geral, tipos de fácies e associações de fácies e distribuição e geometria dos corpos de arenito (MUTTI, 1985).



**Fig. 35.** Deposição de grandes volumes de arenitos turbidíticos. Modificado de Catuneanu (2006).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 AVALIAÇÃO DE CAPACIDADE E INJETIVIDADE DA FORMAÇÃO ORANGE

##### 3.1.1 Base de Dados

###### 3.1.1.1 Dados Sísmicos

Os dados sísmicos são importantes informações, pois podem conduzir indicações sobre litologia, coesão, profundidade, espessura e continuidade lateral das camadas (SANTOS, 2019), além de ser possível a avaliação de parâmetros como mergulho, presença de falhamentos, ocorrências de acumulações rasas de gás biogênico e deslizamentos submarinos (NETO, 2000), tendo assim grande utilidade na indústria do petróleo.

A sísmica de reflexão, é o tipo de dado sísmico mais utilizado na procura de hidrocarbonetos, tanto *onshore* como *offshore*, devido, principalmente devido a facilidade da utilização, área de abrangência e interpretação dos dados (Tab. 3) (GONZAGA, 2015). No contexto do armazenamento geológico, pode ser utilizado tanto para a determinação da capacidade do reservatório, quanto para o monitoramento após a injeção.

**Tab. 3:** Informações do levantamento sísmico. Modificado de BP Brasil (2001).

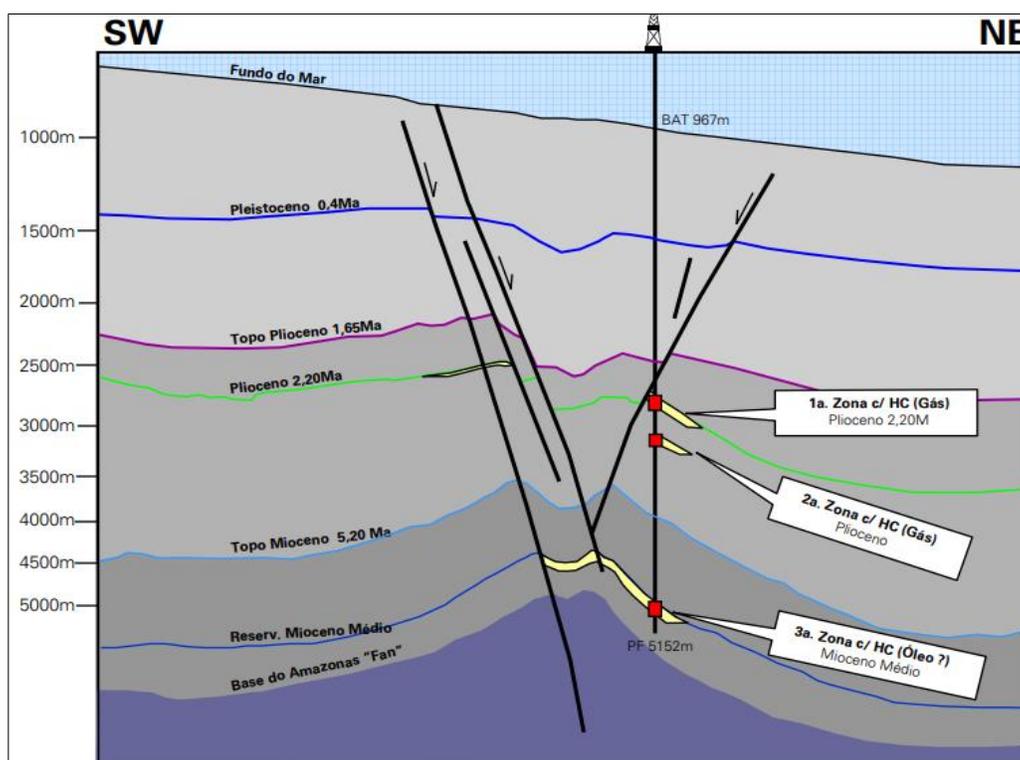
Nome do levantamento	0274_3D_BFZ_2_SAVIO_RAI.3D.MIG_FIN	
Intervalo da direção <i>Inline</i>	14861 - 16701	Total: 1841
Intervalo da direção <i>Crossline</i>	1 - 1501	Total: 1501
Intervalo da direção Z	0 - 10004	Total: 2502
Tamanho	26.35 GB	
Tipo de dado	3D	
Tipo de processamento	Pós stack - Mig Fin	

### 3.1.1.2 Dados de Poço

O poço 1-BP-2-APS foi utilizado para o emprego do método *well tie to seismic*, conhecido como “amarração poço-sísmica”, uma forma de comparar os dados sísmicos e a localização geográfica do poço a partir dos dados de perfil do poço (ONAJITE, 2014). A utilização das informações apenas deste poço (Tab. 4) justifica-se pois a região amazônica brasileira *offshore* como um todo, possui escassez na disponibilidade de dados de poços públicos, e no levantamento sísmico da área de estudo, apenas o poço em questão está disponível (Fig. 36).

**Tab. 4:** Informações do poço. Modificado de BP Brasil (2001).

Nome do poço	1-BP-2-APS
Categoria do poço	Pioneiro
Tipo de poço	Vertical
Latitude	+04:12:45,9878
Longitude	-48:57:40,511
Profundidade	5.157 m
Início da perfuração	31/03/2001
Profundidade da mesa rotativa	26 m
Lâmina d'água	967 m



**Fig. 36.** Well 1-BP-2-APS com seção geológica esquemática. (BP Brasil, 2001)

### 3.1.1.3 OpendTect

O software para a manipulação dos dados sísmicos e de poços foi utilizado em sua versão 7.0 e *open source*. Esta ferramenta é especializada em interpretação de dados sísmicos e de poços, além da correlação dos mesmos. Tornando possível a investigação de continuidade lateral por meio do rastreamento de horizontes, a identificação de trapas estruturais por meio de atributos sísmicos associado ao delineamento de falhas, e a determinação de volumes de estruturas.

## 3.2 INTERPRETAÇÃO GEOFÍSICA

A análise de dados sísmicos visa desvendar a subsuperfície, utilizando informações extraídas de dados sísmicos processados. Essa análise busca revelar detalhes sobre a estrutura geológica, camadas de rochas, características das rochas subterrâneas, velocidade das ondas sísmicas, tensões presentes e, possivelmente, variações na composição de fluidos nos reservatórios ao longo do tempo e em diferentes locais (ONAJITE, 2014).

Nesse contexto, destaca-se a interpretação de horizontes sísmicos, uma técnica fundamental na geofísica de exploração (LOWELL, et al., 2018). Um horizonte, para os geofísicos, representa um evento ou reflexo nos dados sísmicos, algo que pode ser identificado e traçado com ferramentas automatizadas. A qualidade dessa identificação depende da qualidade dos dados sísmicos. Alterações nos dados originais ou no processo de tratamento dos dados podem influenciar a definição do horizonte (ONAJITE, 2014).

A interpretação de horizontes envolve a seleção e o rastreamento de refletores sísmicos que se repetem lateralmente, com o objetivo de delimitar sua extensão e calcular seus volumes. O processo de interpretação de horizontes sísmicos geralmente segue quatro etapas básicas: (ONAJITE, 2014):

**Tab. 5.** Etapas da interpretação de horizontes sísmicos (ONAJITE, 2014)

Etapas	Descrição
Picking	Identificar e acompanhar o horizonte (refletor sísmico) a ser mapeado
Tempo	Para medir o tempo de reflexão desde o ponto de referência até a reflexão escolhida (horizonte).
Postagem/ Transferência	Para transferir os tempos de reflexão medidos (horizonte) para o mapa.
Contorno	Para mostrar a estrutura, relevo e fechamento do horizonte escolhido.

### 3.2.1 Método *Seed Trace*

O rastreamento de horizontes consiste na identificação de quais traços e em quais amostras o horizonte está presente. A baixa razão Sinal/Ruído, a proximidade, a interferência entre vários horizontes distintos e a complexidade da geologia e estruturas tais como falhas geológicas, representam desafios de rastreamento (PORSANI et al., 2010). Considerando as dificuldades desta atividade, os *softwares* de interpretação sísmica tornaram-se mais robustos para facilitar o rastreamento.

O método *seed trace* é um exemplo de desenvolvimento de tecnologia que torna a interpretação mais intuitiva, em que é possível realizar o *picking* (seleção) manual ou automático de um horizonte, podendo selecionar a janela de amplitude e polaridade aceitável para o rastreamento, garantindo que o espaçamento vertical entre as *seeds* implique em uma amostragem regular de eventos. O método foi validado na literatura, por meio dos trabalhos de MARJANOVIĆ et al. (2023) para delineamento de horizontes, e de DI e ALREGIB (2019) para falhas e fraturas.

### 3.2.2 Algoritmo *Convex Hull*

Para a obtenção do horizonte sísmico em três dimensões, utilizou-se o algoritmo *Convex Hull*, comumente chamado de polígono ou envelope convexo, que possui como base a criação do menor polígono que englobe um determinado conjunto de entidades espaciais (WEI et al., 2023). Este tipo de ajuste restringe a geometria da grade dentro dos limites do horizonte (Fig. 37), pois na falta de um limite explícito incluindo todos os pontos, o *Convex Hull* pode ser usado como restrição externa para triangulação.

Esse algoritmo possui validação na literatura por meio dos trabalhos de WRIGHT (2016); MIOLA et al., (2021); MIOLA et al., (2022) utilizando o *software* OpendTect para delineamento de horizontes e falhas em dados sísmicos. E em outras áreas de aplicação do algoritmo nos trabalhos de EDDY, (1977), AVIS et al., (1995), BARBER et al., (1996), NEMIRKO et al., (2021), MÜLLER et al., (2022).

Geometricamente, o conjunto convexo deve ser capaz de traçar uma linha reta do ponto de interesse a qualquer outro ponto do conjunto, sem cruzar nenhuma fronteira. Matematicamente falando, para todos os pontos  $i$  e  $j$  no conjunto de dados ( $\vec{x}$ ), a equação:

$$\lambda \vec{x}_i + (1 - \lambda) \vec{x}_j = \vec{x}, \quad \forall \lambda [0,1], \vec{x} \in \vec{X} \quad (1)$$

deve ser satisfeito para que a convexidade seja mantida (SIEGEL, 2022).

Uma equação correspondente indicada por SIEGEL (2022) consiste em formar uma combinação apenas positiva de quaisquer pontos dentro do conjunto com qualquer outro ponto dentro do conjunto. Com qualquer número de pontos  $n$ , deve-se portanto ter:

$$\sum_{i=1}^{i=n} k_i \cdot \vec{x}_i = \vec{x} \quad (2)$$

De tal modo que

$$\sum_{i=1}^{i=n} k_i = 1 \quad (3)$$

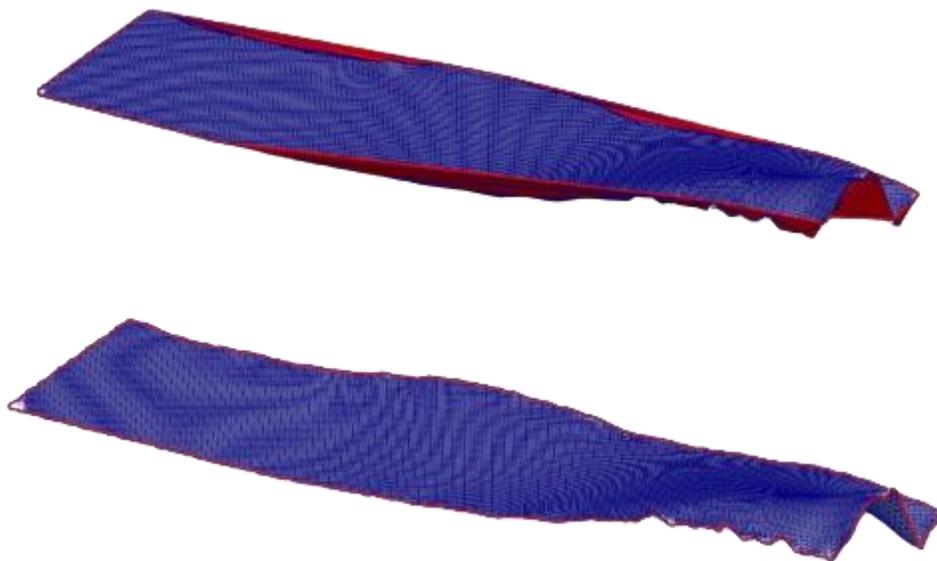
Exista.

Para que a equação 1 esteja satisfeita para todo o conjunto, a equação 2 deve ser satisfeita em cada dimensão, e então a equação 3 deve ser mantido em geral. Formulando o problema em forma matricial:

Para qualquer ponto em  $n$  dimensões

$$\begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & x_{1,3} & \cdots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & x_{2,3} & \cdots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{d,1} & x_{d,2} & x_{d,3} & \cdots & x_{d,n} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \\ \vdots \\ k_d \\ k_{d+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_d \\ 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

onde a última linha força a adesão à equação 3. É preciso encontrar uma solução para esta equação matricial, que força todos os valores de  $k$  a serem positivos. Se existir uma solução, um conjunto convexo é formado pelos  $n$  pontos.



**Fig. 37.** Exemplo de horizonte geológico 3D. Modificado de Serazio et al. (2021).

### 3.2.3 Algoritmo Distância Inversa

O algoritmo de distância inversa é utilizado em conjunto com o algoritmo *Convex hull*, e representa um dos métodos mais utilizados para estimativa de valores faltantes (ALMEIDA et al., 2012). Fazendo parte dos métodos tradicionais de interpolação espacial, como triangulação e média local (CAMARGO, 1998). Este método é validado na literatura pelos trabalhos de COUTO et al. (2002) para interpolação de mapas; CARVALHO et al. (2001) em geostatística na área da agronomia; e BOTELHO et al. (2005) para cálculo de volume.

Ele utiliza um método de interpolação de distância inversa, que requer o raio de busca com parâmetros opcionais (tamanho do passo e número de passos). O tamanho do passo igual à '1' significa que um compartimento poderá ser utilizado em todas as direções para interpolar os valores em Z do horizonte. Considerando que o número de passos define o número de círculos concêntricos para cálculo de distância inversa. Para estes passos, o cálculo da grade pode ser definido para os pontos de canto para o raio definido ou não (opção padrão) (DGB BEHEER, 2021).

### 3.3 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS NA COSTA DO AMAPÁ

#### 3.3.1 Base de Dados

##### 3.3.1.1 Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Os dados foram selecionados e coletados manualmente do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, e organizados em formato de tabela. Estes dados, compõem a base para a composição de perfil da população afetada pela possível exploração de Petróleo e Gás na Bacia Foz do Amazonas. Cabe ressaltar, que o presente estudo realiza a investigação de impactos socioeconômicos utilizando de recorte metodológico nos municípios costeiros Oiapoque, Calçoene e Amapá.

Sabe-se que os impactos socioeconômicos na referida região alcançará mais do que esses três municípios (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018). E opta-se pela priorização da investigação na região costeira, por representarem a região mais próxima geograficamente do empreendimento, e por conterem características de vulnerabilidade social histórica.

Para a caracterização da população afetada, coletou-se informações (Tab. 6) referentes à sua representação quantitativa por município, além da sua taxa de ocupação por km<sup>2</sup>. Estas informações são importantes para entender se há superpovoamento na região, característica que indicaria se as necessidades da população excedem ou ameaçam a capacidade de suporte do meio ambiente, considerando, por exemplo, a disponibilidades de recursos naturais (VEIGA et al., 2014).

Ainda, coletou-se informações sobre a disposição quantitativa dessas população por faixa de idade, a fim de entender as vulnerabilidades etárias dos diferentes grupos. Estas informações estão presentes na próxima página.

**Tab. 6:** Base de dados com as características da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2022.

<b>População</b>			
<b>Descrição do Dado</b>	<b>Oiapoque</b>	<b>Calçoene</b>	<b>Amapá</b>
População [2022]	27.482	10.612	7.943
Densidade demográfica (km <sup>2</sup> ) [2022]	1,19	0,75	0,94
Posição da quantidade de habitantes em relação aos outros municípios do estado [2022]	4°	10°	11°
0 a 4 anos de idade (homem) [2022]	1472	601	427
0 a 4 anos de idade (mulher) [2022]	1452	551	425
5 a 9 anos de idade (homem) [2022]	1491	536	408
5 a 9 anos de idade (mulher) [2022]	1409	512	369
10 a 14 anos de idade (homem) [2022]	1472	526	377
10 a 14 anos de idade (mulher) [2022]	1322	500	390
15 a 19 anos de idade (homem) [2022]	1346	497	393
15 a 19 anos de idade (mulher) [2022]	1400	501	339
20 a 24 anos de idade (homem) [2022]	1362	511	396
20 a 24 anos de idade (mulher) [2022]	1270	417	354
25 a 29 anos de idade (homem) [2022]	1207	422	303
25 a 29 anos de idade (mulher) [2022]	1170	406	301
30 a 34 anos de idade (homem) [2022]	1101	364	268
30 a 34 anos de idade (mulher) [2022]	1080	407	265
35 a 39 anos de idade (homem) [2022]	974	357	314
35 a 39 anos de idade (mulher) [2022]	995	361	283
40 a 44 anos de idade (homem) [2022]	870	357	253
40 a 44 anos de idade (mulher) [2022]	887	337	230
45 a 49 anos de idade (homem) [2022]	766	299	226
45 a 49 anos de idade (mulher) [2022]	700	277	182
50 a 54 anos de idade (homem) [2022]	610	289	197
50 a 54 anos de idade (mulher) [2022]	544	227	179
55 a 59 anos de idade (homem) [2022]	519	274	164
55 a 59 anos de idade (mulher) [2022]	453	187	152
60 a 64 anos de idade (homem) [2022]	379	222	150
60 a 64 anos de idade (mulher) [2022]	286	135	109
65 a 69 anos de idade (homem) [2022]	230	126	92
65 a 69 anos de idade (mulher) [2022]	189	92	73
70 a 74 anos de idade (homem) [2022]	155	101	62
70 a 74 anos de idade (mulher) [2022]	115	40	58

75 a 79 anos de idade (homem) [2022]	81	44	49
75 a 79 anos de idade (mulher) [2022]	54	43	54
80 a 84 anos de idade (homem) [2022]	46	31	29
80 a 84 anos de idade (mulher) [2022]	27	29	28
85 a 89 anos de idade (homem) [2022]	16	11	12
85 a 89 anos de idade (mulher) [2022]	14	10	16
90 a 94 anos de idade (homem) [2022]	4	6	7
90 a 94 anos de idade (mulher) [2022]	7	3	6
95 a 99 anos de idade (homem) [2022]	0	0	2
95 a 99 anos de idade (mulher) [2022]	2	0	1
100 ou mais (homem) [2022]	1	0	0
100 ou mais (mulher) [2022]	4	3	0

Para entender o contexto econômico dos moradores dos referidos municípios costeiros, selecionou-se os dados de salário médio mensal por trabalhadores formais, sua representação numérica em relação aos outros municípios do Amapá, a quantidade de pessoas trabalhando formalmente, o Produto Interno Bruto (PIB) por pessoa, e a relação deste valor no panorama dos 16 municípios do estado (Tab. 7). Estas informações, instrumentos importantes para desenhar o cenário de mitigação de impactos, são apresentadas à seguir:

**Tab. 7:** Base de dados com as características econômicas da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2021 e 2022.

<b>Economia</b>			
<b>Descrição do dado</b>	<b>Oiapoque</b>	<b>Calçoene</b>	<b>Amapá</b>
Salário médio mensal por trabalhadores formais (salário mínimo) [2021]	1,9	1,9	1,9
Posição do salário médio mensal em relação aos outros municípios [2021]	10°	10°	10°
Pessoal ocupado [2021]	1937	626	532
População ocupada [2021]	6,79%	5,45%	5,74%
PIB per capita (R\$) [2020]	17.494,76	16.058,38	17.165,55
Posição do PIB per capita em relação aos outros municípios do estado [2020]	6°	10°	7°

A compreensão do nível de alfabetização, desse recorte da população amapaense, contemplou a necessidade de organização de dados (Tab. 8) referentes à taxa de escolarização de crianças e jovens no intervalo disponibilizado pelo IBGE, de 6 a 14 anos, além do Índice de

Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), importante ferramenta para avaliar a qualidade do ensino em escolas públicas. E esses dados podem ser observados à seguir:

**Tab. 8:** Base de dados com as características educacionais da população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE de 2010 e 2021.

<b>Educação</b>			
<b>Descrição do dado</b>	<b>Oiapoque</b>	<b>Calçoene</b>	<b>Amapá</b>
Taxa de escolarização de 6 a 14 anos [2010]	96%	97%	95,8%
Posição da taxa de escolarização em relação aos outros municípios [2010]	9º	6º	11º
IDEB – Anos finais do ensino fundamental (rede pública) [2021]	3,2	3,6	3,9

Para realizar uma análise sobre a qualidade da saúde da população, foi crucial a obtenção de dados sobre a mortalidade infantil. Este indicador, amplamente reconhecido como um reflexo das condições de vida de uma sociedade (ALVES, 2021), desempenha um papel fundamental na avaliação do bem-estar social. Os dados adquiridos são apresentados à seguir:

**Tab. 9:** Base de dados com as características de saúde população da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE (2022).

<b>Saúde</b>			
<b>Descrição do dado</b>	<b>Oiapoque</b>	<b>Calçoene</b>	<b>Amapá</b>
Mortalidade Infantil [2020] (óbitos a cada mil nascidos vivos)	18,58	9,85	5,1

A caracterização dos municípios, no que tange o seu tamanho (Tab. 10), e os atributos de desenvolvimento do território, como a quantidade de urbanização, e esgotamento sanitário adequado, são coletadas a fim de entender o nível de desenvolvimento da região, antes do empreendimento, com o objetivo de incluir as nuances nas políticas de mitigação.

**Tab. 10:** Base de dados com as características da meio ambiente e território da região costeira do Amapá, construída a partir de dados do IBGE (2022)

<b>Meio Ambiente e Território</b>			
<b>Descrição do dado</b>	<b>Oiapoque</b>	<b>Calçoene</b>	<b>Amapá</b>
Área urbanizada (km <sup>2</sup> ) [2019]	7,71	3,36	1,97
Posição de área urbanizada em relação aos outros municípios do estado [2019]	4º	9º	14º

Esgotamento sanitário adequado (%) [2010]	24,8	12,4	33,9%
Área de unidade territorial (km²)[2022]	23.034,392	14.117,297	8.454, 847
Posição em relação ao tamanho territorial em relação a outros municípios do estado [2022]	2º	3º	6º

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Estimativa de capacidade de injeção de CO<sub>2</sub> na Formação Orange

#### 4.1.1 Dados de poço

A análise dos dados seguiu o objetivo de determinar a viabilidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> nos arenitos turbidíticos da Fm. Orange, considerando como fatores de classificação a profundidade do reservatório, porosidade, presença de rochas selantes, espessura do reservatório, continuidade lateral da formação e volume estimado.

O primeiro fator de classificação, profundidade do reservatório, está associado à integridade do reservatório. Informação relevante para compreender se o reservatório está a uma profundidade suficiente, a fim de conseguir evitar o vazamento de volta para a atmosfera por meio da diminuição das forças de fluatibilidade (CACAMA, 2021), que em geral, pode ser obtida a partir de 800 m (MASULINO, 2020).

Este dado pode ser observado na tabela 11, em que encontra-se os valores dos intervalos de ocorrência de óleo e gás nos arenitos turbidíticos, indicados pelo perfil de poço 1-BP-2-APS. A partir desta tabela é possível destacar que o reservatório objeto do presente estudo encontra-se à profundidades à partir de 2.8 km, sendo então um requisito de armazenamento considerado de acordo com o sugerido pela revisão bibliográfica.

**Tab. 11:** Presença de óleo e gás na Fm. Orange a partir do poço 1-BP-2-APS. Modificado de BP Brasil (2001).

Nome do Poço: 1-BP-2-APS			Profundidade: 5157 m				
Intervalos (ms)		Unidade Litoestratigráfica	Litologia	Tipo	Unidade de Gases Totais	Unidade de Gases Pesados	Porosidade (%)
1°	2844 a 2862	Formação Orange	Arenitos turbidíticos	Gás	450	5	20 – 26
2°	3210 a 3359	Formação Orange	Arenitos turbidíticos	Gás	1200	300	20 – 26
3°	4987 a 4994	Formação Orange	Arenitos turbidíticos	Óleo	-	-	19 -30
4°	5007 a 5008	Formação Orange	Arenitos turbidíticos	Óleo	-	-	19
5°	5035 a 5045	Formação Orange	Arenitos turbidíticos	Óleo	-	-	25 - 30

A partir da tabela 11 também pode-se observar o segundo fator de classificação, a porosidade, que está associada à capacidade do reservatório. A relevância dos valores de porosidade no contexto do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, está em considerar os maiores valores (CIOTTA, 2020), atendendo à uma faixa de 20% à 30% (PELISSARI, 2021). Sendo assim, ao observar a tabela 10, identifica-se que com exceção do 4º intervalo, todas as ocorrências de arenitos turbidíticos possuem intervalos de porosidade, à priori, suficientes para o armazenamento.

O terceiro fator de classificação, ligado à integridade do reservatório, é a presença de zonas permeáveis circundantes à rocha reservatório. Sendo assim, o principal objetivo nesta etapa é identificar a presença de rochas que atuem como selantes, à exemplo das rochas argilosas (folhelhos) e as evaporíticas (depósitos salinos) (COSTA, 2023). A rocha selante encontrada no presente estudo foi do tipo argilosa, mais especificamente, o folhelho, que pode ser observado em diferentes intervalos de profundidade na figura 38, identificado com a coloração laranja, circundando o reservatório de arenito turbidítico, com a coloração amarela.

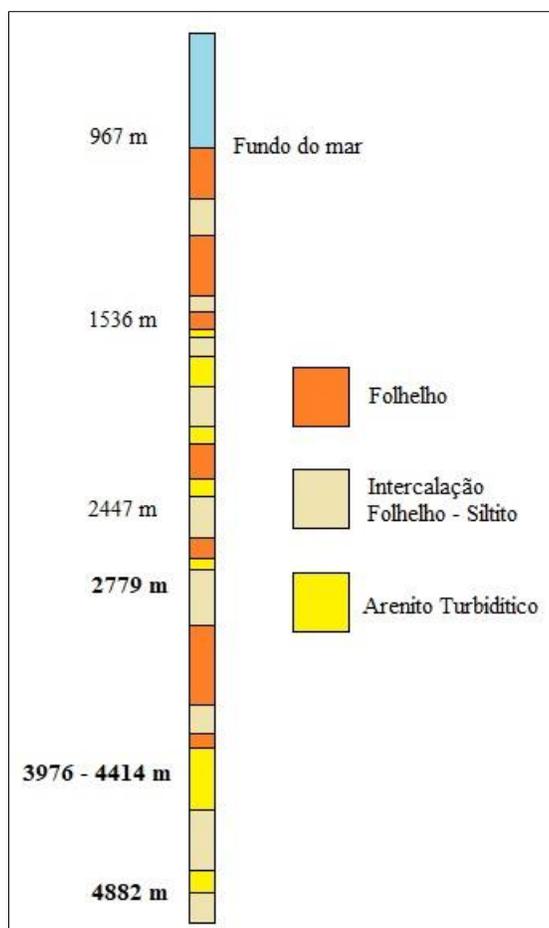
A espessura do reservatório, é o quarto fator de classificação, e assim como a porosidade trata-se de uma relevante dado para a determinação da capacidade do reservatório. A figura 38 indica que a região em que o reservatório possui maior espessura ocorre no intervalo de 3.9 km à 4.4 km de profundidade, totalizando 438 m de espessura. Vale ressaltar que a espessura obtida apenas a partir do perfil de poço representa uma informação local, que abrange o diâmetro do poço, e que precisa ser validada por meio dos dados sísmicos, a fim de identificar a continuidade lateral da formação, para a obtenção da espessura média da formação.

#### 4.1.2 Dados sísmicos

O mensuramento do reservatório utilizando os dados sísmicos iniciou-se com a geração de horizontes sísmicos 2D (Fig. 39), utilizando o método *seed trace*<sup>9</sup>, tendo como base a interpretação primária da BP (anexo I), na linha 15744 da direção *inline*. A seção sísmica interpretada (Fig. 40.b) está dividida em intervalos no tempo geológico, variando do mioceno ao pleistoceno. Além dos horizontes, identificou-se estrutura em anticlinal com fechamento

---

<sup>9</sup>Todos os métodos citados neste capítulo estão descritos no capítulo de materiais e métodos.



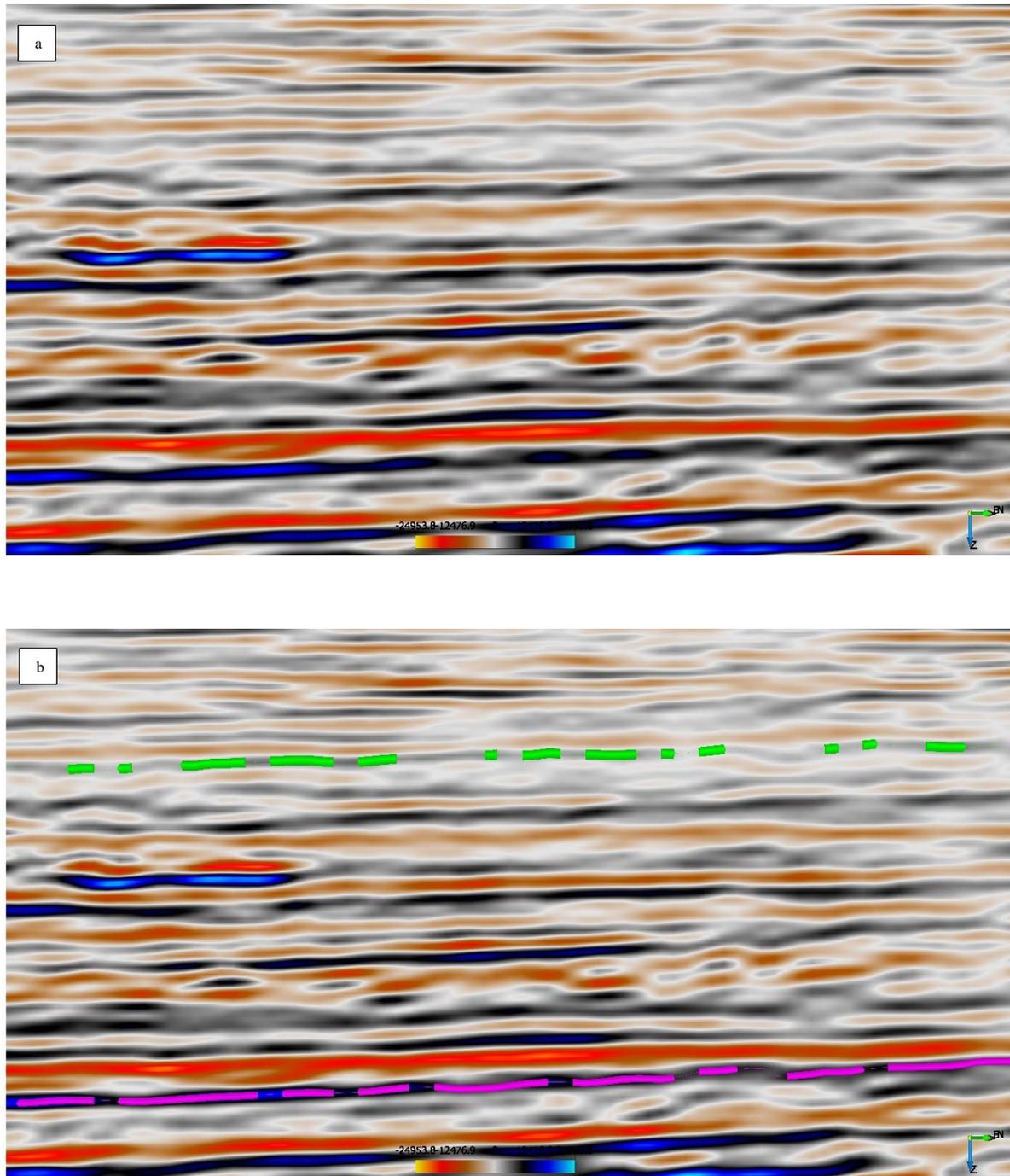
**Fig. 38.** Perfil geológico do poço 1-BP-2-APS. Modificado de BP Brasil (2001).

estrutural quaquaversal, com as falhas normais do dorso da anticlinal atuando como selantes (trapa estrutural), com fechamento no topo do mioceno.

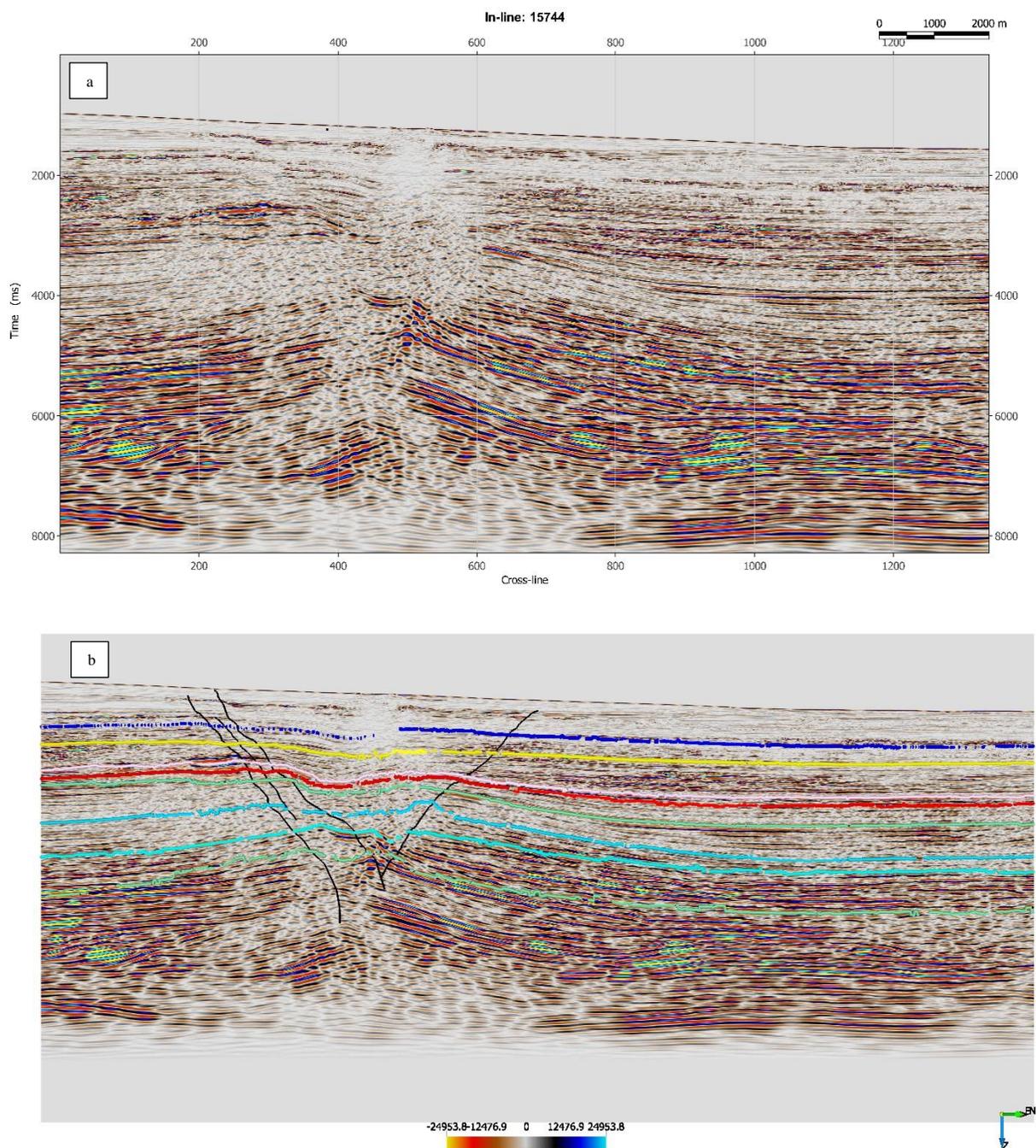
A criação de horizontes 3D ocorre a partir da identificação da continuidade lateral dos horizontes e das falhas em 2D, realizada por meio do método de controle de geometria utilizando o algoritmo *Convex Hull* e distância inversa. O mapeamento dos horizontes (Fig. 40.b) contemplou o mioceno médio (verde), horizonte que detém o reservatório de objetivo secundário, topo do mioceno (verde acqua), plioceno em quatro intervalos: 2.6 Ma (azul claro), 2.2 Ma (verde), reservatório de objetivo principal, plioceno superior (vermelho) e topo 1.65 Ma (rosa), e no mais recente, pleistoceno médio (amarelo) e pleistoceno 0.4 Ma (azul escuro).

No reservatório de arenito turbidítico do plioceno, considerado um objetivo primário, utilizou-se o método *seed trace* nas linhas 1, 751, e 1501 (Fig. 41) na direção *crossline*, para a interpolação e geração do horizonte 3D (Fig. 42). Observou-se que as menores profundidades

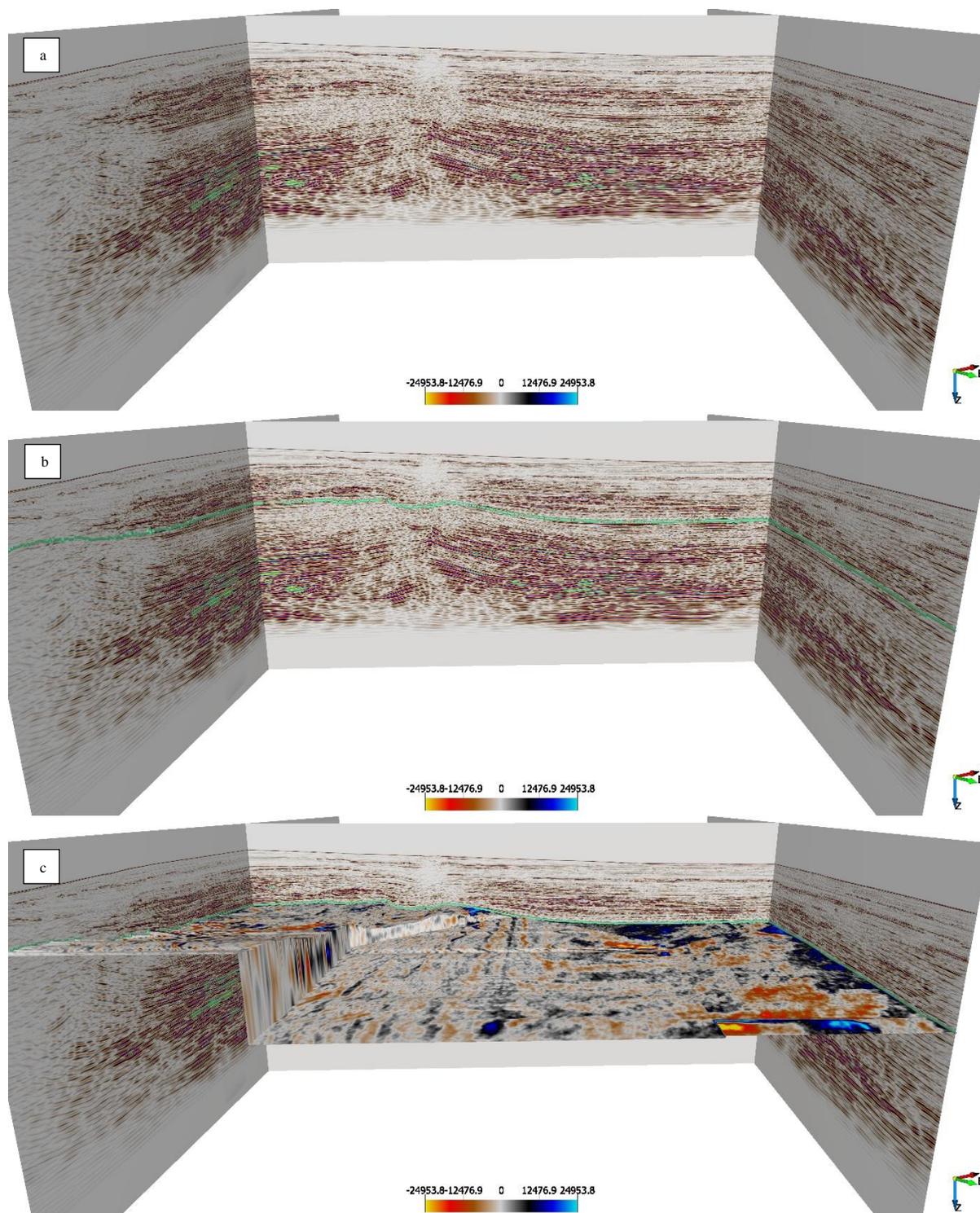
do topo deste reservatório ocorre na porção sul-sudoeste do levantamento sísmico, com tempo mínimo de 2148 ms (Fig. 43). Os maiores tempos ocorrem na porção nordeste-sudeste, com tempo máximo de 4158 ms (Fig. 43). A espessura média entre o topo e a base do reservatório é de 107 m, e o volume total calculado para este reservatório é de 44,372 km<sup>3</sup>.



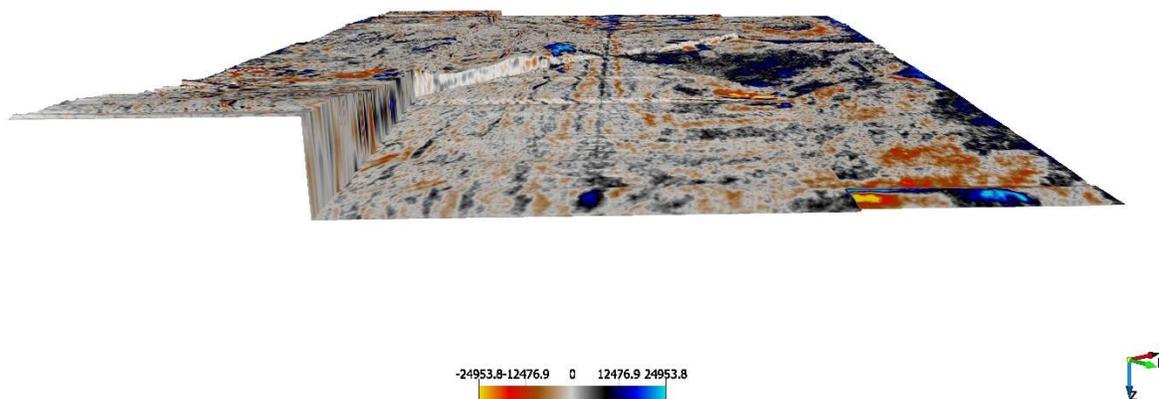
**Fig. 39.** a) Seção sísmica não interpretada. b) Seção sísmica com horizontes delineados com o método *seed trace*.



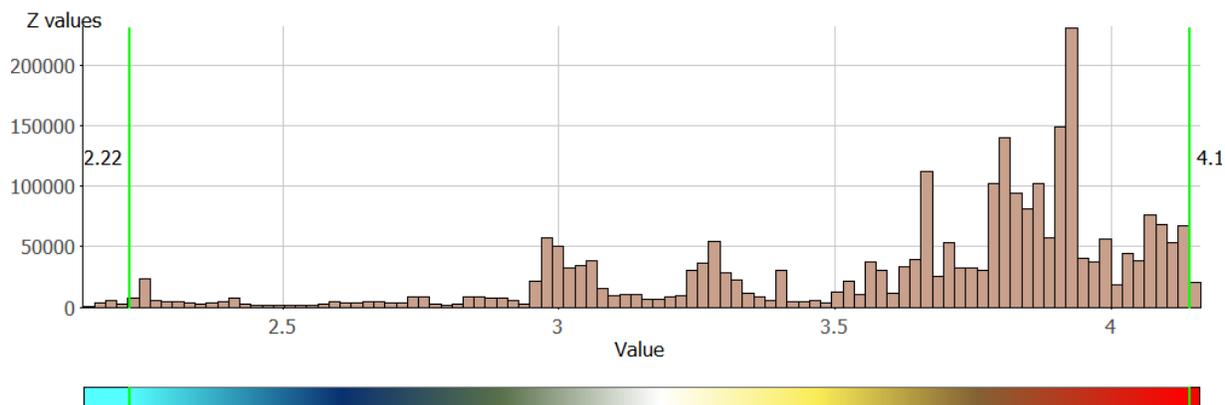
**Fig. 40.** a) Seção sísmica na direção *inline* na posição 15744 não interpretada. b) Seções sísmica com interpretação de baixo para cima, mioceno médio (verde), topo do mioceno (verde acqua), plioceno em quatro intervalos: 2.6 Ma (azul claro), 2.2 Ma (verde), plioceno superior (vermelho) e topo 1.65 Ma (rosa), e no mais recente, pleistoceno médio (amarelo) e pleistoceno 0.4 Ma (azul escuro).



**Fig. 41.** Seções sísmicas na direção *inline* posição 15744, direção *crossline* posição 1 e 1501. a) Seções sísmicas não interpretadas. b) Seções com interpretação 2D do limite superior do reservatório de arenitos turbidíticos do plioceno. c) Horizonte 3D do reservatório.



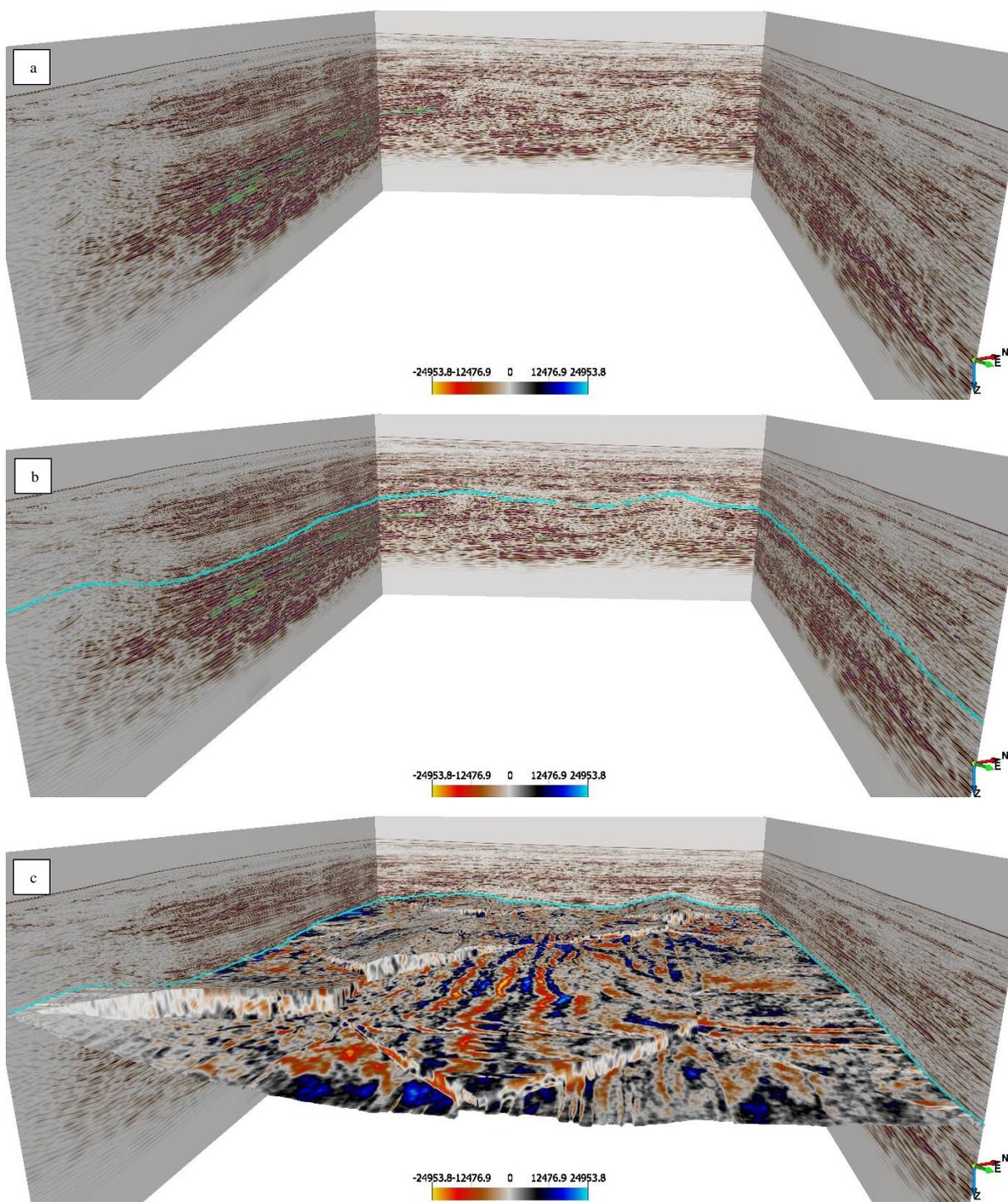
**Fig. 42.** Horizonte sísmico 3D do reservatório de arenito turbidítico do plioceno, objetivo primário.



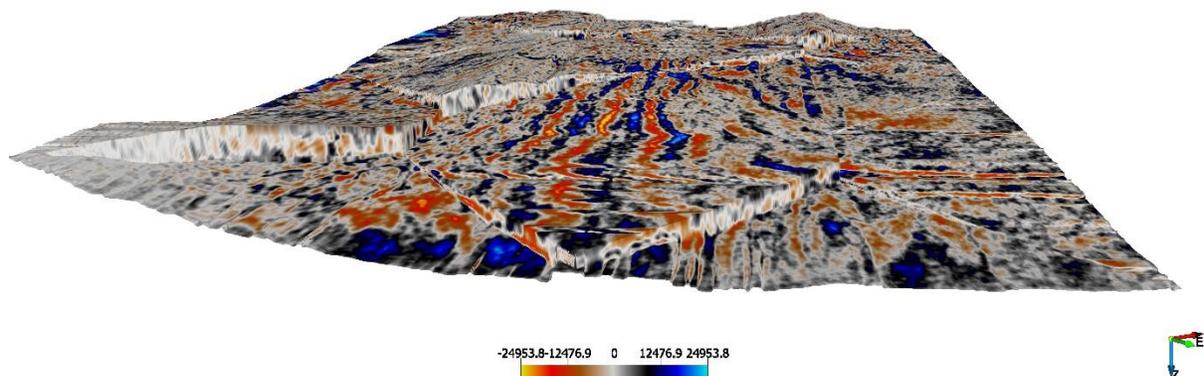
**Fig. 43.** Gráfico de variação de profundidade do reservatório do plioceno, objetivo primário.

O segundo reservatório analisado ocorre a partir do topo do mioceno (Fig. 44 e 45), com menores profundidades ocorrendo na direção sudoeste do levantamento, com tempo mínimo de 3.255 ms (Fig. 46). Os maiores tempos ocorrem à sudeste do levantamento, com tempo máximo de 5.547 ms. O reservatório possui espessura média de 292.38 m, e volume estimado em 115.782 km<sup>3</sup>.

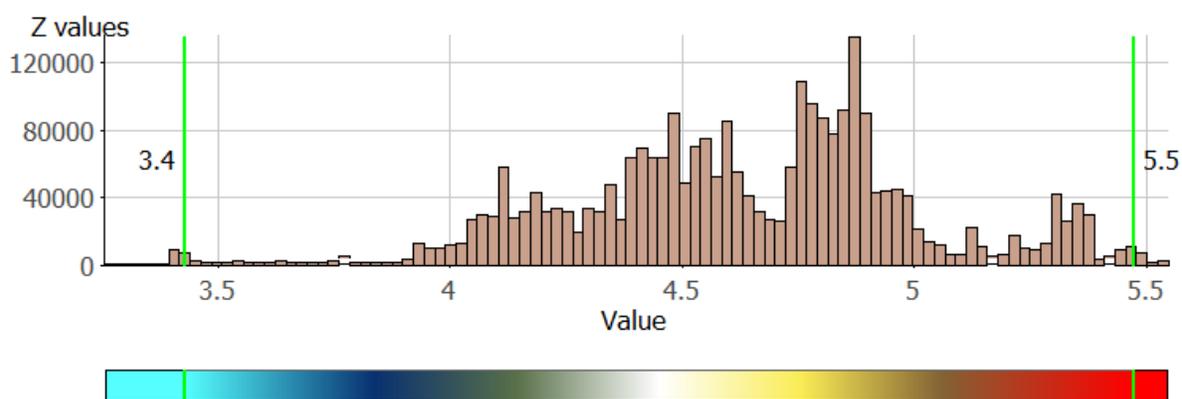
O reservatório do mioceno médio (Fig. 47, 48, e 49), considerado pela BP como objetivo secundário, possui tempo (Fig. 50) mínimo de 3.507 ms, com menores profundidades ocorrendo nas porções sul e sudoeste do levantamento. E menores profundidades ocorrendo nas porções noroeste, nordeste e sudeste do levantamento, com tempo máximo de 6.058 ms. A espessura média do reservatório é de 130.1 m, e o volume calculado é de 51,480 km<sup>3</sup>.



**Fig. 44.** Seções sísmicas na direção *inline* posição 14921, direção *crossline* posição 1 e 1501. a) Seções sísmicas não interpretadas. b) Seções com interpretação 2D do limite superior do reservatório de arenitos turbidíticos do mioceno superior. c) Horizonte 3D do reservatório.

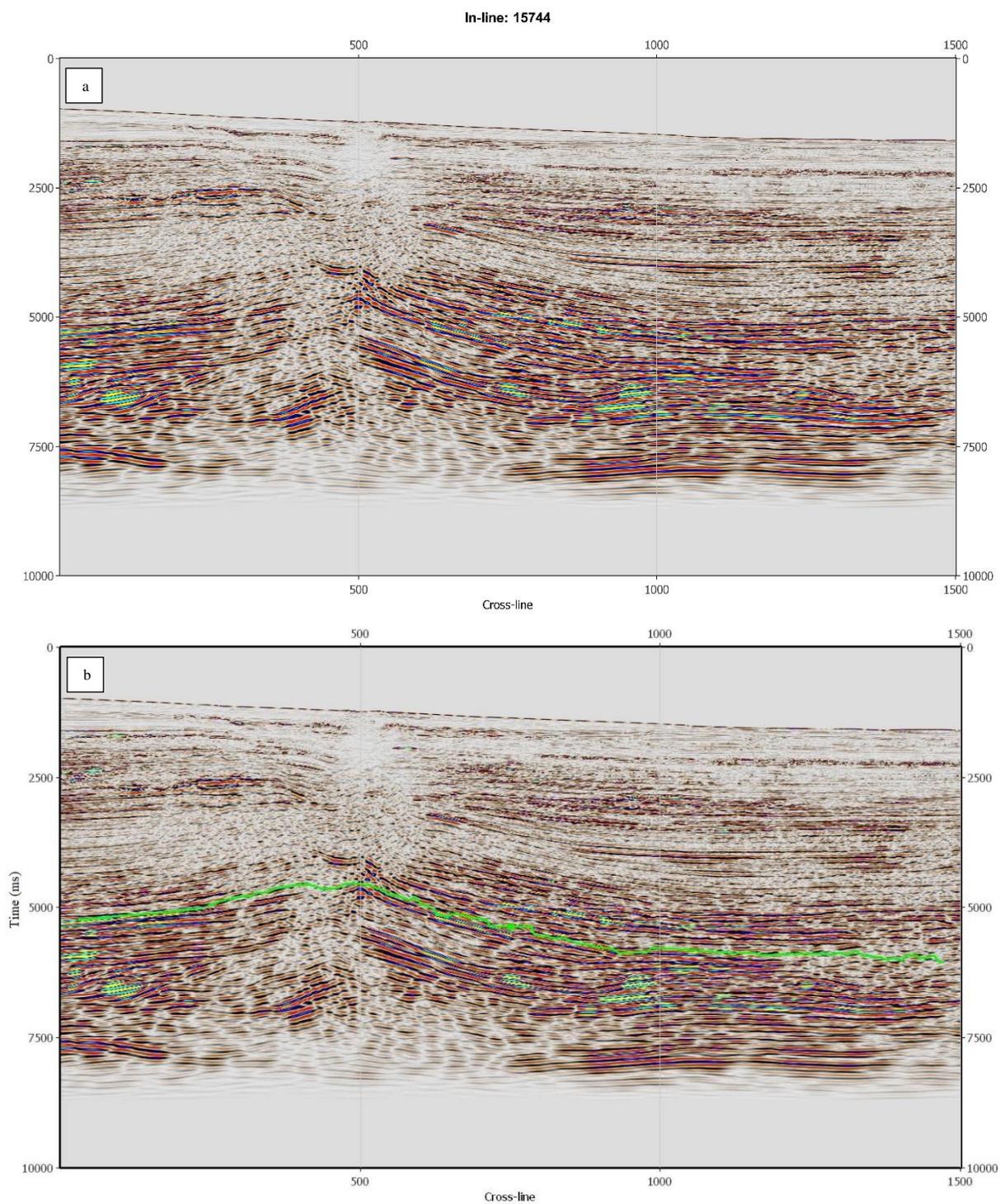


**Fig. 45.** Horizonte sísmico 3D do reservatório de arenito turbidítico do mioceno superior, objetivo primário.

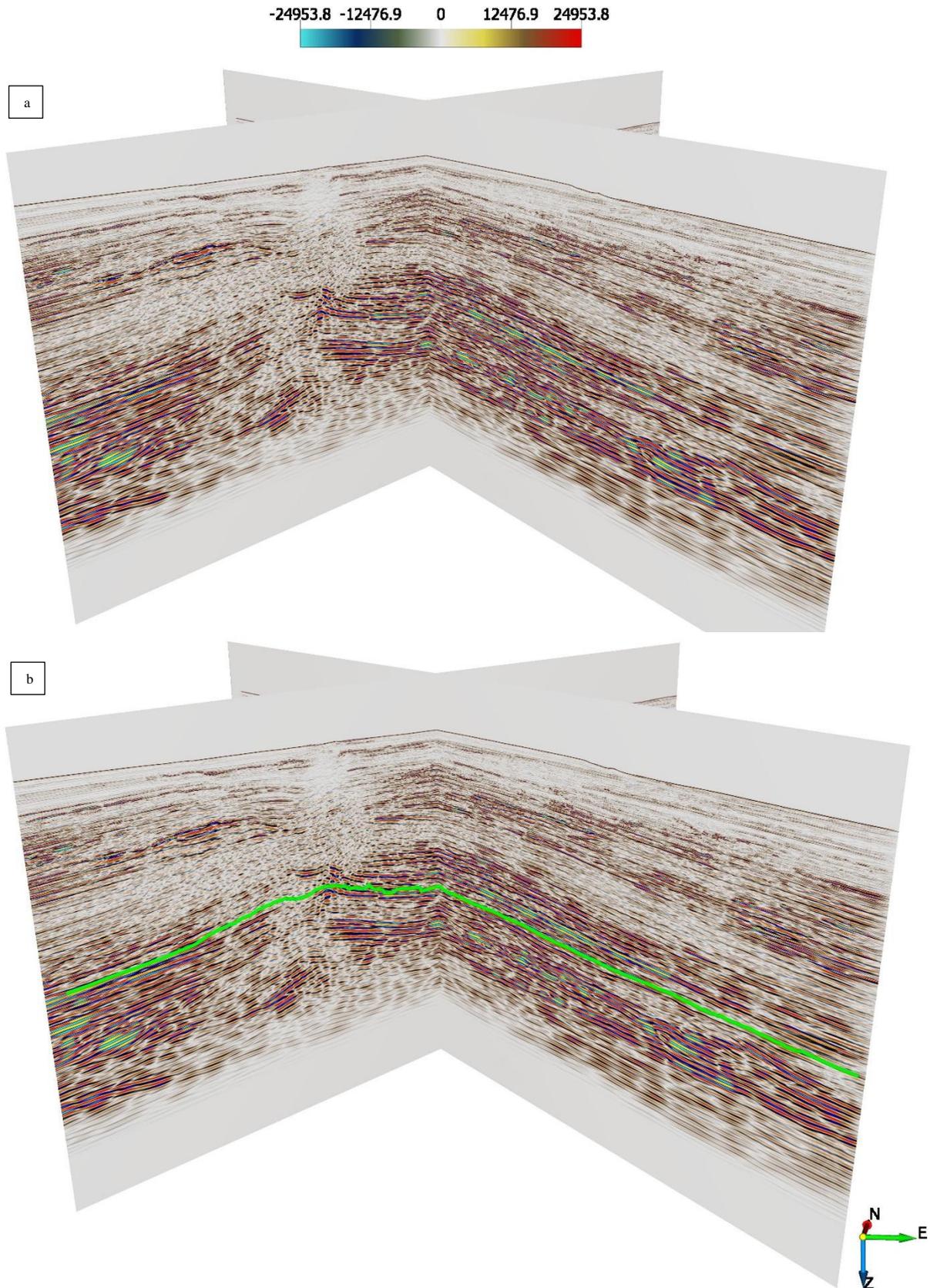


**Fig. 46.** Gráfico de variação de profundidade do reservatório do mioceno superior, objetivo primário.

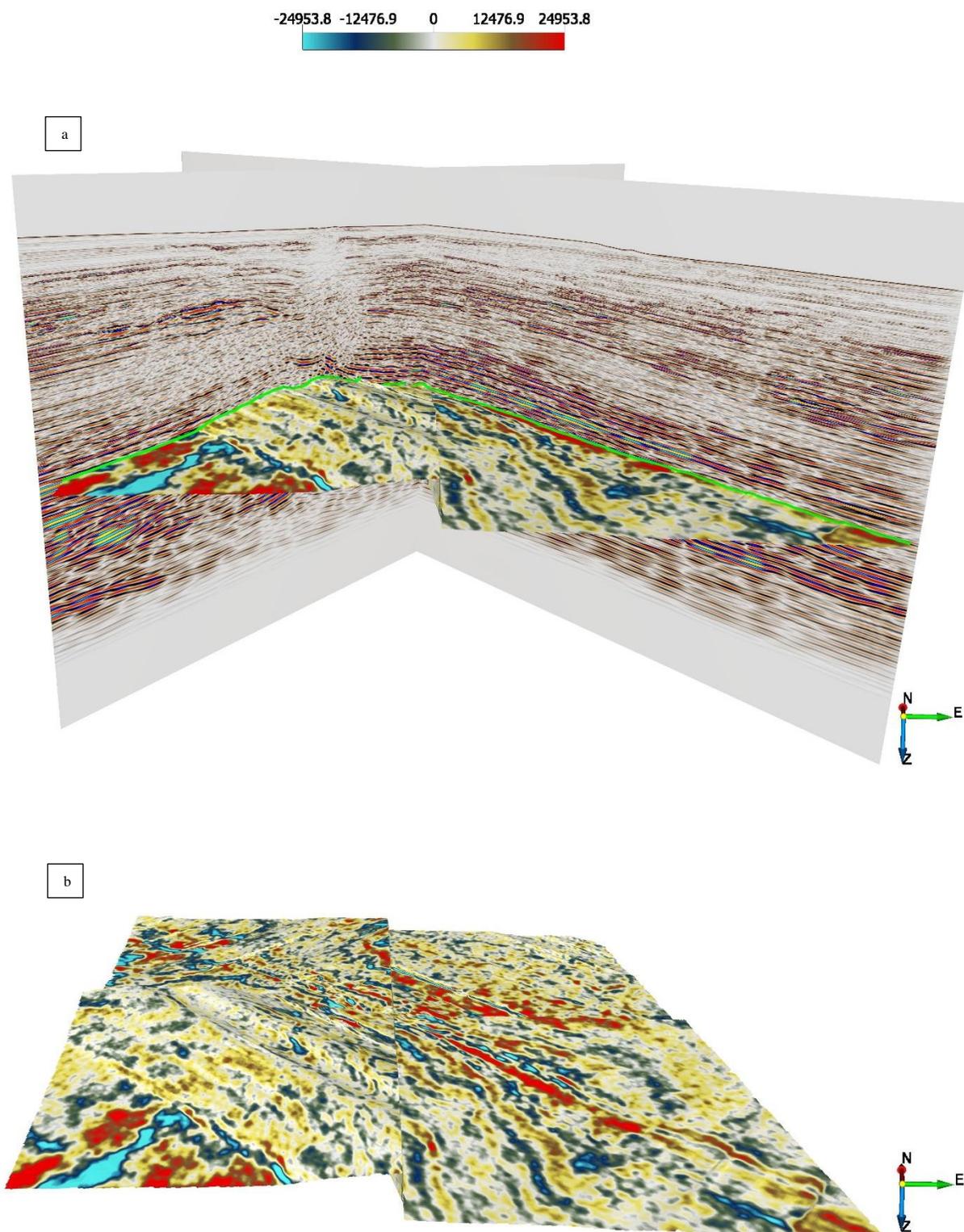
Os reservatórios alvo desta pesquisa possuem correlação com o reservatório da bacia Guiana-Suriname por meio do tipo de litologia, os arenitos turbidíticos, e por meio do período em que esse reservatório foi depositado (Fig. 20). Os arenitos turbidíticos que na bacia Guiana-Suriname se formaram no mioceno, por meio da Formação Pomeroon, e Formação Corentyne.



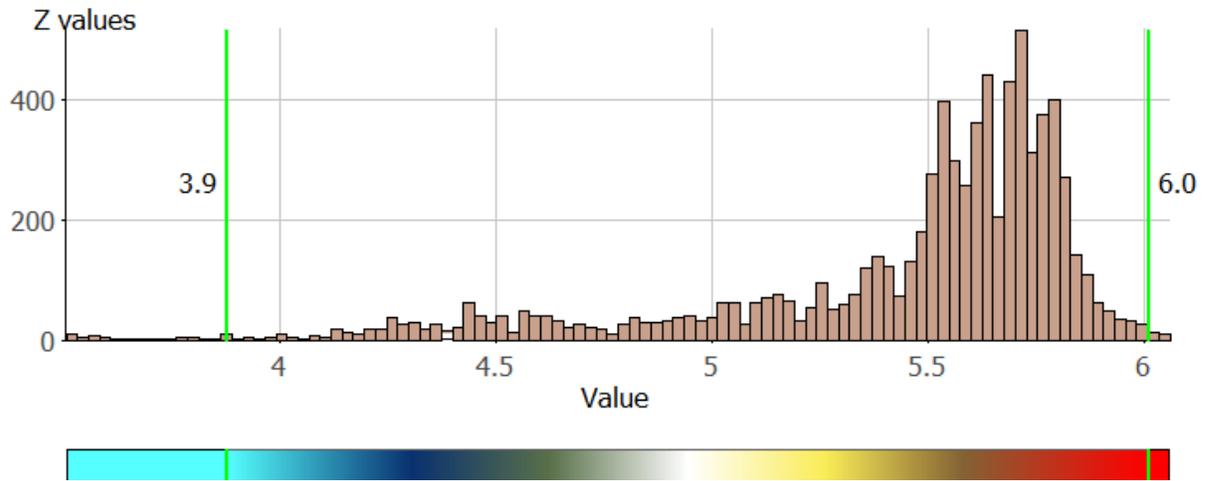
**Fig. 47.** Seção sísmica na direção *inline*, posição 15744. a) Seção original não interpretada. b) Seção original com o topo do reservatório de arenito turbidítico interpretado do mioceno médio, objetivo secundário.



**Fig. 48.** Seção sísmica na direção *inline* e *crossline*, posições 15744 e 759, respectivamente. a) Seções originais não interpretadas. b) Seções originais com o topo do reservatório de arenito turbidítico do mioceno médio interpretado.



**Fig. 49.** Seção sísmica na direção *inline* e *crossline*, posições 15744 e 759, respectivamente. a) Seções originais cruzadas com a superfície 3D do reservatório de arenito turbidítico do mioceno médio. b) Superfície 3D do reservatório.



**Fig. 50.** Gráfico de variação de profundidade do reservatório do mioceno superior, objetivo primário.

## 4.2 ANÁLISE DOS IMPACTOS SOCIOECONOMICOS E MEDIDAS DE MITIGAÇÃO

### 4.2.1 Histórico de exploração e exploração minerária no estado do Amapá

Historicamente, o estado do Amapá possui uma trajetória marcada pela exploração minerária. Essa conexão se origina a partir de 1950, durou mais de 40 anos (DRUMMOND, 2000), e ocorreu por meio da exploração de manganês na Serra do Navio (Fig. 51). Essa exploração recebeu incentivos do governo federal, visando manter o crescimento regional e nacional, e minimizar os efeitos da queda do comércio da borracha (SIMÕES, 2009).

A exploração mineral orientou os processos organizacionais e a estrutura social e regional do Amapá, assim como foi responsável pelo desenvolvimento do estado, a exemplo da construção de estrada de ferro, porto, hidrelétrica, a criação do município de Calçoene (OLIVEIRA, 2010), fazendas, uma mina de cromita, metalurgia, plantio comercial de árvores (dendê, pinheiros tropicais e eucalipto) e indústria de beneficiamento de madeiras (DRUMMOND, 2000).

A atividade de exploração e exploração minerária, conseqüentemente traz impactos ao meio ambiente circundante ao empreendimento, mas também se estende à comunidades distantes (VILHENA, 2014), assim como na exploração e produção de petróleo. Logo, os impactos desse empreendimento de mineração no Amapá não representou apenas desenvolvimento.

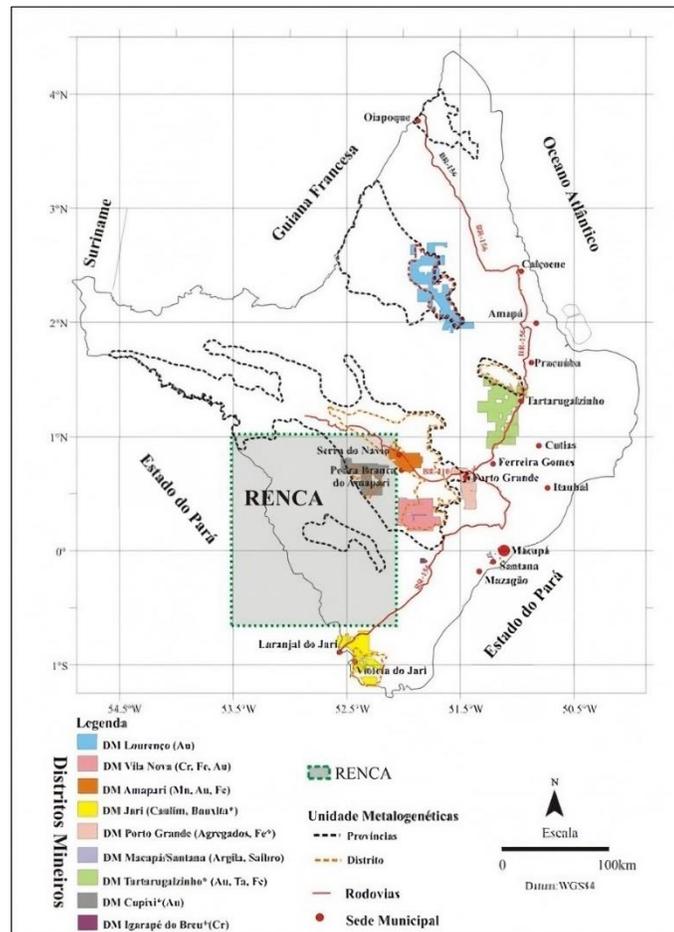
Também foi responsável por desmatamento, levando à perda e dispersão de fauna; escavação de solos; desmonte de morros; erosão; assoreamento de rios; mudanças de curso de pequenos rios; construção de lagoas de deposição; emissão de gases por geradores e veículos; emissão de poeira; disposição final de rejeitos gerados pelo processamento; disposição de minérios de baixo teor e de estéril (DRUMMOND, 2000).

O estabelecimento da mineração na Serra do Navio trouxe ao Amapá novos empreendimentos de mineração, como a lavra da mina de caulim situada na margem esquerda do rio Jari, atualmente município de Laranjal do Jari (AP) (Fig. 52) (MONTEIRO, 2005). E na região de Lourenço (Fig. 52), no município de Calçoene, por meio de dois projetos de extração mineral industrial (VILHENA, 2014).

Até o recente, diversos empreendimentos de mineração se estabeleceram e também encerraram as suas atividades no estado. O encerramento frequentemente é acompanhado de problemas judiciais por descoberta de danos ambientais, problemas trabalhistas, e violência na região de abandono (SIMÕES, 2009).



**Fig. 51.** Mapa de Localização da Serra do Navio (TIRELLO e DA COSTA, 2017).



**Fig. 52.** Distritos mineiros do estado do Amapá (RAUBER e PALHARES, 2022).

Os antecedentes minerários no estado do Amapá mostram que a região possui experiência com a instalação de grandes empreendimentos, e os reflexos da fase de expansão, a exemplo da migração intra-regional, visto que desde 1950, em média 90% dos residentes não nativos do Amapá vieram de dois estados próximos, Pará e Maranhão (DRUMMOND, 2000), e da fase de retração, como o desemprego em massa, queda de receita pública, e a falta de circulação de bens e mercadorias (SIMÕES, 2009).

O estado também experienciou impactos positivos destas mesmas atividades minerárias, como o surgimento do município de Calçoene, já elencado no presente texto e a cidade Serra do Navio, originada a partir de uma vila residencial para os funcionários, planejada pelo arquiteto Oswaldo Bratke, com a construção de escolas, hospital, centro comercial, entre outras instalações (VILHENA, 2014).

Outros benefícios, conquistados em audiência pública e acatado pelas empresas, foram o Fundo de Desenvolvimento Comunitário (FDC) e o Fundo de Desenvolvimento Social (FDS), o primeiro destinado diretamente aos municípios de Pedra Branca do Amapari<sup>10</sup> (65%) (mineração de ouro) e Serra do Navio (35%) (mineração de manganês) e o segundo sob administração do governo do estado, contudo, com aplicação vinculada a apoiar os dois municípios atingidos (OLIVEIRA, 2011).

Esse tipo de compensação pode ser considerado um importante modelo e instrumento de diminuição dos impactos socioeconômicos, e voltará a ser abordado ao longo do texto. A compreensão da importância da mineração para o desenvolvimento urbano e social do estado do Amapá é uma premissa que deve ser utilizada com responsabilidade, avaliando os impactos negativos e os danos<sup>11</sup> oriundos dos mesmos empreendimentos.

Entender que boa parte da população se originou, se desenvolveu e sofreu os impactos positivos e negativos de um sistema baseado em grandes empreendimentos de exploração de recursos naturais, pode favorecer a discussão e o levantamento de medidas de atenuação de

---

<sup>10</sup> Toda a reserva provada e provável de minério de Pedra Branca do Amapari é da ordem de 1,53 milhão de onças de ouro e o teor médio de 2,30 gramas de ouro por tonelada de minério (VILHENA, 2014)

<sup>11</sup> O dano ambiental é um conceito que deve ser interpretado no contexto da sustentabilidade ambiental, social e econômica, pois impacto não necessariamente significa um dano, ao mesmo tempo em que, ocorrendo, faz-se a necessidade de ser reparado ou compensado à sociedade (FENKER, 2011).

impactos negativos, tomando como base que o estado do Amapá como um todo, especialmente Calçoene, é uma região ainda mais vulnerável à implementação de grandes empreendimentos.

#### 4.2.2 Análise da região costeira do Amapá

O conhecimento sobre as características da população da costa do Amapá é imprescindível para o planejamento de ações de diminuição de impactos negativos. Desta forma, iniciando pela análise do quantitativo populacional (Fig. 53), constatou-se que o montante de moradores é de 27.482 no município de Oiapoque, 10.621 em Calçoene e 7.943 habitantes no Amapá (IBGE, 2022).

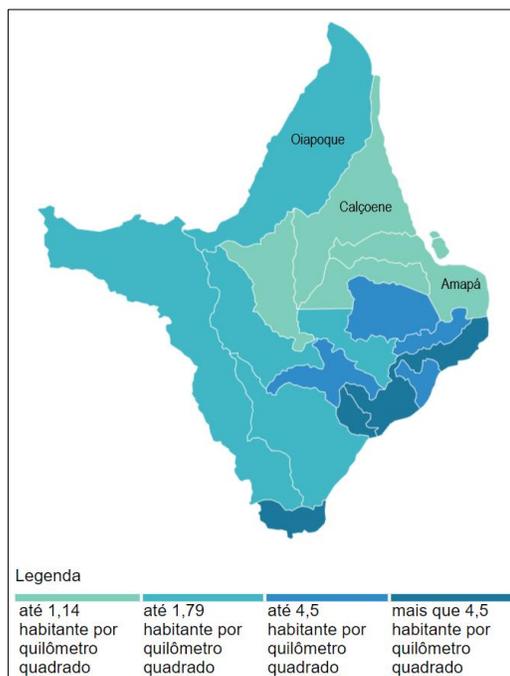
Realizando um paralelo, o somatório de moradores do município de Macaé, antes da instalação do empreendimento de óleo e gás *offshore*, era de 39.802 habitantes em 1970 (JERONYMO et al., 2017). Os dados mais recentes mostram que a população atual de Macaé é de 246.391 habitantes (IBGE, 2022), um crescimento de 619,04%.

O crescimento populacional de Macaé, ocorreu devido a cidade ter sido designada como base logística *onshore* das atividades do pré-sal (SILVA, 2020). É importante destacar que até o presente momento, a base logística divulgada para as atividades referentes à perfuração marítima de poços no bloco FZA-M-59 (BP e Habtec Mott Macdonald, 2018) foi o município de Belém.

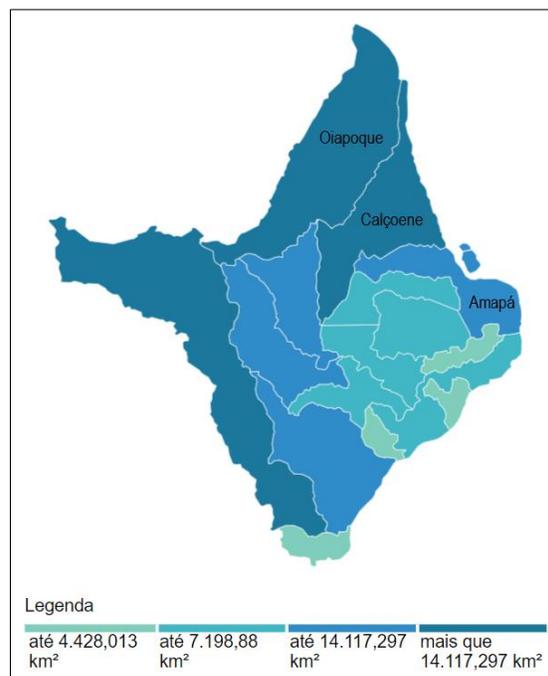
Esta indicação temporária, se concentra nas atividades das fases 1 e 2 da exploração, dedicada ao conjunto de atividades para a identificação, descoberta, avaliação de óleo e gás, e perfuração de poços (MEZA, 2023). Ainda é necessário identificar quais seriam as bases logísticas nas fases de desenvolvimento da produção (avaliação econômica e engenharia da produção/infraestrutura), e operação da produção (mobilização de comissionamento, produção, manutenção, monitoramento de reservatório) (ABREU et al., 2023).

Sendo assim, considerando apenas a taxa de crescimento populacional em Macaé, e a possibilidade de as bases logísticas serem um dos municípios do recorte estudado, em especial o município de Oiapoque que já possui infraestrutura de aeroporto, a projeção indica que em 53 anos o município de Oiapoque comportaria 170.196 habitantes, Calçoene teria cerca de 65.748 habitantes, e Amapá o número de 49.170 pessoas.

Aumentando a densidade demográfica que atualmente em Oiapoque é de 1,19 para 7,38 pessoas por km<sup>2</sup>, em Calçoene de 0,75 para 4,65 habitantes por km<sup>2</sup> e no município de Amapá de 0,94 para 5,82 habitantes por km<sup>2</sup> (Fig. 53). Todos os valores ainda estão abaixo da densidade demográfica atual do Brasil, que é de 23,86 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022).



**Fig. 53.** Mapa de densidade demográfica por município no estado do Amapá, com destaque para os municípios estudados. Modificado de IBGE (2022).



**Fig. 54.** Mapa de área de unidade territorial do estado do Amapá, com destaque para os municípios estudados. Modificado de IBGE (2022).

Isso ocorre devido a extensão dos três municípios (Fig. 54) em relação ao município de Macaé. Em Oiapoque, por exemplo, cabe cerca de 18 vezes o município de Macaé, em Calçoene cabe cerca de 11 vezes, e quase 7 vezes da unidade territorial de Macaé em Amapá. Característica típica dos municípios da Amazônia, as localizações remotas, e a baixa densidade populacional, que convergem para o aumento dos desafios socioeconômicos nestas regiões (DA SILVA CAVALCANTE et al., 2023).

O crescimento populacional não é uma característica específica dos empreendimentos de óleo e gás. A chegada de novos empreendimentos geralmente significou, ao longo da história da Amazônia, a migração de pessoas para a região de interesse. Este fato aconteceu com o município de Santana (AP), base logística da ICOMI (Indústria de Comércio e Minério), empresa responsável pela exploração de manganês na Serra do Navio (SAITO, 2023), e também

com o povoado Boa Vista, hoje chamado de Fordlândia (PA), com a chegada dos projetos de plantio de borracha na Amazônia, por meio do projeto Ford na Amazônia (BESEN, 2023).

O aumento de densidade demográfica contempla um paradoxo, pois, pode implicar diretamente na melhor utilização e maximização da infraestrutura e do solo urbano (SILVA, 2023), e ainda, ser uma fonte de oportunidades para o desenvolvimento econômico das cidades de destino (BUSSO et al., 2023), mas também indica que ao ocorrer acima do planejado podem ser criados problemas de congestão, saturação das redes de infraestrutura e ineficiência urbanas (SILVA, 2023).

Isso indica que o aumento populacional, quando é desenfreado, deve ser mitigado. Para isso, é necessário entender as frentes de atuação da população residente no mercado de trabalho e as demandas do empreendimento, afim de que, haja um alinhamento que permita a diminuição da necessidade de mão de obra externa ao estado.

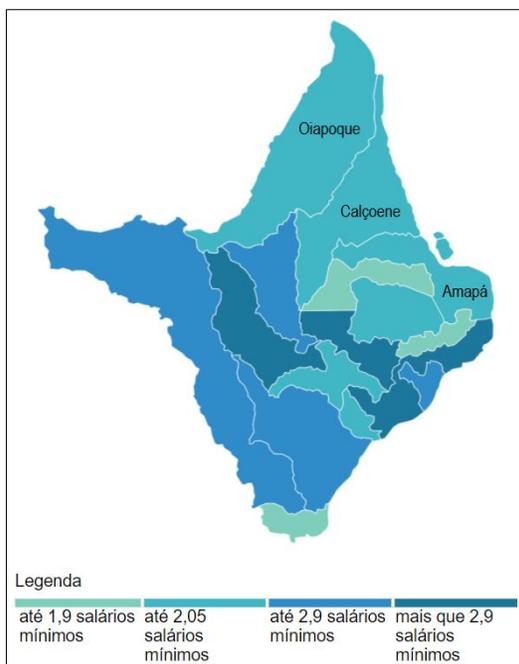
A prévia disponibilização dessas demandas pode contribuir para que haja um planejamento. A priori, insumos relacionados aos Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) como óculos de proteção, capacetes, luvas, botas, protetores auriculares, macacão retardante ao fogo, além de material de vedação, provavelmente serão utilizados pelo empreendimento. Serviços de inspeção, certificação, engenharia e construção civil, reparo, montagem e transporte, também podem ser necessários.

Além do quantitativo populacional e territorial, outros fatores precisam ser levados em consideração para o reconhecimento da população afetada. O salário médio mensal (Fig. 55), por exemplo, é cerca de dois salários mínimos, e a quantidade de pessoal ocupado é de menos de 7% nos três municípios; e mais de 95% das crianças entre 6 e 14 anos estão matriculados na escola (Fig. 56).

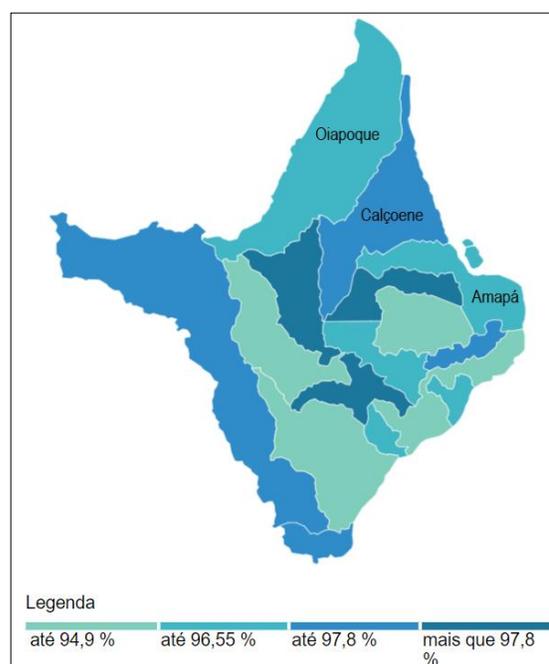
Na área da saúde, Oiapoque se destaca negativamente com quase 20 óbitos de crianças a cada mil nascidos vivos (Fig. 57). Na urbanização, os dados do IBGE indicaram baixa taxa de urbanização, e de esgotamento sanitário adequado (Fig. 58).

Estes dados demonstram um traço importante da região costeira do Amapá, a vulnerabilidade social, que historicamente se origina com a implementação dos empreendimentos minerário e prossegue ao longo da história. Diante desse cenário, outro fator

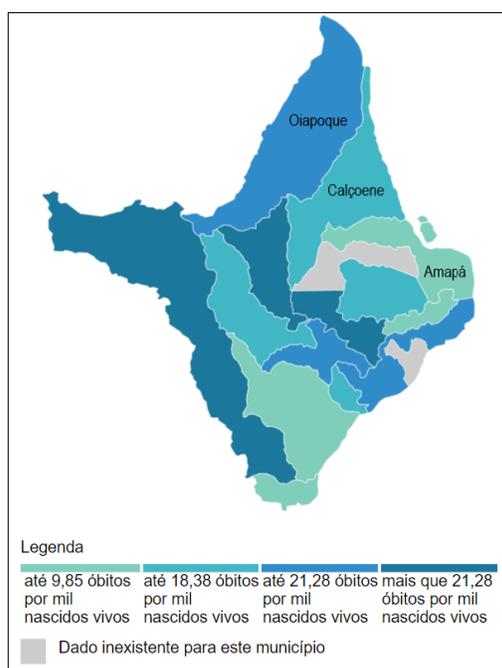
importante pode contribuir para a diminuição dessa vulnerabilidade, os *royalties*, que podem representar um significativo aumento das receitas federal, estadual e municipal, principalmente das regiões produtoras (MATTOS et al, 2019), mas que só se converterão em benefícios para a população com planejamento adequado.



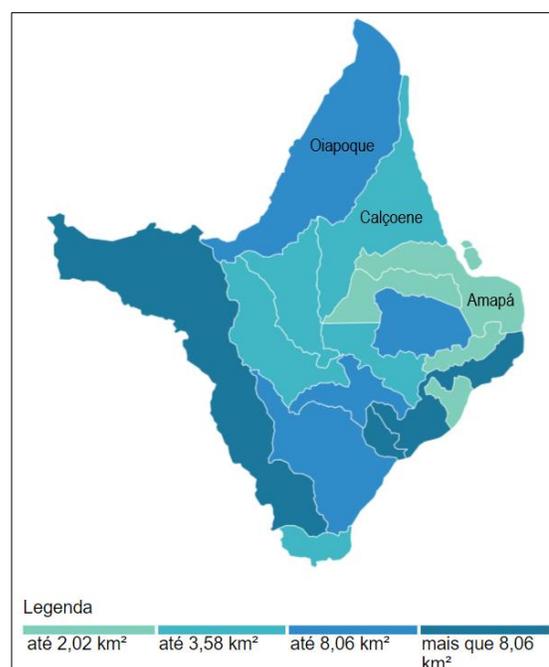
**Fig. 55.** Mapa de salário médio mensal dos trabalhadores formais. Modificado de IBGE (2022).



**Fig. 56.** Mapa de taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade. Modificado de IBGE (2022).



**Fig. 57.** Mapa de mortalidade infantil. Modificado de IBGE (2022).



**Fig. 58.** Mapa de área urbanizada. Modificado de IBGE (2022).

Em 2020, o estado do Pará foi o maior arrecadador da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais do Brasil – CFEM, por meio dos municípios de Parauapebas e Canaã dos Carajás (DE ALMEIDA et al., 2022). Entretanto, o município de Parauapebas apresenta alta taxa de pobreza, desigualdade, violência crescente, com 50% de sua população inscrita no CadÚnico (27 mil famílias, em 2020), com um terço de sua população com renda de até 1,5 salários mínimos, e registra uma taxa crescente de 54 homicídios para cada mil habitantes, 64% acima da média estadual, o que revela uma elevada situação de vulnerabilidade (BARCELOS et al., 2023).

Esses dados ratificam a falta de correlação da presença de *royalties* e a melhora nos índices de desenvolvimento humano. Uma alternativa que pode ser considerada no contexto de distribuição desses *royalties* é a Renda Básica Cidadã (RBC), uma política pública voltada ao combate da extrema pobreza e desigualdades, implantada no município carioca de Maricá, que associa a renda básica a uma lógica de integração da população local com a economia da cidade, por meio da moeda social chamada Mumbuca (DIAS et al., 2022).

Maricá possui localização próxima do Campo de Tupi, e a prefeitura decidiu destinar as receitas oriundas de recursos naturais para um conjunto de políticas sociais. Além do programa de RBC, as iniciativas incluem contas de poupança para estudantes do ensino público, transporte público gratuito, grandes investimentos em infraestrutura e um fundo soberano que garante rendimentos para financiar outros programas sociais (WALTENBERG e KATZ, 2023).

A moeda social Mumbuca representa uma ferramenta de enfrentamento à baixa produção local, pouca geração de empregos e o fato de Maricá ser uma “cidade dormitório”. A boa aceitação do programa pela população e pelo comércio local (NATAL, 2022) é um relevante indicativo da aplicabilidade deste tipo de política. Além de Maricá, a RBC foi implementada como projeto piloto em vilas no estado indiano de Madhya Pradesh, e adotado como programa pelo estado norte-americano do Alasca (DIAS, 2022).

A RBC nos municípios de Oiapoque, Calçoene e Amapá pode ser bem desenvolvido, levando em consideração a baixa densidade demográfica deste municípios, fator que diminui a complexidade de implementação desta política. E deve ser levada em consideração pelos tomadores de decisão dos municípios.

Outro impacto socioeconômico que poderia ocorrer seria na atividade pesqueira. Os municípios estudados são responsáveis por desembarcar 78% da produção total da pesca costeira, que tem média anual de 5.400 toneladas, e a maioria das casas possuem entre 2 e 5 moradores dependentes da pesca em todos os municípios.

Entretanto, as previsões feitas pela BP e Habtec Mott Macdonald (2018) indicam que a atividade pesqueira não será impactada pelo empreendimento devido a localização de exploração e produção estar fora da zona de pesca mapeada, visto que o foco das empresas petrolíferas na bacia Foz do Amazonas é a região de águas profundas e ultraprofundas.

A geração de novas fontes de energia no Amapá pode representar um importante avanço para a região. Pois sabe-se que em novembro de 2020, durante a pandemia da Covid 19, o estado sofreu um lamentável acontecimento intitulado “Apagão do Amapá”. Em que milhares de pessoas ficaram 21 dias sem energia elétrica e, conseqüentemente, sem água potável, sem telefone, sem internet e sem gasolina nos postos de gasolina (CARVALHO et al., 2021).

Esses danos incalculáveis foram causados por um incêndio em uma subestação localizada em Macapá-AP (MELO et al., 2021), e pela falta de diversificação da matriz elétrica do Amapá. O Amapá é abastecido pelas hidrelétricas Coaracy Nunes e Ferreira Gomes, e durante o incêndio, elas sofreram interrupção junto com as linhas de transmissão. Sabe-se que além do evento de incêndio, as hidrelétricas são uma espécie de fonte intermitente (ALENCAR et al., 2018) que sofrem em épocas de seca, elevando o preço da energia elétrica.

Muitas vezes, as termelétricas são acionadas para dar suporte em épocas de estiagem e em acidentes como o ocorrido em 2020. Antes do apagão, o Amapá sofria com perdas de energia elétrica, devido ao uso ineficiente ou irregular de energia elétrica. Durante a década de 1990, o Amapá passou por um forte processo em que a demanda por energia elétrica era muito superior à sua capacidade de geração, produzindo sucessivos apagões (ARNALDO FILHO, 2010).

Para solucionar o problema de fornecimento de energia elétrica no litoral norte do Amapá, foram instaladas duas termelétricas nos municípios de Oiapoque e Calçoene. O sistema de abastecimento do Oiapoque é híbrido, além da termelétrica conta também com sistema solar fotovoltaico, que será desativada quando houver a entrada em operação da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Salto Cafesoca (MME e EPE, 2018). Já o sistema de Calçoene é dependente

de termelétricas, que são abastecidas com óleo diesel, e que são interrompidos quando há falta de combustível (VIANA et al., 2017).

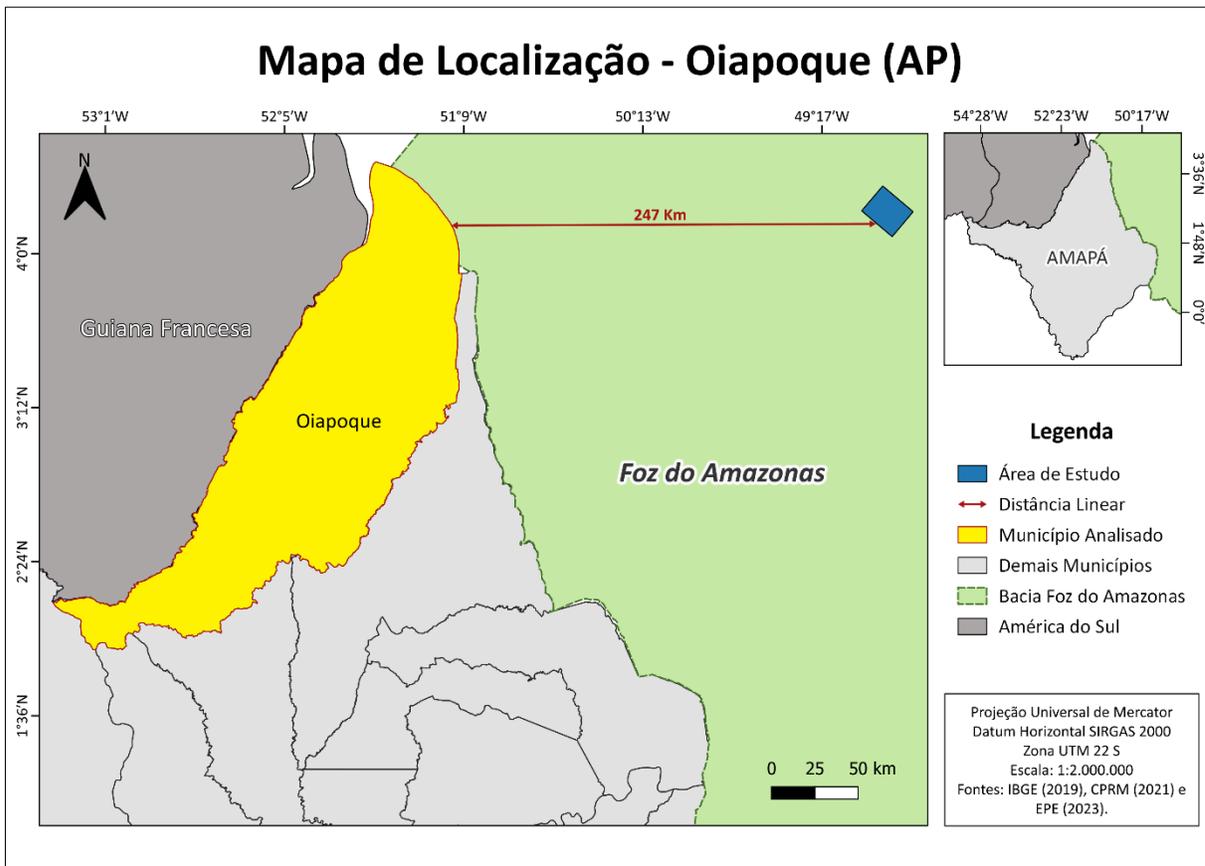
Esse cenário, exige um aumento na capacidade de geração de energia elétrica a partir da matriz termelétrica (ARNALDO FILHO, 2010). No Brasil, os combustíveis utilizados para gerar energia nas termelétricas são o gás natural, o petróleo e derivados e o carvão. O gás natural é um dos mais utilizados porque possui alto poder calorífico e, quando queimado, apresenta baixos níveis de emissão de poluentes, comparado a outros combustíveis fósseis.

Em caso de vazamentos, apresenta rápida dispersão, com baixos índices de odor e contaminantes (DA SILVA, 2015). O último fator analisado é a alta dependência criada em torno do empreendimento, que torna a fase de retração uma etapa que está associada à concentração de novas formas de pobreza e precariedade, aumento da marginalidade urbana e da violência, crescimento incontrolável de assentamentos irregulares e aumento da prostituição (BORBA e SILVA NETO, 2008).

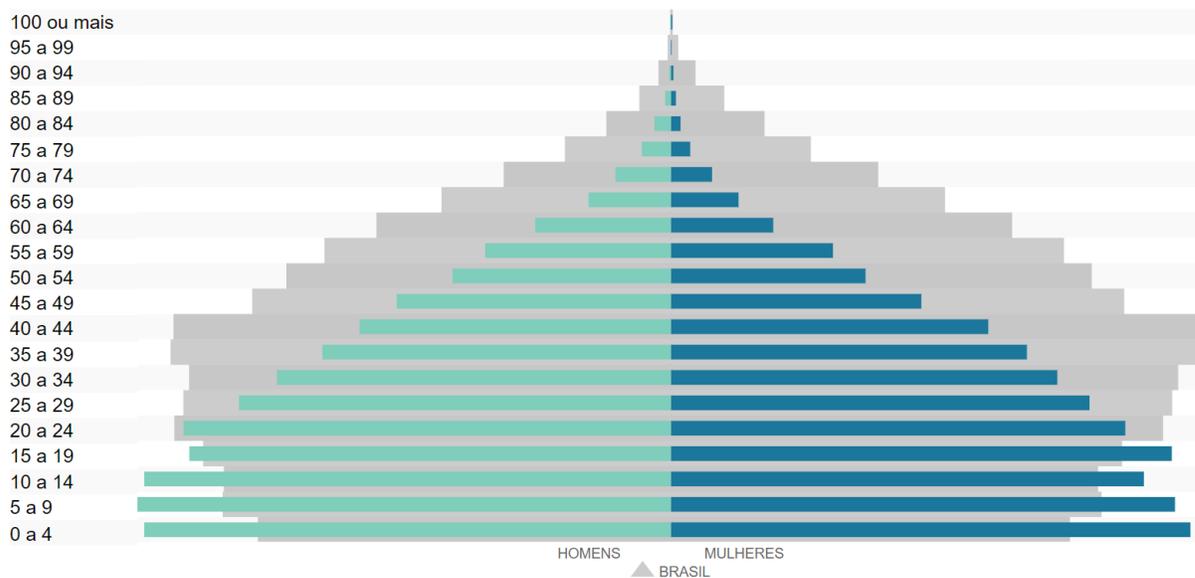
Para isso, sugere-se que exista dentro do planejamento, o uso de *royalties* para o desenvolvimento de outras áreas por meio da diversificação socioeconômica, como o turismo da região (ZICKWOLFF et al., 2021), método aplicado em Macaé. Além disso, é importante levar em consideração o desenvolvimento dos municípios para as atividades já existentes, como a pesca artesanal, o plantio de mandioca, milho, cupuaçú, arroz, feijão, soja, grãos, criação de bovinos e bubalinos, aquicultura e comércio de rochas ornamentais (MME e EPE, 2018).

### **4.2.3 Oiapoque**

O município Oiapoque localiza-se no extremo norte do Amapá, limitado ao norte pela Guiana Francesa, ao sul pelos municípios amapaenses Serra do Navio, Calçoene e Pedra Branca do Amapari (RAMOS et al., 2014) e dista 247 km do levantamento sísmico estudado (Fig. 59). Entre os municípios do estado Amapá, Oiapoque deverá ser o mais beneficiado com a política de distribuição de *royalties* (MATTOS et al., 2019), levando à sua população, que possui pirâmide etária (Fig. 60) baseada em crianças e adolescentes, a possibilidade de deter uma ferramenta responsável pelo seu desenvolvimento.



**Fig. 59.** Mapa de localização do município Oiapoque com a distância entre o município e o levantamento.

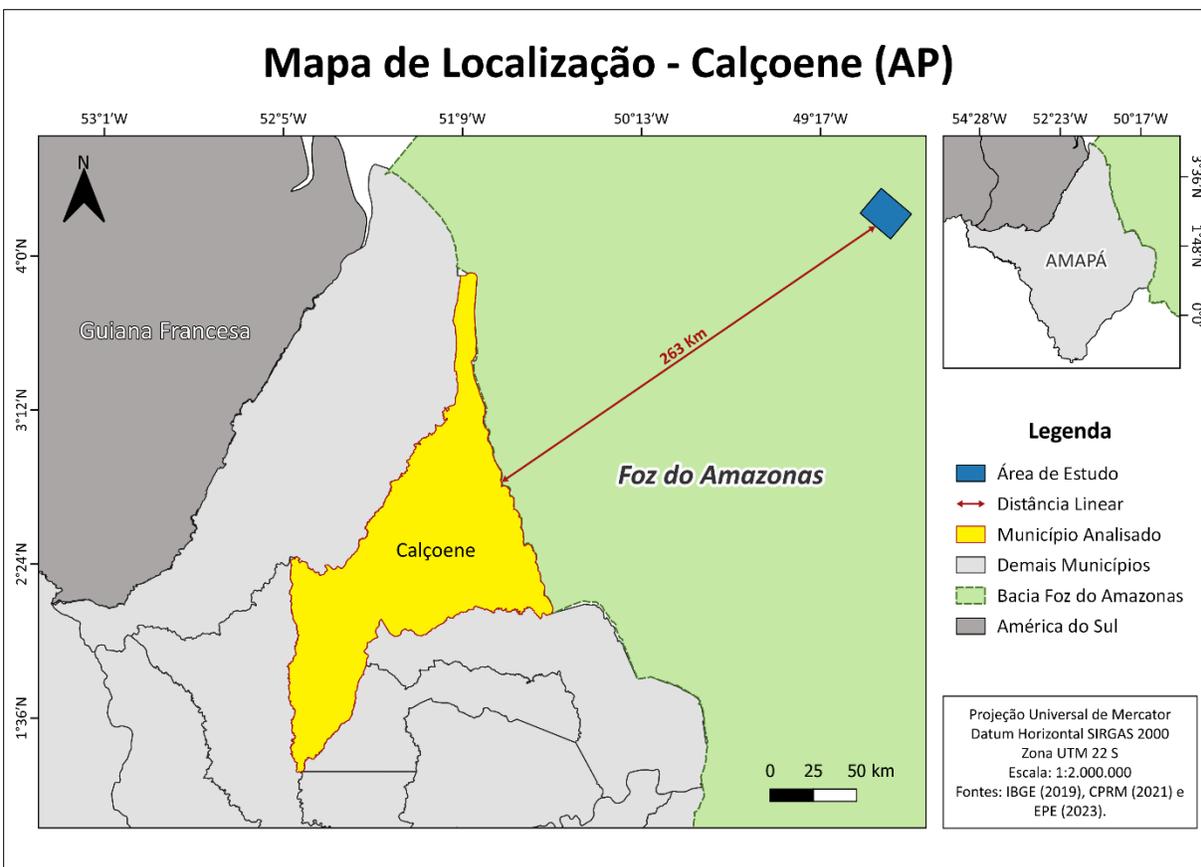


**Fig. 60.** Pirâmide etária do município Oiapoque. IBGE (2022).

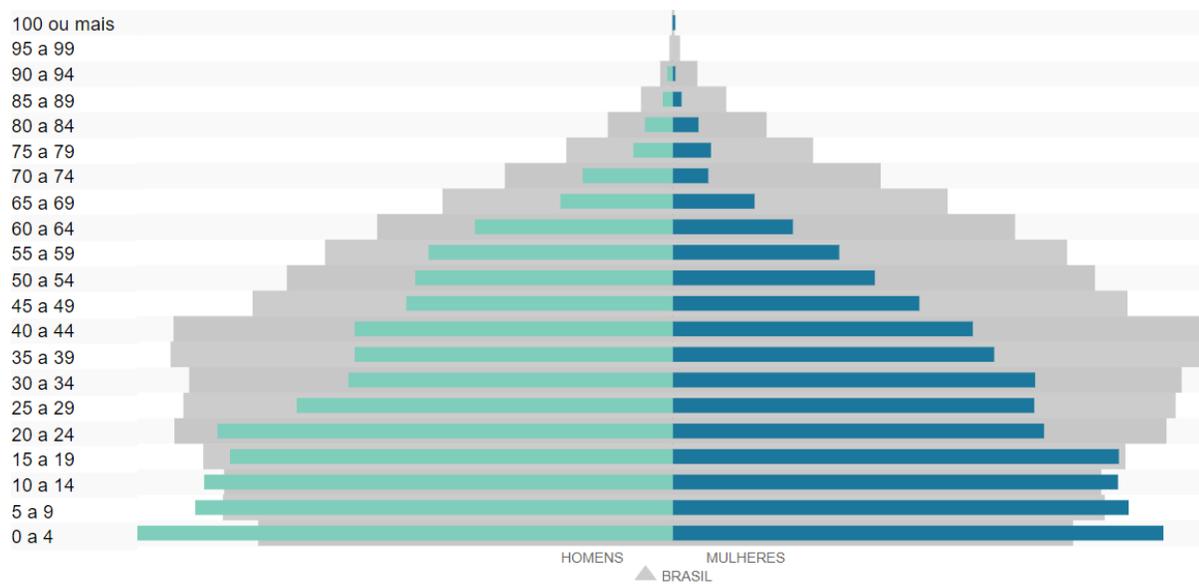
#### 4.2.4 Calçoene

O município localiza-se na porção norte do estado do Amapá, limitado pelo oceano atlântico a norte e leste, Amapá e Pracuuba a sudeste, Serra do Navio a oeste e Oiapoque a noroeste, entre as coordenadas  $02^{\circ}29' 52''$  N e  $50^{\circ} 56' 56''$  W (Fig. 61), localizado às margens do rio Calçoene, que deságua no Oceano Atlântico com distância de aproximadamente 364km da capital Macapá (ZACARDI et al., 2016), distando 263 km do levantamento sísmico.

Assim como Oiapoque, Calçoene possui como base de sua pirâmide etária crianças, principalmente de 0 a 4 anos (Fig. 62). É um município conhecido por “cidade da chuva”, e das “pedras famosas” (DA SILVA, 2016) devido os sítios arqueológicos que circundam a região, e que são objetos de comercialização.



**Fig. 61.** Mapa de localização do município Calçoene com a distância entre o município e o levantamento.

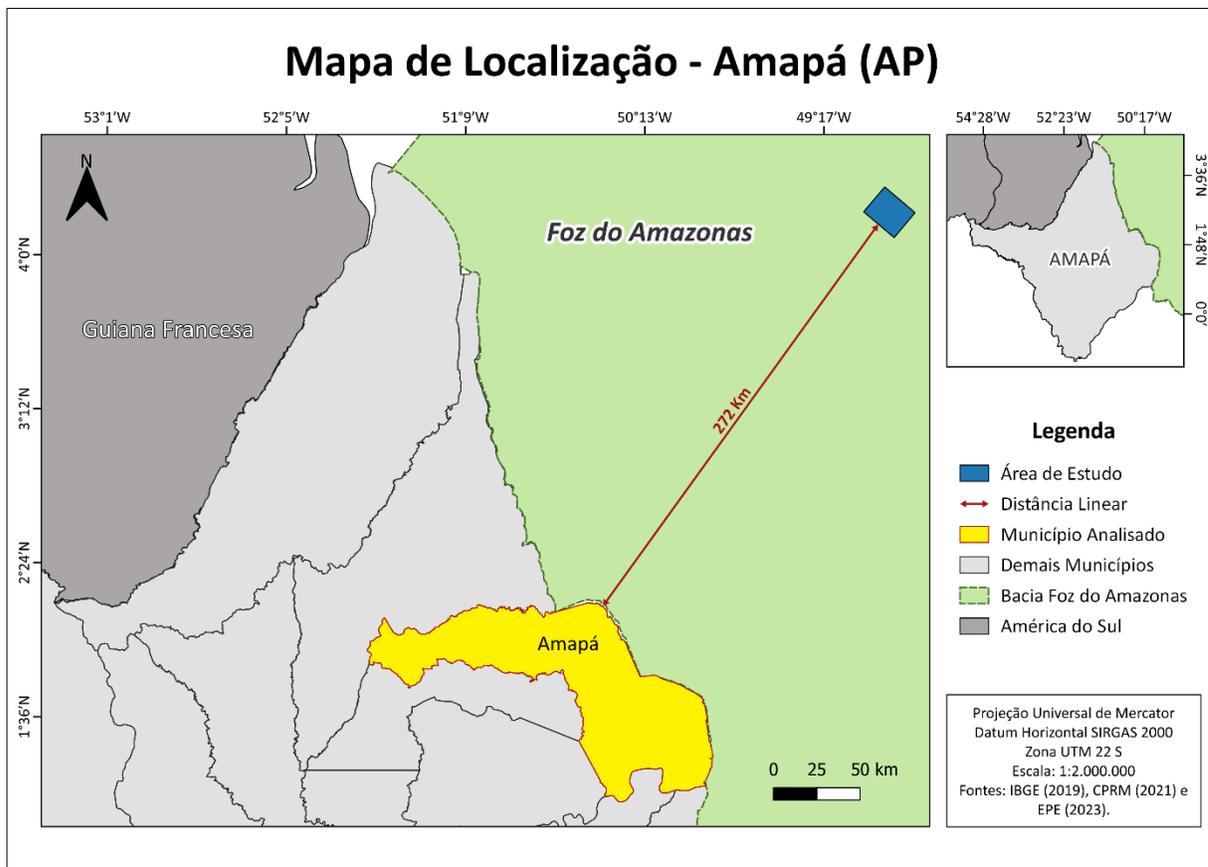


**Fig. 62.** Pirâmide etária do município Calçoene. IBGE (2022).

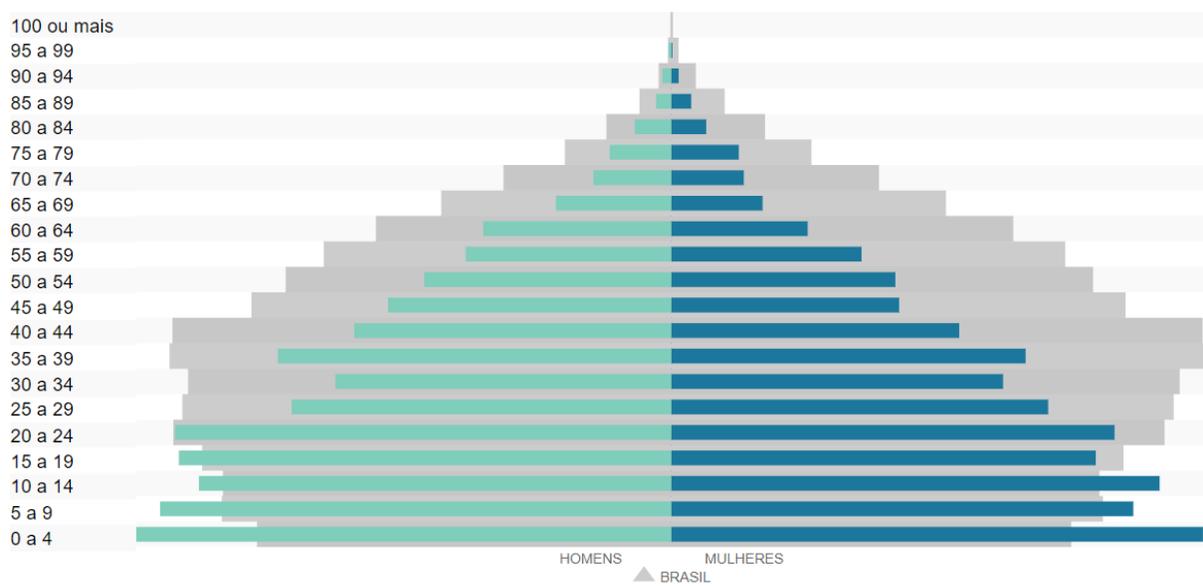
#### 4.2.5 Amapá

O Amapá, município homônimo ao estado em que está localizado, Amapá, possui como limites a norte e leste o Oceano Atlântico, Macapá e Cutias a sul, Tartarugalzinho e Pracuuba a sudoeste e Calçoene a oeste e noroeste, possui coordenadas 2°03'10" N e 50°47'34"O. Dista 272 km do levantamento sísmico (Fig. 63). E possui como base de sua pirâmide etária crianças de 0 a 9 anos, e adultos de 19 a 24 anos (Fig. 64).

O Amapá foi a primeira capital do atual Estado do Amapá, e possui protagonismo altamente relevante na história de resistência do Brasil, contra a ocupação pela França e pela participação brasileira na segunda grande guerra mundial. E pelos conflitos que ocorreram a partir de 1894, quando se deu a descoberta de ouro no Rio Calçoene, motivando ainda mais a presença de europeus e norte-americanos que se instalavam às cabeceiras do rio (MELEM et al., 2021).



**Fig. 63.** Mapa de localização do município Calçoene com a distância entre o município e o levantamento.



**Fig. 64.** Pirâmide etária do município Amapá. IBGE (2022).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial de injeção e a mitigação de impactos socioeconômicos na Bacia Foz do Amazonas, analisado na presente dissertação, contribui para a pesquisa socioeconômica e energética na Margem Equatorial Amazônica. Os resultados obtidos podem trazer discussões significativas para um desenvolvimento mais sustentável na região, oferecendo informações importantes para estratégias de gestão e políticas ambientais.

Além disso, a abordagem integrada da pesquisa, unindo geologia, geofísica e considerações socioeconômicas, destaca-se como uma contribuição multifacetada para a compreensão dos desafios e oportunidades associados à exploração de recursos petrolíferos na bacia. Posicionando-se como um modelo de como diferentes disciplinas podem convergir para fornecer uma compreensão mais completa e sistemática.

A interseção entre geociências e os aspectos socioeconômicos demonstra a importância de uma abordagem interdisciplinar na pesquisa científica, oferecendo soluções mais práticas e robustas para os desafios contemporâneos. Tornando possível a aproximação do conhecimento técnico dos pesquisadores à responsabilidade dos reais impactos da sua pesquisa.

No contexto geológico e geofísico, este estudo pode representar um *start point* para profissionais e pesquisadores da indústria do petróleo, ou da área de CCS, que desejem compreender a gênese, geologia estrutural, estratigrafia, o sistema petrolífero da Formação Orange, e a ocorrência dos arenitos turbidíticos da porção da bacia estudada, por meio dos dados sísmicos e de poços.

Em um cenário de exploração e produção de petróleo, esta pesquisa pode fornecer o *status quo* dos municípios Oiapoque, Calçoene e Amapá antes do início das atividades *offshore*, servindo informações que caracterizam a população no que tange sua faixa etária, renda, educação, e pode ser utilizado futuramente como material de desenvolvimento de novas pesquisas.

O presente estudo atingiu o seu objetivo de mensurar quantitativamente os volumes dos reservatórios do plioceno, mioceno superior e mioceno médio. Mostrando que estes reservatórios possuem, preliminarmente, características potenciais para o armazenamento de dióxido de carbono, devido o seu volume de respectivamente: 44.372 km<sup>3</sup> (plioceno), 115.782

km<sup>3</sup> (mioceno superior), 51.482 km<sup>3</sup> (mioceno médio). Além disso, os reservatórios se encontram em profundidade acima de 2.5 km, valor satisfatório tendo em vista a profundidade recomendada de a partir de 800 m. Além disso, os reservatórios possuem porosidades eficientes, variando de 19% a 30%.

A presença de armadilhas estruturais e estratigráficas (folhelhos), e espessuras e continuidades laterais suficientes, mostram que, a priori, os reservatórios reúnem boas condições para injeção. Entretanto, há a necessidade de estudos mais aprofundados, que levem em consideração mais de um perfil de poço e dados geoquímicos, que corroborem com as informações aqui coletadas.

O levantamento socioeconômico mostrou que a população costeira adjacente ao empreendimento possui histórico de exploração mineral, e características sociais que revelam uma trajetória de alta vulnerabilidade da população. Devido à isso, reuniu-se pesquisas com exposições de mitigação dos impactos associados à exploração de petróleo *offshore*.

Ratificando a necessidade da construção de um projeto realizado entre estado e empreendimento, que contemple os diferentes cenários do ciclo de exploração e produção, a fim de promover uma maior integração da população ao empreendimento por meio da disponibilização de serviços ou insumos, além do desenvolvimento de outras áreas do setor econômico destes municípios, para a diminuição de dependência e seus impactos associados.

Por fim, acredita-se que a necessidade de exploração da bacia Foz do Amazonas deve estar associada à mitigação das emissões de dióxido de carbono, e para que haja um equilíbrio entre desenvolvimento e exploração, faz-se necessário um maior planejamento do estado em conjunto com o empreendimento para garantir que a população tenha mais benefícios do que impactos negativos com a atividade.

## REFERÊNCIAS

ABREU, Eduardo Perdigão; DO VALE, Alessandre Wagner Guerra; DA COSTA RAMOS, Andre. **Um estudo sobre a aplicabilidade da Gestão de Custos Interorganizacionais no compartilhamento de recursos logísticos de Exploração e Produção de Petróleo**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC. 2023.

ADIO, Dolapo Gbadebo. **Piercing Points entre o nordeste da América do Sul e o noroeste da África—correlação dos domínios tectônicos**. 2020.

ALENCAR, Cristiano Andrade; STEDILE, Rafael; JUNIOR, Jair Urbanetz. Estudo da Complementariedade da Geração de Energia entre as Fontes Solar e Hidráulica. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 9, n. 1, p. 58-67, 2018.

ANDRADE, Vander F. de, **Notificação de descoberta de acumulação de gás pelo poço 1-BP-2-APS no Bloco BFZ-2**, Bacia Foz do Amazonas. bp Brasil, 2001.

ARAÚJO, Gabriel de Almeida. **Plataforma interativa de análise de velocidade em dados sísmicos usando GPUs**. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

ARAUJO, Israel Lacerda de; COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; MAKUCH, Zen. **Mudanças climáticas e a contribuição da tecnologia de CCS para os desafios da mitigação do clima**. Ambiente & Sociedade, v. 25, 2022.

ARNALDO FILHO, Santos. **Energia elétrica: perdas comerciais, ineficácia dos Programas de conservação e aumento da geração Termoelétrica no estado do amapá**. 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amapá—UNIFAP. 110 p. Macapá.

ALMEIDA, Maristela de Salles Silva; DE ALMEIDA, Ricardo Carvalho. Análise do desempenho de Redes Neurais Artificiais no preenchimento de falhas em séries de precipitação diária. **Journal of the Brazilian Neural Network Society**, v. 10, p. 175-180, 2012.

ALVES, Taytiellen Fernandes; COELHO, Alexandre Bragança. **Mortalidade infantil e gênero no Brasil: uma investigação usando dados em painel**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, p. 1259-1264, 2021.

AMBALIYA, Meet; BERA, Achinta. **A Perspective Review on the Current Status and Development of Polymer Flooding in Enhanced Oil Recovery Using Polymeric Nanofluids**. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 62, n. 6, p. 2444-2459, 2023.

ASSIS, Jefferson Vinícius Lourenço de. **O papel da análise de dados na identificação do potencial instalado para geração de energia elétrica no Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto. 2023.

AVIS, David; BREMNER, David. How good are convex hull algorithms?. In: **Proceedings of the eleventh annual symposium on Computational geometry**. 1995. p. 20-28.

AZEVEDO, João Paulo Minardi de; DO NASCIMENTO, Raphael Santos; SCHRAM, Igor Bertolino. **Energia eólica e os impactos ambientais: um estudo de revisão**. *Revista Uningá*, v. 51, n. 1, 2017.

BAKER, Richard O.; YARRANTON, Harvey W.; JENSEN, Jerry. **Practical reservoir engineering and characterization**. Gulf Professional Publishing, 2015.

BARBER, C. Bradford; DOBKIN, David P.; HUHDANPAA, Hannu. The quickhull algorithm for convex hulls. **ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)**, v. 22, n. 4, p. 469-483, 1996.

BARCELOS, Tiago Soares et al. A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais-CFEM como mecanismo para políticas públicas inclusivas em Parauapebas/PA. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 61, 2023.

BESEN, Ádrea Gizelle Morais Costa. **A materialidade da morte no período Ford (1927-1958): memória e patrimônio nos cemitérios de Fordlândia e Belterra, Pará, Brasil**. 2023.

BORBA, Rafael Corrêa; SILVA NETO, R. Impactos das atividades offshore de exploração e produção de petróleo nas cidades: um estudo comparativo entre Macaé (Brasil), Ciudad Del Carmen (México) e Aberdeen (Reino Unido). **SEMINARIO INTERNACIONAL DE LA RED DE INVESTIGADORES DE IBEROAMERICA**, v. 10, p. 1958-1979, 2008.

BOTELHO, M. F. et al. Comparação dos resultados de interpoladores “Vizinho mais próximo” e “Inverso de uma distância” no cálculo de volume a partir de dados do laser scanner. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, p. 16-21, 2005.

BP e Habtec Mott Macdonald. **Estudo de impacto ambiental: Atividade de perfuração marítima de poços no bloco FZA-M-59, Bacia da Foz do Amazonas**. 2018.

BP. **Intensidade de Carbono na Produção de Petróleo**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2023/07/nt-mercados-de-carbono.pdf>. 2022.

BUSSO, Matías; CARRILLO, Paul E. **Repensando a migração urbana**. 2023.

CACAMA, Moisés Samuel João Bota. **Avaliação do Potencial da Formação Cunga (Bacia do Kwanza, Angola) Como Reservatório Não-convencional: Implicações no Armazenamento de Dióxido de Carbono**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade Fernando Pessoa (Portugal).

CAMARGO, Eduardo Celso Gerbi. **Geoestatística: fundamentos e aplicações. Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, v. 29, 1998.

CANELLAS, Daniel Brasil. **Modelagem 2D de sistemas petrolíferos em uma seção geológica em águas profundas e ultraprofundas na Bacia da Foz do Amazonas**. 2020.

CARVALHO, J. R. P. de; VIEIRA, S. R. Avaliação e comparação de estimadores de Krigagem para variáveis agrônômicas-uma proposta. 2001.

CARVALHO, Paula Geandra Coutinho Aragão de. **Aplicação do programa SimaPro na avaliação do impacto ambiental causado na produção e exploração offshore de petróleo**. 2008.

CARVALHO, Gil César Rocha de; GOMES, Caroline Janette Souza; MARTINS NETO, Marcelo Augusto. O Cone do Amazonas, bacia da Foz do Amazonas: Uma nova discussão. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 429-437, 2011.

CARVALHO, Florival. **Visão Geral sobre blocos exploratórios de petróleo e gás natural na Bacia da Foz do Amazonas**. 2015.

CARVALHO, João Wilson Savino; CARVALHO, Solane Soraia Coutinho. Consequências Jurídicas do Apagão Elétrico no Amapá. **DE APAGÃO A APAGADO: ENSAIOS SOBRE A QUESTÃO ENERGÉTICA AMAPAENSE**, p. 38, 2021.

CARVALHO, Lorena Souza Valadares de. **Análise de diferentes medidas de mitigação para neutralização da emissão de carbono em uma siderúrgica integrada**. Universidade Federal de Ouro Preto. 2021.

CATUNEANU, O. 2006. **Principles of Sequence Stratigraphy**. Amsterdam: Elsevier. 375 p.

CERUTTI, Alef Júlio Schaefer et al. **Energia Eólica Offshore, um caminho para a transição energética: uma abordagem no contexto do panorama Offshore, Hidrogênio Verde e ESG**. 2023.

CIOTTA, Mariana Ramos. **Estudo de possibilidades para armazenar CO2 em reservatórios geológicos offshore na Bacia de Santos**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2020.

\_\_\_\_\_. Mariana et al. **CO2 storage potential of offshore oil and gas fields in Brazil**. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 112, p. 103492, 2021.

CONFORT, Mário Jorge Figueira. **Estocagem subterrânea de gás natural: upstream e downstream**. 2017.

CONFORT, Mário Jorge Figueira. **A regulação intersetorial da estocagem de gás em aquíferos e formações de sal**. 2021.

COSTA, Aline Muniz. **Análise comparativa de rochas selantes e reservatórios em sistemas petrolíferos das Bacias do Parnaíba e Paraná**. 2023.

COSTA, Mannom Tavares; GÓES, Guilherme Sandoval. Título: **Sistema de mobilização nacional frente uma ameaça externa e a segurança energética (marítima)**. Cadernos do Desenvolvimento Fluminense, n. 24, p. 73-93, 2023.

COUTO, Eduardo Guimarães; SCARAMUZZA, José Fernando; MARASCHINI, Luciano. Influência dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão. **Simposio Internacional de Agricultura de Precisão**, v. 2, p. 1-5, 2002.

COX, David R.; NEWTON, Andrew MW; HUUSE, Mads. **An introduction to seismic reflection data: Acquisition, processing and interpretation.** In: Regional geology and tectonics. Elsevier, 2020. p. 571-603.

DA CRUZ, Carolina A.; RIBEIRO, Helio JP Severiano; DA SILVA, Ediane B. Exploratory plays of the Foz do Amazonas Basin, NW portion, in deep and ultra-deep waters, Brazilian Equatorial Margin. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 111, p. 103475, 2021.

DA SILVA, Deyse Elisa França. Sobre as " pedras famosas de Calçoene": reflexões a partir da arqueologia etnográfica na Amazônia. 2016.

DA SILVA, Douglas Peterson Munis; CATARINA, Caio Vinicius Ventura; BATLLE, Eric Alberto Ocampo. **Recuperação avançada de petróleo associada à captura e armazenamento de carbono.** Research, Society and Development, v. 11, n. 1, p. e16511124599-e16511124599, 2022.

DA SILVA CAVALCANTE, Raniery Lopes; ARAUJO-SILVA, Gabriel. **Circular economy in the Amazon: technology, design, and community: Economia circular na Amazônia: tecnologia, design e comunidade.** Concilium, v. 23, n. 19, p. 836-849, 2023.

DA SILVA LOPES LIMA, Maria Thereza y Corrêa de Souza, Marina. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Ciência e Natura**. 2015;37(2):17-23.[fecha de Consulta 29 de Noviembre de 2022]. ISSN: 0100-8307. Disponible in: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467547642004>

DA SILVA VELOSO, Yago Matheus et al. Método de recuperação avançada de petróleo utilizando injeção de glicerina bruta e polímeros. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 2, n. 2, p. 37-48, 2014.

DE ALMEIDA, Poliana Bentes et al. Gestão dos recursos minerais no município de Canaã dos Carajás–PA na perspectiva dos cidadãos. **NAU Social**, v. 13, n. 24, p. 1000-1020, 2022.

DE FARIAS NOGUEIRA, Tainan. **AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE OFFSHORE DE CO2 NO BRASIL.** 2020. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DE FIGUEIREDO, Jorge de Jesus Picanço; ZALÁN, Pedro Victor; SOARES, Emilson Fernandes. **Bacia da foz do Amazonas**. Boletim Geociências Petrobrás, v. 15, n. 2, p. 299-309, 2007.

DGB BEHEER B. V. **Grid a Horizon**. 2021. Disponível em: [https://doc.opendtect.org/6.6.0/doc/dgb\\_userdoc/content/horizoncube/horizoncube\\_control\\_center/tools/grid\\_a\\_horizon.htm?TocPath=5%20HorizonCube%7C5.2%20HorizonCube%20Control%20Center%7C5.2.3%20Tools%7C\\_\\_\\_\\_\\_4](https://doc.opendtect.org/6.6.0/doc/dgb_userdoc/content/horizoncube/horizoncube_control_center/tools/grid_a_horizon.htm?TocPath=5%20HorizonCube%7C5.2%20HorizonCube%20Control%20Center%7C5.2.3%20Tools%7C_____4)

DI, Haibin; ALREGIB, Ghassan. **Semi-automatic fault/fracture interpretation based on seismic geometry analysis**. Geophysical Prospecting, v. 67, n. 5, p. 1379-1391, 2019.

DIAS, Arnaldho Krishnamurthi Cintra Araujo et al. Renda Básica Universal implementação e governança social: os casos do Alasca (EUA), Madhya Pradesh (Índia) e Maricá (Mumbuca). **Contribuições para inovação sócio tecnológica: policy paper-Renda Básica Universal (RBU) e Governança Social Diretrizes de implementação da RBU a partir de experiências internacionais**. 2022.

DO ROSÁRIO, dionis fábio campos. **Aplicação do algoritmo genético modificado para a reconsideração da argila no cálculo da porosidade pelo método densidade-neutrônico**. 2018.

DOTTI, Glauca Cecotto. **Interpretação quantitativa de campos de potencial espontâneo na perfilagem geofísica de poços**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. . Acesso em: 28 nov. 2023.

DRUMMOND, José Augusto. **Investimentos privados, impactos ambientais e qualidade de vida num empreendimento mineral amazônico: o caso da mina de manganês de Serra do Navio (Amapá)**. História, Ciências, Saúde-Manguinhos, v. 6, p. 753-792, 2000.

DUARTE, Jéssica. **Dimensões da justiça energética na governança global de energia: uma revisão sistemática da literatura**. 9º Encontro Nacional da Associação Brasileira de Relações Internacionais (ABRI). 2023.

EDDY, William F. A new convex hull algorithm for planar sets. **ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)**, v. 3, n. 4, p. 398-403, 1977.

ELIAS, Juliana Bertrand. **Transição da matriz energética para fontes renováveis como meio de redução da pobreza energética no Brasil: um estudo sob a perspectiva do direito constitucional.** São Luís, 2023.

EXXON MOBIL CORPORATION. **Exxon Mobil's Guyana Business Is A Company Maker.** Disponível em: <https://seekingalpha.com/article/4478550-exxonmobil-guyana-business-company-maker>. 2022.

FARIAS, Karina Cristina Caetano. **Interpretação sísmica 3D com os atributos Semelhança e Envelope do reservatório de hidratos de metano do Blake Ridge (Carolina do sul, EUA).** 2020.

FENKER, Eloy. **Impacto ambiental e dano ambiental.** Artigo técnico. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php3>, 2011.

FERNANDES, Joyce Sampaio Neves; MOSER, Liliane. **Comunidades tradicionais: a formação socio-histórica na Amazônia e o (não) lugar das comunidades ribeirinhas.** Revista Katálysis, v. 24, p. 532-541, 2021.

FILHO, A. K. D. B.; CARMONA, R. G.; ZALÁN, P. V. **Nota técnica sobre a margem equatorial brasileira. Um novo “Pré-sal” no arco norte do território brasileiro?.** 2020.

FONSECA, H. A. B. et al. **Transição energética: desafios e oportunidades.** 2022.

GALVÃO JÚNIOR, Ricardo Henrique de Andrade. **Armazenamento geológico de dióxido de carbono em reservatórios de petróleo: uma revisão da literatura.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

GENEROSO, Mateus Dalchiavon. **Caracterização de reservatórios dos corpos arenosos em depósitos turbidíticos-Bacia De Adana, Turquia.** 2015.

GLOBAL CCS INSTITUTE. **Global status of CCS,** 2022.

GONDIM, Carlos José Esteves et al. **Ecologizando Amazônia adentro: aprendendo e ensinando na maior floresta tropical do mundo!.** 2021.

GONZAGA, Giordano Bruno Medeiros. MÉTODOS SÍSMICOS APLICADOS À INDÚSTRIA DE PETRÓLEO. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-ALAGOAS**, v. 3, n. 1, p. 189-198, 2015.

GUERRA, Wander de Souza Dias. **Petrobras e Mudanças Climáticas: Notas Sobre o Planejamento da Transição Ecológica-Energética à Brasileira**. Encontros Nacionais da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. 2023.

GUO, Jian-Xin et al. Integrated operation for the planning of CO<sub>2</sub> capture path in CCS–EOR project. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 186, p. 106720, 2020.

GUZMÁN, Edwin Leónidas Vargas. **Petrofísica de rochas arenosas da bacia do Paraná para a estocagem e mineralização de CO<sub>2</sub>**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

HANSON, J., HANSON, H., **Hydrogen’s Organic Genesis**. Unconventional Resources, 2023.

HAUSFATHER, Z. FRIEDLINGSTEIN, P., **Global CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels**. Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-from-fossil-fuels-hit-record-high-in-2022/>. 2022.

IBGE. **Panorama – Oiapoque**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/oiapoque/panorama>. Acesso em: 15/10/2023. 2022.

IBGE. **Panorama – Calçoene**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/calcoene/panorama>. Acesso em: 15/10/2023. 2022.

IBGE. **Panorama – Amapá**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/amapa/panorama>. Acesso em: 15/10/2023. 2022.

IBGE. **Panorama – Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. 2022. Acesso em: 17/10/2023. 2022.

IBGE. **Panorama – Macaé**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/macaee/panorama>. 2022. Acesso em: 17/10/2023. 2022.

IBGE. **Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais**. p. 25. 2022.

IBP. **Maiores consumidores de petróleo e LGN em 2021**. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-consumidores-de-petroleo-e-lgn-em-2020/>. 2022.

IEA. **20 Years of Carbon Capture and Storage: Accelerating Future Deployment**, OECD Publications, Paris, 115p., 2016.

JANG, Hochang. A Review of Enhanced Oil Recovery Technology with CCS and Field Cases. **Journal of the Korean Institute of Gas**, v. 27, n. 3, p. 59-71, 2023.

JERONYMO, Carlos André Luz et al. **Evolução Do Uso E Cobertura Da Terra E a Formação De Assentamentos Humanos Em Ecossistemas Frágeis, Áreas Protegidas, Com Risco Ou Degradadas: O Caso Da Cidade De Macaé (Rj-Brasil)**. Revista Tamoios, v. 13, n. 2, 2017.

JIANG, Liangliang et al. **Storing carbon dioxide in deep unmineable coal seams for centuries following underground coal gasification**. Journal of Cleaner Production, v. 378, p. 134565, 2022.

JÚNIOR, Adilson Viana SOARES; COSTA, João Batista Sena; HASUI, Yociteru. **Evolução da margem atlântica equatorial do Brasil: três fases distensivas**. Geosciences= Geociências, v. 27, n. 4, p. 427-437, 2008.

KING, P. R., BLAND, K. J., FUNNELL, R. H., ARCHER, R., LEVER., L., **Opportunities for underground geological storage of CO<sub>2</sub> in New Zealand -Report CCS -08/5 - Onshore Taranaki Basin overview**. 2009.

KRAUSE, P. **Estudo de alternativa de transporte de CO<sub>2</sub> em dutos**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Rio de Janeiro, 2010.

KREVOR, Samuel et al. Subsurface carbon dioxide and hydrogen storage for a sustainable energy future. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 2, p. 102-118, 2023.

LEITE, Cauã Igor de Araujo; MARCIANO, Eduarda de Jesus; BEZERRA, Heitor Felipe Teixeira. **Dinâmica Interna e a teoria das placas tectônicas**. 2021.

LEWENKOPF, Marcos Araújo. **O papel do gás natural na transição energética: um foco no caso brasileiro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas)-Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

LOPES, Vera de Fátima Maciel. **Era uma vez uma ilha de Pescadores Artesanais: impactos socioambientais dos grandes complexos industriais, conflitos e resistência (Ilha da Madeira/Itaguaí/RJ)**. 2013.

LOPES, M. A. **Brasil em 50 alimentos**. 2023.

LOWELL, James; PATON, Gaynor. Application of deep learning for seismic horizon interpretation. In: **SEG International Exposition and Annual Meeting**. SEG, 2018. p. SEG-2018-2998176.

LUCCHESI, Celso Fernando. Petróleo. **Estudos avançados**, v. 12, p. 17-40, 1998.

LUIZ, J. G.; SILVA, LM da C. **Curso de geofísica de prospecção**. Belém: UFPA. Centro, 1983.

MARJANOVIĆ, Milena et al. Insights into dike nucleation and eruption dynamics from high-resolution seismic imaging of magmatic system at the East Pacific Rise. **Science Advances**, v. 9, n. 39, p. eadi2698, 2023.

MARTÍNEZ, Gerardo Clemente et al. Well-to-seismic tie. In: **Applied Techniques to Integrated Oil and Gas Reservoir Characterization**. Elsevier, 2021. p. 249-271.

MARTINEZ, Paulo Henrique; COLACIOS, Roger Domenech. **História ambiental do Pré-sal: meio ambiente e mudanças sociais em São Paulo (2007-2016)**. Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha, v. 6, n. 2, p. 263-277, 2016.

MASULINO, Nathália Weber Neiva. **Armazenamento geológico de carbono em reservatórios não convencionais na Formação Irati da Bacia do Paraná: estimativas de capacidade de injeção de CO<sub>2</sub> e custos associados**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MATTOS, Carlúzi et al. ANÁLISE SOCIOPOLÍTICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO NAS COMUNIDADES DA FOZ DO RIO AMAZONAS. **Terceira Margem Amazônia**, v. 5, n. 13, 2019.

MAVAR, Karolina Novak; GAURINA-MEĐIMUREC, Nediljka; HRNČEVIĆ, Lidia. **Significance of enhanced oil recovery in carbon dioxide emission reduction**. *Sustainability*, v. 13, n. 4, p. 1800, 2021.

MELEM, João Bosco Chahini; DOS SANTOS, Kátia Paulino. A questão territorial urbana do município de Amapá-Amapá: REURB-S, possibilidades de atuação do estado. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 28455-28476, 2021.

MENDIETA, L. F. F., **Estudo da absorção de H<sub>2</sub>S e CO<sub>2</sub> do gás combustível**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

MEZA, Jerry. **El papel de la inteligencia artificial en el Upstream de la Industria Petrolera: una revisión**. *Investigación y Acción*, v. 3, n. 1, p. 15-23, 2023.

MIOLA, Marianna et al. 3D Modeling and Integration of Heterogeneous Geo-data. In: **STAG**. 2021. p. 39-49.

MIOLA, Marianna et al. A computational approach for 3D modeling and integration of heterogeneous geo-data. **Computers & Graphics**, v. 105, p. 105-118, 2022.

MIRANDA, Anna Ilcéa Fischetti et al. **Imageamento da porosidade através de perfis geofísicos de poço**. 2004.

MME, EPE. **Sistemas Isolados**. 2018.

MME, EPE. **Plano Indicativo de Processamento e escoamento de Gás Natural**. 2019.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2050**. 2020.

\_\_\_\_\_. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: Previsão da Produção de Petróleo e Gás Natural**. Superintendência de Petróleo e Gás Natural. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2022.

\_\_\_\_\_. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: Premissas econômicas e demográficas**. Superintendência de Estudos Econômicos e Energéticos. Rio de Janeiro: EPE/MME, 2022.

\_\_\_\_\_. **Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás 2023**. 2023.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético Nacional 2023**. 2023.

MOHRIAK, Webster Ueipass. **Bacias sedimentares da margem continental Brasileira**. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, v. 3, p. 87-165, 2003.

MONTEIRO, Maurílio de Abreu. **Meio século de mineração industrial na Amazônia e suas implicações para o desenvolvimento regional**. Estudos avançados, v. 19, p. 187-207, 2005.

MONTENEGRO, João. **Transição energética nos EUA: por ora, o gás natural é o limite**. Conjuntura Global, v. 11, n. 3, 2022.

MONTICELI, Isadora Silveira; VASCONCELOS, Rafael da Cunha Amorim. **Captura de CO2: viabilidade, aplicações e relevância ambiental**. Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. 2021.

MOSER, Letícia Isabela et al. **Desenvolvimento de metodologia para determinação de alcalinidade por cromatografia iônica em amostras de matriz hipersalina características do pré-sal**. 2021.

MÜLLER, Mark Niklas et al. PRIMA: general and precise neural network certification via scalable convex hull approximations. **Proceedings of the ACM on Programming Languages**, v. 6, n. POPL, p. 1-33, 2022.

MUTTI, Emiliano. Turbidite systems and their relations to depositional sequences. **Provenance of arenites**, p. 65-93, 1985.

NASCIMENTO, Renata Fernandes Figueira; KAMPEL, Milton; MOLLERI, Gustavo Souto Fontes. **Análise por componentes principais da variabilidade do coeficiente de absorção pela matéria orgânica dissolvida e detritos estimado por satélite na Foz do Rio Amazonas**. 2009.

NATAL, André Luiz Vianna do Amaral Bermond. Renda básica cidadã de Maricá: uma análise sobre a legislação vigente e a moeda social mumbuca. **Renda básica cidadã de Maricá: uma análise sobre a legislação vigente e a moeda social mumbuca**, v. 56, 2022.

NEMIRKO, A. P.; DULÁ, J. H. Machine learning algorithm based on convex hull analysis. **Procedia Computer Science**, v. 186, p. 381-386, 2021.

NETO, Arthur Ayres. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 18, p. 241-256, 2000.

ONAJITE, E. Understanding seismic interpretation methodology. **Seismic Data Analysis Techniques in Hydrocarbon Exploration**, p. 177-211, 2014.

ONU. **The Sustainable Development Goals**. Disponível em: <https://brasilnaagenda2030.files.wordpress.com/2019/09/the-sustainable-development-goals-report-2019.pdf>. 2019.

PATTIER, France et al. Origin of an enigmatic regional Mio-Pliocene unconformity on the Demerara plateau. **Marine Geology**, v. 365, p. 21-35, 2015.

PELLISSARI, Maria Rogieri. **Avaliação de reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO2 emitido pelo Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, Santa Catarina**. 2021. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

PEROVANO, Rodrigo et al. **O processo de colapso gravitacional da seção marinha da bacia da foz do Amazonas-margem equatorial brasileira**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, p. 459-484, 2009.

PETER, Ameh et al. **A review of the studies on CO2–brine–rock interaction in geological storage process**. *Geosciences*, v. 12, n. 4, p. 168, 2022.

PORSANI, Milton J. et al. Filtragem SVD aplicada à melhoria do rastreamento de horizontes sísmicos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, p. 473-480, 2010.

RAMOS, Janete Silva et al. Análise epidemiológica da imunodeficiência adquirida no município de Oiapoque/AP, no período de 2001 a 2011. 2014.

RAUBER, Alexandre; PALHARES, José. **O contexto e as perspectivas da exploração mineira no Amapá**. **Confins**. *Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 55, 2022.

REI, FERNANDO; SCHAHIN, MARCOS RENATO; LONGUINI, MAYARA FERRARI. **Sociedade de risco e emergência climática: uma breve incursão**. *Direito Ambiental Internacional*, p. 195.

RIO, Gisela Aquino Pires do. **Margem Equatorial Brasileira: Desafios Postos Sobre a Mesa.** Revista Brasileira de Energia. Vol, v. 29, n. 1, 2023.

ROCHA, Luiz Alberto Santos; AZEVEDO, Cecília Toledo de. **Projetos de poços de petróleo: geopressões e assentamento de colunas de revestimentos.** Interciência, Rio de Janeiro, v. 511, 2009.

ROCKETT, Gabriela Camboim et al. **Associação de fontes emissoras e reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> na Bacia de Campos, Brasil.** 2010.

ROMAN, J. C. M., **Incentivos ao mercado de carbono no brasil: análise do mercado regulado e seus impactos.** Especialização em energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética. Universidade de São Paulo. 2022.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. **Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil.** Revista brasileira de energia solar, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

SAITO, Alanna Aquemi Santiago. **As Company Towns e Vilas Periféricas no Amapá: Histórias e Memórias de uma Outra Amazônia (1960-2010).** 2023. Dissertação de Mestrado.

SANSONE, Eduardo César. **Determinação da porosidade das rochas.** Mecânica de fluidos aplicada a reservatórios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. 2014.

SANTA-CRUZ, Sandra et al. **El potencial de desarrollo de proyectos de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> en el Perú: una propuesta.** South Sustainability, v. 3, n. 2, p. e064-e064, 2022.

SANTOS, T. C.; RONCONI, C. M., **Captura de CO<sub>2</sub> em Materiais Híbridos.** Rev. Virtual Quim., 2014.

SANTOS, Isaac de Oliveira; DOMINGUEZ, José Maria Landim. Mapeamento estratigráfico utilizando sísmica de alta resolução no trecho da futura Ponte Salvador-Itaparica, Bahia, Brasil. **Geologia USP. Série Científica**, v. 19, n. 4, p. 85-98, 2019.

SCHROEDER, Fred W. et al. Qualitative seismic interpretation. In: **Applied Techniques to Integrated Oil and Gas Reservoir Characterization.** Elsevier, 2021. p. 39-71.

SERAZIO, Cristina et al. Geological surface reconstruction from 3D point clouds. **MethodsX**, v. 8, p. 101398, 2021.

SERRA, O. E. **Fundamentals of well-log interpretation**. 1983.

SHU, David Yang et al. **The role of carbon capture and storage to achieve net-zero energy systems: Trade-offs between economics and the environment**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 178, p. 113246, 2023.

SIEGEL, Adam. A parallel algorithm for understanding design spaces and performing convex hull computations. **Journal of Computational Mathematics and Data Science**, v. 2, p. 100021, 2022.

SILVA, Fernando César Mesquita da. **Aplicações do perfil sônico em poço aberto**. 2022.

SILVA, Gracielly Portela da. **Densidade demográfica em cidades médias: uma análise da rede urbana da Região Nordeste do Brasil**. 2023.

SILVA, Oséias Teixeira da. **A relação entre economia e natureza no capitalismo: uma discussão a partir da urbanização da cidade de Macaé-RJ**. Espaço e Economia. Revista brasileira de geografia econômica, n. 20, 2020.

SIQUEIRA, Felipe da Cunha. **Análise bottom-up de retorno de energia sobre o investimento em campos offshore de óleo/gás no Brasil**. 2021.

SIMÕES, Helena Cristina Guimarães Queiroz. **A história e os efeitos sociais da mineração no Estado do Amapá**. PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP, v. 2, n. 2, 2009.

SLATT, Roger M. **Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologists, geophysicists, and engineers**. Elsevier, 2006.

SOARES, Tailandia Oliveira et al. **Impactos Ambientais Causados Pelo Desmatamento: Uma Revisão Sistemática da Literatura**. Revista Saúde e Meio Ambiente, v. 9, n. 2, 2019.

SOUSA, Caroline Costa et al. **Análise comparativa do uso de medidores de vazão de gás natural para transferência de custódia**. Universidade Federal do Amazonas. Departamento de Engenharia de Petróleo E Gás. 2023.

SOUZA, W. A. De., **Possíveis Cenários De Impactos Socioeconômicos Causados Pela Exploração Petrolífera Na Costa Do Amapá**. Universidade Federal do Amapá. 2017.

STAMPFLI, G. M. et al. **The formation of Pangea**. *Tectonophysics*, v. 593, p. 1-19, 2013.

SUPING ZHAO, Jialiang Lu, Jingxin Yan, Huilan Wu, Chunxiao Guan, **Energy transition in China: It is necessary to increase natural gas utilization**, *Energy Reports*, Volume 10, 2023.

TERRY, Ronald E. Enhanced oil recovery. **Encyclopedia of physical science and technology**, v. 18, n. 1, p. 503-518, 2001.

THOMAS, Sara. Enhanced oil recovery-an overview. **Oil & Gas Science and Technology- Revue de l'IFP**, v. 63, n. 1, p. 9-19, 2008.

TIRELLO, Regina Andrade; DA COSTA, Ana Cynthia Sampaio. **Questões sobre conservação do patrimônio arquitetônico moderno e a Vila Serra do Navio**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, v. 8, n. 2, p. 75-87, 2017.

TRAVASSOS, R. M., FREITAS, I. de A., **Bacia Foz do Amazonas: Sumário Geológico e Setores em Oferta**. Superintendência de Avaliação Geológica e Econômica. Agência nacional do petróleo, gás natural e biocombustíveis oferta permanente. 2021

VASCONCELLOS, R. V. A., **Bacia da Foz do Amazonas**. Brasil 11º Rodada. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023.

VEIGA, Artur José Pires; VEIGA, Daniela Andrade Monteiro; MATTA, Jana Maruska Buuda da. **Densidade demográfica como instrumento de planejamento urbano: Um estudo de caso sobre Vitória da Conquista-BA**. Simpósio Cidades Médias e Pequenas da Bahia-ISSN 2358-5293, 2014.

VIANA, Inajara Amanda Fonseca; JÚNIOR, Antônio Pinheiro Teles; FILOCREÃO, Antônio Sérgio Monteiro. OFERTA E DEMANDA DE ENERGIA NO AMAPÁ: ESTRANGULAMENTO E RESTRIÇÃO AO MERCADO LOCAL. **Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas**, v. 2, n. 03, p. 107-124, 2017.

VILARDO, Cristiano. **APRIMORAMENTO DA AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL DE PETRÓLEO E GÁS OFFSHORE NO BRASIL: EVOLUÇÃO E DESAFIOS DA PRÁTICA**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2023.

VILHENA, Marlene dos Santos et al. **A responsabilidade socioambiental das empresas mineradoras instaladas nos municípios de Pedra Branca do Amapari e Serra do Navio no Amapá: reflexão sobre a atividade mineradora e as práticas ambientais sustentáveis.** Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. 2014.

VOLKAN Ş. Ediger, Istemi Berk, **Future availability of natural gas: Can it support sustainable energy transition?**, Resources Policy, Volume 85, Part A, 2023.

WALTENBERG, Fabio; KATZ, Paul. **Renda básica e economia solidária: o exemplo de Maricá.** Cortez Editora, 2023.

WEI, Linchuan et al. On the convex hull of convex quadratic optimization problems with indicators. **Mathematical Programming**, p. 1-35, 2023.

WRIGHT, Alexis. **3D Structural and Stratigraphic Architecture of the Northwest Santa Barbara Basin and Implications for Submarine Landslide Generation.** 2016.

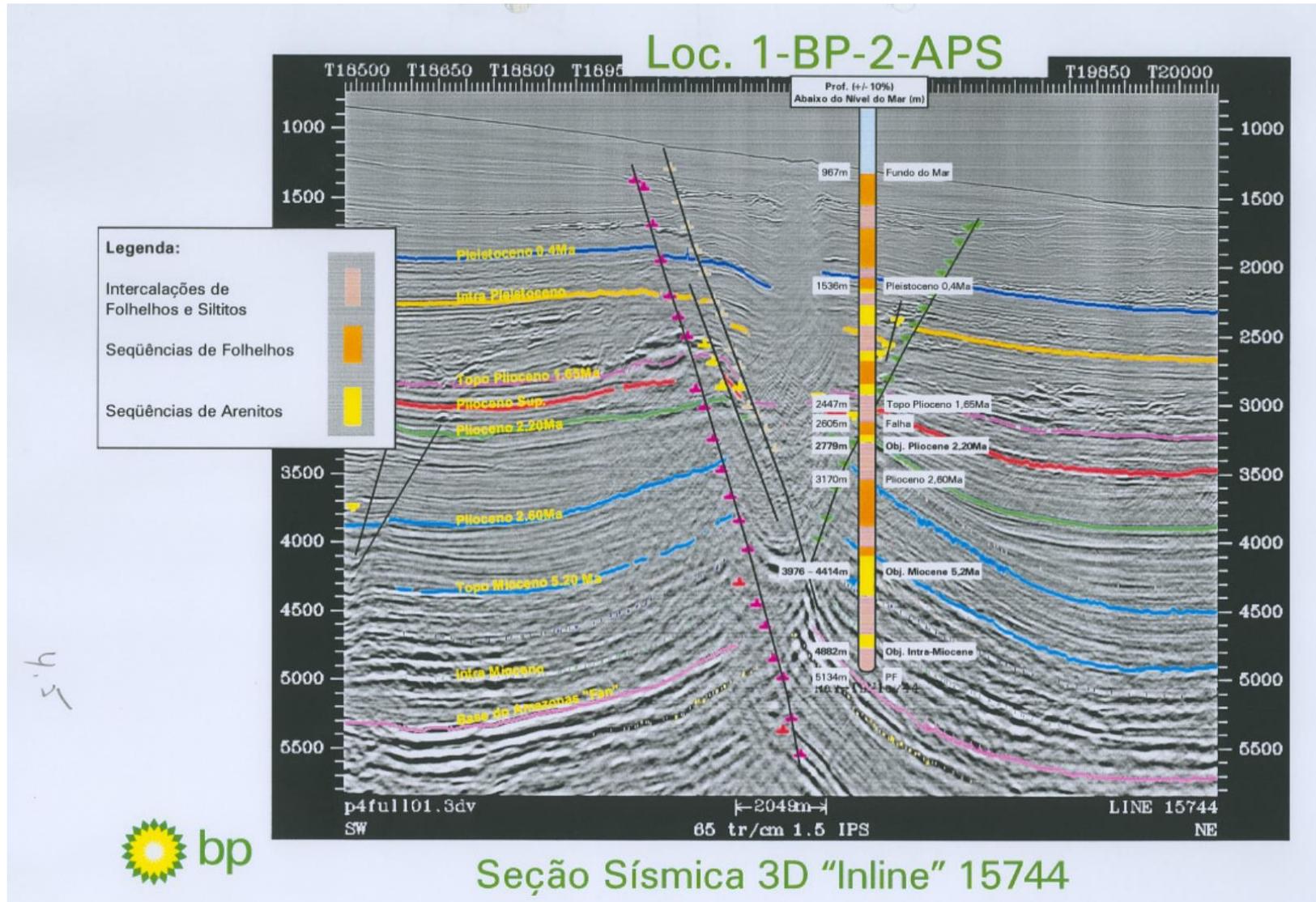
YANG, W., ESCALONA, A., **Tectonostratigraphic Evolution of the Guyana Basin.** AAPG Bulletin, v. 95, no. 8 (August 2011), pp. 1339–1368.

ZACARDI, Diego Maia et al. Estudo dos aspectos sociais e técnicos da atividade pesqueira no município de calçoene, amapá, extremo norte do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 9, n. 2, p. 52-68, 2016.

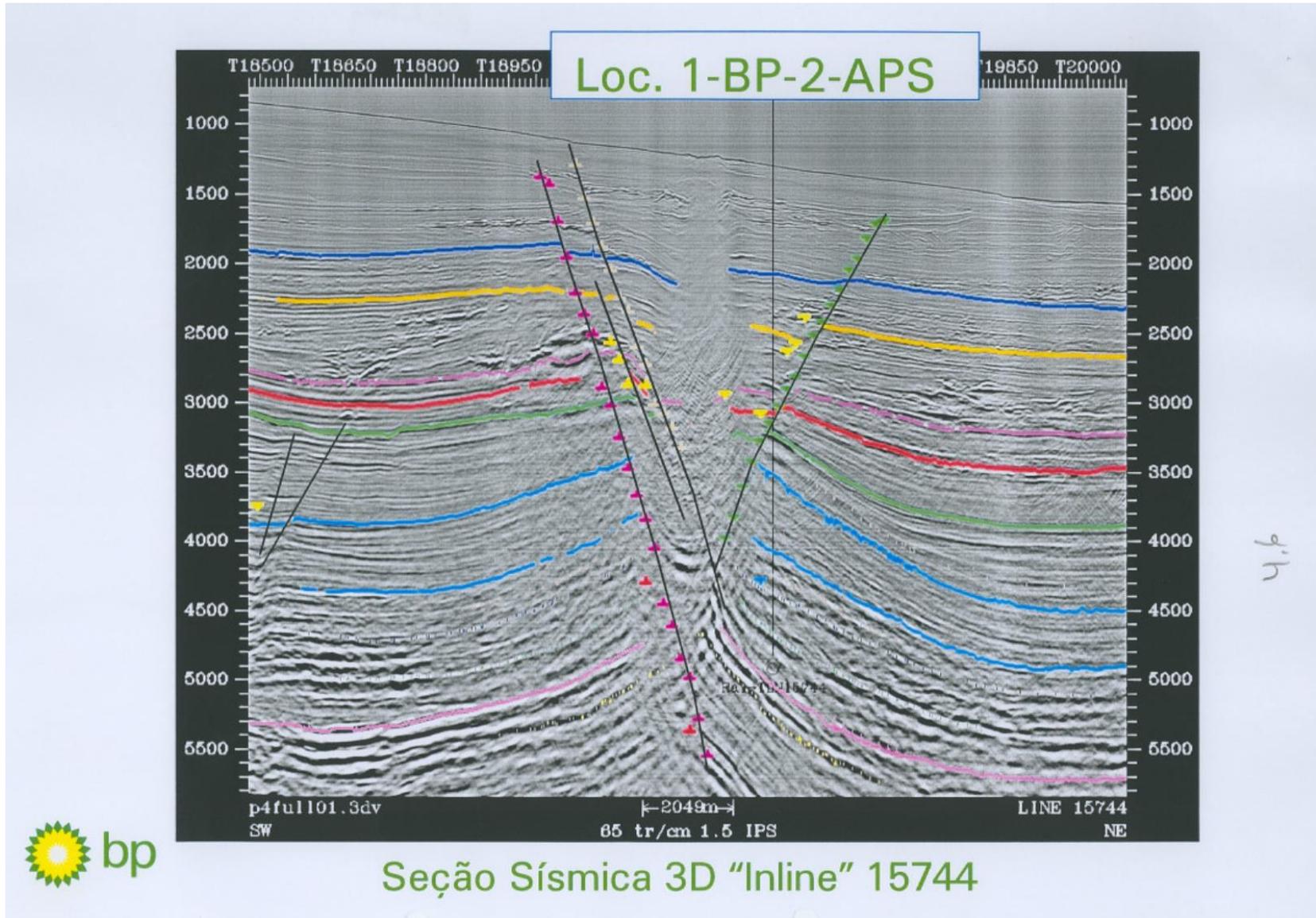
ZICKWOLFF, Erick da Cunha Coelho et al. Macaé além do petróleo: diversificação socioeconômica através do turismo. **Cadernos do Desenvolvimento Fluminense**, n. 20, p. 77-102, 2021.

ZOU, Zheguang et al. Temporal and spatial variations in three-dimensional seismic oceanography. **Ocean Science**, v. 17, n. 4, p. 1053-1066, 2021.

ANEXO I – LINHA SÍSMICA 15744 INTERPRETADA COM POÇO 1-BP-2-APS

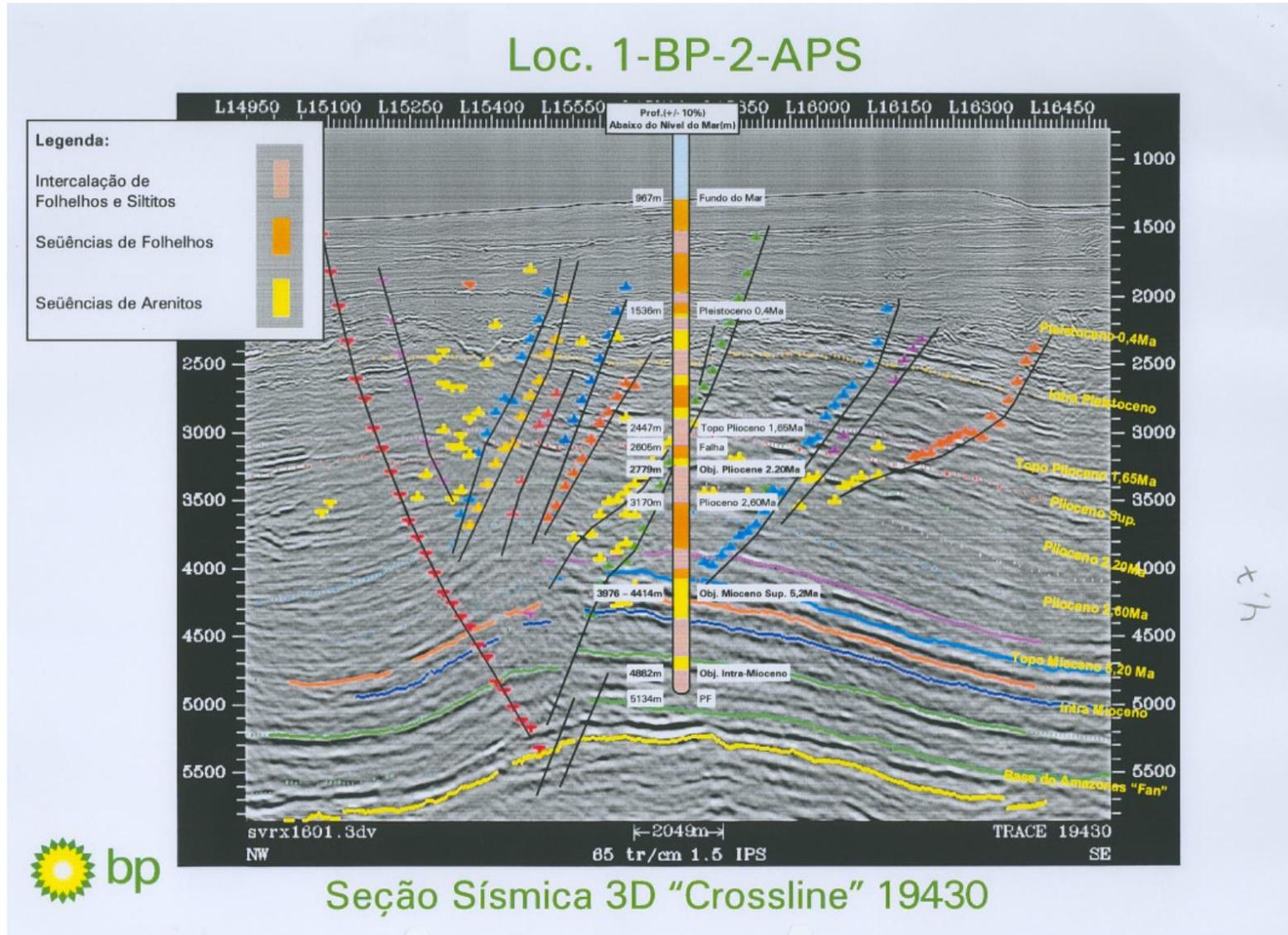


ANEXO II – LINHA SÍSMICA 15744 INTERPRETADA

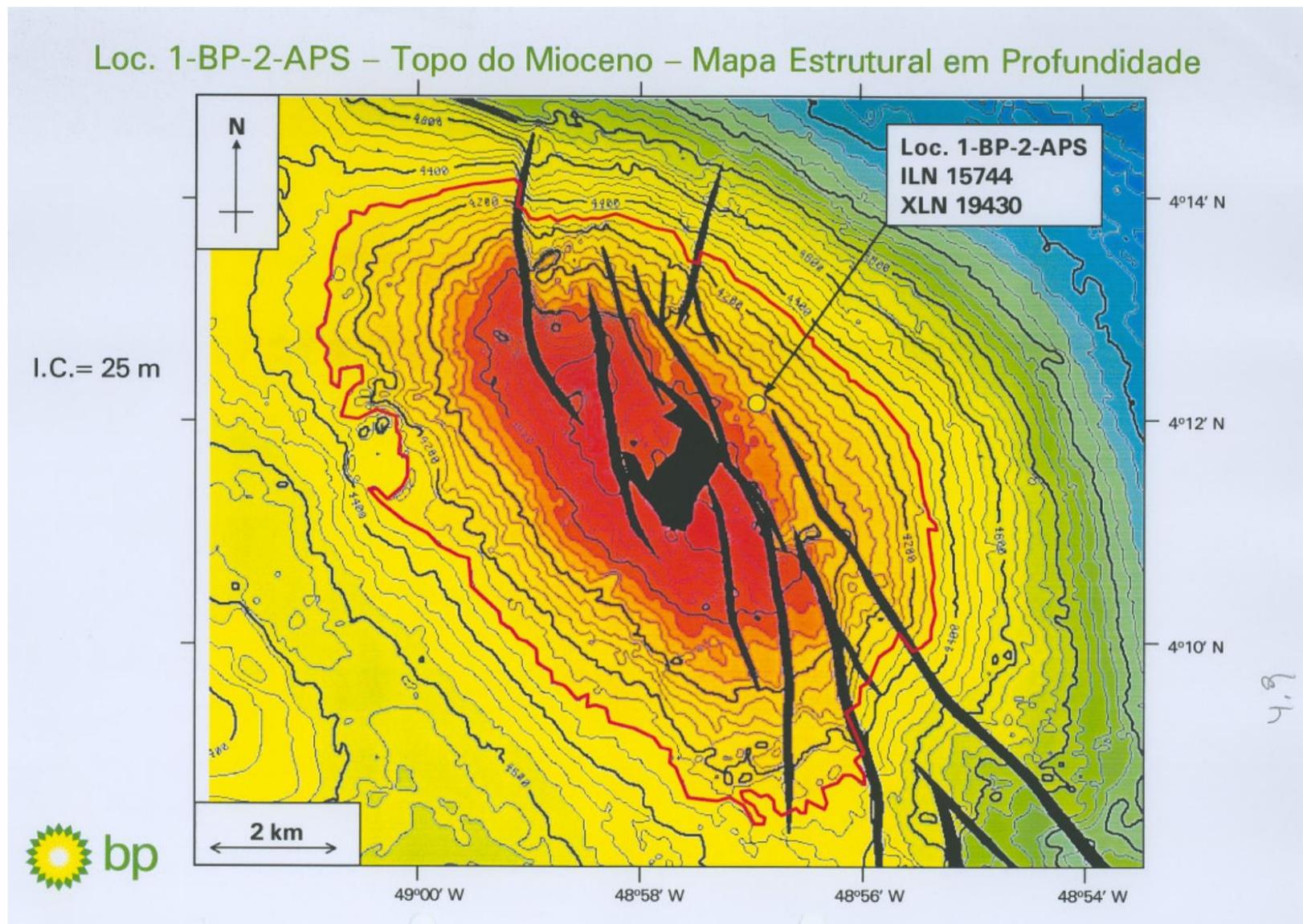


Seção Sísmica 3D "Inline" 15744

ANEXO III – LINHA SÍSMICA 19430 INTERPRETADA COM POÇO 1-BP-2-APS



## ANEXO IV – MAPA ESTRUTURAL EM PROFUNDIDADE COM POÇO 1-BP-2-APS



## ANEXO V- SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA COM POÇO 1-BP-2-APS

