

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Geologia

Lucas dos Anjos Correa do Espirito Santo

Identificação de Possíveis Exsudações de Óleo na Bacia do Espírito Santo, utilizando Imagens SAR

Rio de Janeiro

2021

Lucas dos Anjos Correa do Espirito Santo

Identificação de Possíveis Exsudações de Óleo na Bacia do Espírito Santo, utilizando Imagens SAR

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geologia e Geofísica de Margens tipo Atlântico.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Santos Salomão Coorientador: Prof. Dr. Enrico Campos Pedroso

> Rio de Janeiro 2021

CATALOGAÇÃO NA FONTE UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

E777	Espirito Santo, Lucas dos Anjos Correa do. Identificação de possíveis exsudações de óleo na Bacia do Espírito Santo, utilizando imagens SAR. / Lucas dos Anjos Correa do Espirito Santo. – 2021. 132 f. : il.
	Orientador: Marcelo dos Santos Salomão. Coorientador: Enrico Campos Pedroso. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
	1. Geologia estrutural – Espírito Santo, Bacia do (ES) – Teses. 2. Sensoriamento remoto – Campos, Bacia de (RJ) – Teses. 3. Sensoria- mento remoto – Espírito Santo, Bacia do (ES) – Teses. 4. Levantamentos geofísicos – Teses. 5. Petrologia – Teses. I. Salomão, Marcelo dos Santos. II. Pedroso, Enrico Campos. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.
	CDU 551.241(815.3)
	Bibliotecária responsável: Fernanda Lobo / CRB-7: 5265

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Lucas dos Anjos Correa do Espirito Santo

Identificação de Possíveis Exsudações de Óleo na Bacia do Espírito Santo, utilizando Imagens SAR

Dissertação apresentada, como requisito para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Geologia e Geofísica de Margens tipo Atlântico.

Aprovado em: 20 de Dezembro de 2021.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo dos Santos Salomão

Faculdade de Geologia – UERJ

Coorientador: Prof. Dr. Enrico Campos Pedroso

Faculdade de Geologia – UERJ

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ciro Jorge Appi Faculdade de Geologia - UERJ

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Dr. Wilson José de Oliveira Geólogo

> Rio de Janeiro 2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus orientadores Prof. Dr. Marcelo S. Salomão e Prof. Dr. Enrico C. Pedroso, pela orientação, discussões e apoio durante a realização deste trabalho.

Á minha família por todo o apoio, suporte e conselhos que me deram ao longo dessa jornada. Em especial meus pais, Isabel Cristina e Marco Antonio, minha irmã Maria Luisa, minhas avós Adelaide e Wilma, meus tios maternos e paternos e minha madrinha Jane.

Aos meus amigos, principalmente ao Rafael Cardoso, à Gabriela Avellar e ao Vinicius Luiz, por todas as tardes de discussões geológicas no período pré-pandemia.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado (LARS/ UERJ) e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGG) UERJ por toda a infraestrutura.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a execução deste trabalho, especialmente à Juçara Dias e à Marianni Picciani pela solicitude e disponibilidade em ajudar, principalmente durante a pandemia.

Agradeço também aos membros da banca que acompanharam a saga desde o início: Dr. Wilson Oliveira, Dr. José Carlos "Cainho" Seoane e Dr. Ciro Appi. Todos foram fundamentais para meu crescimento profissional, com sugestões e críticas enriquecedoras!

Por fim, gostaria de agradecer à Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP), por ter fornecido os dados sísmicos da área e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por ter financiado, através da bolsa de mestrado, a minha pesquisa.

RESUMO

Espirito Santo, Lucas dos Anjos Correa do. *Identificação de Possíveis Exsudações de Óleo na Bacia do Espírito Santo, utilizando imagens SAR*. 2021.132 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Situada no estado homônimo, no sudeste do Brasil, a Bacia do Espírito Santo se desenvolveu no contexto de quebra do Gondwana e abertura do Oceano Atlântico. A intensa halocinese condiciona a sedimentação até os dias de hoje, promovendo grandes e complexas estruturas salinas. Abrolhos, no Eoceno, é o vulcanismo mais expressivo na bacia, e pode ter afetado a maturidade térmica das rochas, permitindo a geração de óleo e gás. O presente trabalho localizou, reconheceu e quantificou feições passíveis de serem exsudações na porção marítima da Bacia do Espírito Santo, utilizando imagens SAR dos sensores Radarsat-2 e Sentinel-1. A confirmação só é possível após verificação in situ. Ao todo, a base de dados é composta por 21 cenas Radarsat-2, 23 cenas Sentinel-1, e 101 linhas sísmicas pertencentes a dois projetos 2D requisitados à ANP. Após a revisão bibliográfica, a seleção das imagens SAR foi feita com base na sua área de cobertura da bacia. Elas foram preparadas no software PCI Geomatica e interpretadas no ESRI/ArcMap, onde ocorreu a extração das feições encontradas. Dados meteorológico-oceanográficos, quando disponíveis, foram utilizados para auxiliar a interpretação. Em seguida, verificou-se na sísmica a presença de estruturas (falhas, fraturas, domos de sal, etc....) que propiciem o escape de fluidos. Após a análise detalhada, os dados obtidos foram integrados, visando a classificação das possíveis exsudações em função da probabilidade de acontecerem. Foram 3 parâmetros utilizados na pontuação subdivididos em critérios: SAR (distância de embarcações, quantidade de exsudações próximas e tamanho das feições), Geológicos (domínios tectônicos) e Sísmicos (distância das linhas sísmicas, presenca de estruturas e, distância das estruturas). Cada critério recebeu notas que variam de 0,1 a 1,0 (respectivamente o pior e o melhor cenário). A nota final é dada pela média aritmética dos parâmetros, o que permitiu organizá-las em um ranking. A metodologia adotada foi bem-sucedida na identificação de 44 feições promissoras na Bacia do Espírito Santo e outras 10 no norte da Bacia de Campos, que necessitam maior investigação. Metade das possíveis exsudações encontradas, 27 feições, obtiveram nota superior a 0,7, o que fortalece a ideia de serem exsudações de óleo. Todas as feições encontradas passíveis de serem exsudações foram posicionadas em um mapa na escala 1:2.000.000.

Palavras-chave: Bacia do Espírito Santo. SAR. Exsudações de óleo

ABSTRACT

Espirito Santo, Lucas dos Anjos Correa do. *Identification of Potential Oil Seeps at the Espirito Santo Basin, using SAR imagery*. 2021.132 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

Located in the homonymous state, in southeastern Brazil, the Espirito Santo basin was developed in the context of the Gondwana break-up and the opening of the Atlantic Ocean. Its halokinesis affects sedimentation up to the present and promotes large and complex saline structures. Abrolhos, in the Eocene, is the most expressive volcanism in the basin and may have affected the thermal maturity of the rocks, allowing the generation of oil and gas. The present work aims to locate, recognize and quantify the possible oil sees in the maritime portion of the Espirito Santo Basin, using SAR imagery from the Radarsat-2 and Sentinel-1 satellites. Confirmation its only possible after in situ verification. The database consists of 21 Radarsat-2 scenes, 23 Sentinel-1 scenes, and 101 seismic lines belonging to two 2D seismic projects requested at ANP. After literature review, the selection of SAR images was made based on its basin coverage area. They were prepared in the PCI Geomatics software and interpreted in ESRI/ArcMap, where the extraction of the features took place. Meteorological and oceanographic data, when available, were used to assist interpretation. Later, the presence of structures (faults, fractures, salt domes, etc...) was verified in the seismic lines. After detailed analysis, the obtained data were gathered, aiming to classify the possible seeps found according to the probability of happening. There were 3 parameters, subdivided into criteria, used in the ranking score: SAR (distance of vessels, number of SAR images and feature size), Geological (tectonic domains) and Seismic (distance from seismic lines, presence of structures and, distance from structures). Each criterion received grades ranging from 0.1 to 1.0 (respectively worst and best scenario). The final score is given by the arithmetic mean of the parameters. This allowed the possible seeps to be organized in a ranking. The methodology adopted was successful in identifying 44 promising features in the Espirito Santo basin and another 10 in the northern Campos basin, that need further investigation. Half of the possible seeps found, 27 features, obtained a grade higher than 0.7, which strengthens the idea of being oils seeps. Finally, a map was made, in scale 1:2.000.000, with the location of all possible seeps found.

Keywords: Espirito Santo Basin. SAR. Oil Seep

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa de Localização da Área de Estudo	18
Figura 2 –	Coluna Estratigráfica da Bacia do Espírito Santo	22
Figura 3 –	Seção regional simplificada da Bacia do Espírito Santo	24
Figura 4 –	Diagrama de Van Krevelen e Tabela dos tipos de	
	Querogênio	26
Figura 5 –	Espectro eletromagnético com ênfase nas micro-ondas e no	
	visível, com exemplos de alguns sensores de Radar e	
	ópticos	28
Figura 6 –	Janelas atmosféricas	29
Figura 7 –	Janela de absorção e frequências	29
Figura 8 –	Rugosidade das superfícies	31
Figura 9 –	Desenho esquemático de uma célula de chuva sobre a	
	superfície do mar	34
Figura 10 –	Esquema de propagação de ondas internas	34
Figura 11 –	Ilustração representativa de um dos satélites Sentinel-1	35
Figura 12 –	Passagem ascendente/ descendente e Tempo de Revisita	
	da Constelação Sentinel-1	36
Figura 13 –	Modos de Aquisição de imagens pela Constelação	
	Sentinel-1	37
Figura 14 –	Modos de Aquisição de imagens do RADARSAT-2	39
Figura 15 –	Correntes Marinhas da Costa ao longo da margem	
	continental brasileira	43
Figura 16 –	Exemplos de Múltiplas	45
Figura 17 –	Relação entre refletores	47
Figura 18 –	Pockmarks na Bacia de Campos	48
Figura 19 –	Pockmark com óleo	49
Figura 20 –	Modelo evolutivo de uma <i>pockmark</i> soterrada	50
Figura 21 –	Localização das imagens RADARSAT-2 em relação a Bacia	
	do Espirito Santo	53

Figura 22 –	Localização das imagens Sentinel-1 em relação a Bacia do	
	Espirito Santo	54
Figura 23 –	Visão do site Copernicus Open Access Hub	54
Figura 24 –	Mapa de Cobertura das imagens SAR selecionadas em	
	relação a Bacia do Espírito Santo	57
Figura 25 –	Buffer de distância das embarcações, com raios variando de	
	1 a 50km	58
Figura 26 –	Mapa de Campo de Ventos para a imagem Sentinel-1 de	
	07 de Abril de 2020	59
Figura 27 –	Metodologia aplicada nas imagens Sentinel-3	61
Figura 28 –	Localização das linhas sísmicas 2D	62
Figura 29 –	Formulas da Técnica Volume de Amplitudes (TecVA)	63
Figura 30 –	Seção sísmica 1 regional NE-SW, que mostra os 4 domínios	
	tectônicos encontrados na Bacia do Espírito	
	Santo	67
Figura 31 –	Mapas de Temperatura de Superfície do Mar na data	
	07 de Abril de 2020	74
Figura 32 –	Mapa de Concentração de Clorofila (mg/m3) na data 07	
	de Abril de 2020	75
Figura 33 –	Feições semelhantes: Barcos	76
Figura 34 –	Localização de uma "Feição Semelhante" identificada, em	
	relação a Bacia	77
Figura 35 –	Mapa de Localização da Exsudação #0, datada de	
	29/01/2010. Satélite: RADARSAT-2	78
Figura 36 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #1, datada de	
	30/01/2010. Notar que fica na Bacia de Campos. Satélite:	
	RADARSAT-2	79
Figura 37 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #3, datada de	
	30/01/2010. Notar que fica na Bacia de Campos. Satélite:	
	RADARSAT-2	80
Figura 38 –	Mapa de Localização da Exsudação #9, datada de	
	22/02/2010. Satélite: RADARSAT-2	81

Figura 39 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #22, datada de	
	30/06/2010. Notar que fica no limite norte da Bacia de	
	Campos, mas foi considerada nas pontuações. Satélite:	
	RADARSAT-2	82
Figura 40 –	Mapa de Localização da Exsudação #23, datada de 07/07/2010. Satélite: RADARSAT-2	83
Figura 41 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #24, datada de	
	07/07/2010. Satélite: RADARSAT-2	84
Figura 42 –	Mapa de Localização da Exsudação #25, datada de	
	14/07/2010. Satélite: RADARSAT-2	85
Figura 43 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #26, datada de	
	31/07/2010. Satélite: RADARSAT-2	86
Figura 44 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #31, datada de	
	09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	87
Figura 45 –	Mapa de Localização da Exsudação #32, datada de	
	09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	88
Figura 46 –	Mapa de Localização da Exsudação #33, datada de	
	09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	89
Figura 47 –	Mapa de Localização da Exsudação #34, datada de	
	19/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	90
Figura 48 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #35, datada de	
	24/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	91
Figura 49 –	Mapa de Localização da Exsudação #36, datada de	
	24/08/2010. Satélite: RADARSAT-2	92
Figura 50 –	Mapa de Localização da Exsudação #38, datada de	
	06/10/2010. Satélite: RADARSAT-2	93
Figura 51 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #44, datada de	
	02/03/2020. Satélite: SENTINEL-1	94
Figura 52 –	Mapa de Localização da Possível Exsudação #48, datada de	
	07/02/2020. Satélite: SENTINEL-1	95
Figura 53 –	Mapa de Localização da Exsudação #49, datada de	
	07/02/2020. Satélite: SENTINEL-1	96
Figura 54 –	Mapa de Localização das Exsudações #42, #43, #52 e #53	97

Figura 55 –	Mapa, originalmente em escala 1:2.000.000, com as linhas							
	sísmicas apresentadas neste documento	98						
Figura 56 –	-igura 56 – Seção sísmica 2 (NW-SE)							
Figura 57 –	Seção sísmica 3 (NW-SE) 10							
Figura 58 –	Seção sísmica 4 (SW-NE)	101						
Figura 59 –	Seção sísmica 5 (SW-NE)	102						
Figura 60 –	Seção sísmica 6 (NW-SE)	103						
Figura 61 –	Seção sísmica 7 (SW-NE)	104						
Figura 62 –	Gráfico "Razão entre Eixos"	105						
Figura 63 –	Figura 63 – Gráfico "Domínios Tectônicos"							
Figura 64 –	Gráfico "Distancia de Embarcações"	106						
Figura 65 –	Gráficos de "Exsudações Próximas", do critério							
	Repetibilidade	107						
Figura 66 –	Mapa Simplificado da Localização das Exsudações na Bacia							
	do espírito Santo e Norte da Bacia de Campos	110						
Figura 67 –	Zoom no Mapa de Localização indicando presença de							
	exsudações em áreas de proteção ambiental	111						
Figura 68 –	Mapa de Localização das Áreas Recomendadas para futuras							
	pesquisas	112						

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 –	Metodologia proposta	52
Fluxograma 2 –	Pré-Processamento no software PCI Geomatica	56
Fluxograma 3 –	Metodologia de extração do Campo de Ventos através do	
	software SNAP	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Geração de hidrocarbonetos de acordo com a temperatura 2							
Tabela 2 –	Principais aplicações do Sentinel-1							
Tabela 3 –	- Características dos Modos de aquisição do Sentinel-1							
Tabela 4 –	Modos de Aquisição e informações do RADARSAT-2	40						
Tabela 5 –	Distribuição de Pesos: Critério: "Distância de embarcações" .	65						
Tabela 6 – Distribuição de Pesos: Critério: "Repetibilidade"								
Tabela 7 –	Distribuição de Pesos: Critérios: "Tamanho do Eixo Maior" e							
	"Área"	66						
Tabela 8 –	Distribuição de Pesos: Critério: "Domínios Tectônicos"	68						
Tabela 9 –	Distribuição de Pesos: Critério: "Distância para Linhas							
	Sísmicas"	69						
Tabela 10 –	Distribuição de Pesos: Critério: "Presença de estruturas"	69						
Tabela 11 –	Distribuição de Pesos: Critério: "Distância para Estruturas"	70						
Tabela 12 –	Resumo das pontuações e critérios	72						
Tabela 13 –	Classificação Final	108						

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária da Antártica
ANP	Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APA	Área de Proteção Ambiental Costa das Algas
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
AT	Água Tropical
СВ	Corrente do Brasil
CCI	Corrente de Contorno Intermediária
CCP	Corrente de Contorno Profunda
CNB	Corrente Norte do Brasil
CSA	Canadian Space Agency
CSE	Corrente Sul-Equatorial
ESA	European Space Agency
Fm.	Formação
Ма	Milhões de anos
Mb.	Membro
REVIS	Refúgio de Vida Marinha de Santa Cruz
RS2	Radarsat-2
SAR	Synthetic Aperture Radar
SNAP	Sentinel Application Platform Software
SNB	Sub-corrente Norte do Brasil
ST1	Sentinel-1
ST3	Sentinel-3

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
1	OBJETIVOS	17
1.1	Objetivo Geral	17
1.2	Objetivos Específicos	17
2	GEOLOGIA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO	18
2.1	Vulcanismo	23
2.2.	Halocinese	23
2.3	Sistemas Petrolíferos	25
2.3.1	Sistemas Petrolíferos na Bacia do Espírito Santo	27
3	REFERENCIAL TEÓRICO	28
3.1	Sensoriamento Remoto por RADAR	28
3.2	Feições Semelhantes	32
3.3	Sentinel-1	35
3.4	Radarsat-2	39
3.5	Sentinel-3	40
3.6	Correntes Marinhas na Costa do Espírito Santo	42
3.7	Métodos Geofísicos	43
3.7.1	Pockmarks	47
4	MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1	Imagens SAR	53
4.1.1	<u>Seleção e Aquisição das imagens SAR</u>	53
4.1.2	O Processamento das Imagens	55
4.1.3	<u>A interpretação das feições escuras</u>	56
4.2	Dados Meteorológico-oceanográficos	58
4.2.1	Seleção das Imagens Sentinel-3	60
4.3	Linhas Sísmicas	62
4.3.1	Atributos Sísmicos: TecVA	63
4.4	Integração dos dados e Classificação das Exsudações	64
4.4.1	<u>SAR</u>	64
4.4.2	<u>Geologia</u>	67

4.4.3	<u>Sísmica</u>	68
4.4.4	Cálculo da Classificação	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	73
5.1	Meteorológico-oceanográficos	73
5.1.1	Concentração de Clorofila e Temperatura da Superfície do Mar	
	<u>(SST)</u>	73
5.2	SAR	75
5.2.1	Feições Semelhantes	75
5.2.2	Possíveis Exsudações	77
5.3	Sísmicos	98
5.4	Classificação Ranking Final	105
5.5	Мара	109
	CONCLUSÕES	113
	REFERÊNCIAS	116
	APÊNDICE A - Mapa de localização das exsudações na Bacia	
	do Espírito Santo e na porção norte da Bacia de Campos	121
	APÊNDICE B - Tabelas	122

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma grande faixa litorânea, com uma Zona Econômica Exclusiva (ZEE) que abrange aproximadamente 3,6 milhões de km². Monitorar essa área é demasiadamente custoso e demorado, porém, a utilização de sensores remotos contribui para que este monitoramento se faça em menor tempo e comum menor custo, abrangendo área maior. As riquezas encontradas nessa região envolvem: a grande biodiversidade, explorada tanto como pesca quanto como turismo; e a produção de óleo e gás.

Exsudações de hidrocarbonetos podem ser encontradas na maioria das províncias de óleo localizadas em regiões costeiras e oceânicas. Tais ocorrências indicam a presença de processos de geração e migração de óleo e gás, que ajudam a identificar sistemas petrolíferos ativos. Essa informação é essencial para reduzir os riscos em fronteiras exploratórias (MELLO, 2007; PEDROSO, 2009).

Um método para localizar essas exsudações é através de imagens de RADARes (*Radio Detection and Ranging*) orbitais. Seu relativo baixo custo em relação a área abrangida, somado ao tempo de revisita do satélite, permite uma análise através do tempo, guiando a pesquisa exploratória. Radares são sensores ativos, que utilizam as frequências do espectro eletromagnético correspondente às micro-ondas. Suas vantagens em relação aos sensores ópticos e termais são que 1) por terem fonte de energia própria, podem imagear tanto de dia quanto de noite (MENESES & SANO, 2012); e que 2) as micro-ondas não são afetadas pela presença de nuvens ou fumaça, condições comuns em áreas tropicais. Dentre os tipos disponíveis, destacam-se os Radares de Abertura Sintética (*Synthetic Aperture Radar -* SAR), que simulam eletronicamente tamanhos variados de antenas, aumentando a resolução.

Esse tipo de abordagem é bem utilizada e aceita na indústria do petróleo, como demonstram MacDonald et al. (2015), que encontraram cerca de 914 áreas com exsudações naturais de óleo, no Golfo do México, ao analisar imagens SAR anteriores a 2010 (ano em que ocorreu um acidente com vazamento de óleo na região), com o objetivo de diferenciar as "manchas" naturais das causadas pelo acidente.

A identificação é realizada pois o óleo aumenta a viscosidade da superfície, dificultando a formação de ondas capilares (ondas centimétricas formadas pela ação de ventos). A diminuição da rugosidade faz com que o sinal refletido não volte ao sensor, conferindo à imagem uma aparência lisa e mais escura que a água ao redor (GENOVEZ, PALMEIRA e BENTZ, 2009; MELLO, 2007; GARCIA-PINEDA *et al.*, 2013; GARCIA-PINEDA *et al.*, 2017).

Quando os hidrocarbonetos chegam à superfície começam a se degradar até desaparecerem: os voláteis evaporam, ocorre a oxidação (pela ação microbial ou pela luz solar), dissolução na água, migração pelas correntes, absorção por material em suspensão, etc. (FINGAS & FIELDHOUSE, 2012). Por essa razão, feições escuras em imagens SAR que são observadas no mesmo local através do tempo, são grandes indicativos de uma exsudação natural de óleo ou de uma fonte poluidora submersa (rompimento de tubulações/ naufrágios) (MACDONALD *et al.*, 2015). Já os descartes ilegais vindos de navios possuem um padrão mais retilíneo (seguindo a direção que a embarcação navega) e não são observados ao longo do tempo.

Com base nessas características, esse trabalho propõe utilizar imagens de RADAR comerciais, do sensor RADARSAT-2, e de domínio público, do sistema Sentinel-1, como forma de reconhecer exsudações de óleo na Bacia do Espírito Santo e porção Norte da Bacia de Campos. Em uma segunda etapa, na tentativa de se reconhecer feições que propiciem o escape de fluidos, os resultados foram comparados com dados sísmicos 2D.

Por último, foram confeccionados o mapa com a localização das possíveis exsudações encontradas e o ranking que as classifica das mais para a menos prováveis.

A presente pesquisa está organizada em seis capítulos: O primeiro, mostra os objetivos do trabalho. Os Capítulos 2 ("Geologia da Bacia do Espírito Santo") e 3 ("Referencial Teórico") abordam os conhecimentos básicos necessários para o entendimento da geologia e dos métodos empregados. No Capítulo 4, "Materiais e Métodos", encontra-se a metodologia proposta para obter os resultados apresentados no Capítulo 5 ("Resultados e discussão"), juntamente com uma breve discussão.

As conclusões são encontradas no capítulo final. Constam ainda nessa obra dois Apêndices, com o Mapa Final, produzido em escala 1:2.000.000, e as Tabelas contendo as informações produzidas.

1 **OBJETIVOS**

1.1 Objetivo Geral

Localizar, reconhecer e quantificar exsudações de óleo na porção marítima da Bacia do Espírito Santo, Brasil, utilizando imagens SAR dos sensores Radarsat-2 e Sentinel-1. A bacia foi selecionada devido à sua importância nacional como uma província petrolífera bem reconhecida.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Localizar, reconhecer e quantificar as exsudações na Bacia do Espírito Santo, e devido às características das imagens SAR, também na porção Norte da Bacia de Campos;
- b) Reconhecer, através da análise sísmica, *pockmarks*, *gas chimneys*, falhas e/ou outras estruturas que possam estar correlacionadas as exsudações;
- c) Integrar dados de sensoriamento remoto por radar, dados meteorológicosoceanográficos e dados geológicos-geofísicos (sísmica);
- d) Classificar as feições encontradas de acordo com a probabilidade de serem exsudações; e
- e) Propor áreas para investigações futuras.

2 GEOLOGIA DA BACIA DO ESPÍRITO SANTO

Localizada na porção leste do estado homônimo (Figura 1), a bacia sedimentar do Espírito Santo foi formada no contexto da quebra do supercontinente Gondwana e da abertura do Oceano Atlântico. Delimitada ao norte pela Bacia de Mucuri, e a sul pela Bacia de Campos (através do Alto de Vitória) a Bacia do Espirito Santo compreende uma área de aproximadamente 125.000 km², dos quais apenas 18.000 km² se encontram na porção emersa e, o restante, 107.000 km², offshore (FIDUK *et al.*, 2004).





Legenda: Mapa de localização da Bacia do Espírito Santo (em vermelho) em relação às demais bacias marinhas brasileiras.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A sua evolução tectono-estratigráfica (Figura 2) é semelhante às bacias de Campos, Santos e demais bacias da margem leste, sendo interpretada como um rifte em margem passiva, com eixo praticamente N-S. Três supersequências são reconhecidas (FIDUK *et al.*, 2004; MOHRIAK, 2003): Rifte (subdividida em duas fases

por FIDUK *et al.*, 2004), Pós-Rifte ou transicional e Drifte (subdividida em uma sequência transgressiva e outra regressiva, MOHRIAK, 2003).

O embasamento da bacia é composto por rochas metamórficas da Faixa Araçuaí e do Cráton do São Francisco (FRANÇA et al., 2007), com contribuição de vulcânicas da Fm. Serra Geral (Jurássico Superior– Cretáceo Inferior, MOHRIAK, 2003).

A Supersequência Rifte (Valanginiano ao Aptiano Inferior, 140-113 Ma) é uma sequência continental interpretada como um ambiente lacustre com contribuição fluvial, de leques aluviais próximos às bordas de falha e deposição de carbonatos nos altos estruturais, além de intercalações com rochas vulcânicas.

Representa a base do Grupo Nativo, com a deposição da Fm. Cricaré diretamente sobre o embasamento. Ela é composta na base pelo Membro Jaguaré (arenitos a conglomerados) que gradam em porções distais para o Membro Sernambi (folhelhos, carbonatos e margas). Através da sísmica, estima-se que toda a seção tenha espessuras em torno de 3.500 m, além de identificar duas discordâncias, uma interna ao pacote, a Discordância Intracricaré, e outra que limita seu topo, a Discordância Pré- Alagoas, também chamada de *Break-up unconformity*, que marca a quebra do continente. A Fm. Cabiúnas (tufos, vulcanoclásticas e derrames basálticos) se intercala com o Mb. Jaguaré, e possui datações K/Ar com idades entre 136 e 118 Ma (FRANÇA *et al.*, 2007).

As extremas condições anóxicas nesses ambientes permitiram a preservação da matéria orgânica em extensas unidades de folhelhos, que constituem grandes intervalos de fontes de hidrocarbonetos nas margens do Sudeste do Brasil (MOHRIAK, 2003; MOHRIAK, 2006), o pré-sal.

A Supersequência Pós-Rifte ou Transicional (Andar Alagoas, Aptiano) mostra a transição entre sistemas continentais da fase rifte para um sistema de mar raso. Nessa fase se depositou o sal que, através da sua Halocinese promove grandes estruturas complexas (ex.: domos, línguas e muralhas) e controla a sedimentação. Representa o topo do Grupo Nativo, com a deposição da Fm. Mariricu, composta pelos membros Mucuri (siltitos a conglomerados) e Itaúnas (evaporitos).

Nas porções proximais do Mb Mucuri, predomina a deposição continental (leques e canais), enquanto que as porções distais são marcadas pela passagem gradativa de sistemas deposicionais continentais para transicionais, depositados em ambiente raso, sob relativa quiescência tectônica. O pacote se espessa para leste em direção ao depocentro da bacia, onde alcança 2.000m de espessura.

Dentro do Mb. Mucuri é possível identificar três sequências (VIEIRA, 1998 apud FRANÇA *et al.*, 2007): 1) Basal, com intenso tectonismo remanescente, ainda da fase rifte. Representa as fácies média a distal de leques aluviais e das fácies mais proximais do sistema fluvial entrelaçado; 2) Intermediária, representada por um afogamento progressivo dos leques e do sistema fluvial da seção inferior, com influência de altos do embasamento na sedimentação; e, 3) Superior, um sistema de lagunas com planícies lamosas que evolui para o ambiente evaporítico do tipo sabkha. Localmente ocorrem arenitos finos a grossos, representando depósitos de praias e planícies arenosas do sistema lagunar.

A posterior quiescência tectônica promoveu condições de bacia restrita e a deposição do Mb. Itaúnas. Tipicamente evaporítico, apresenta a gradação de calcários e anidrita nas porções proximais para halita nas distais. Esse sal começa a se movimentar no Aptiano tardio-Albiano Inferior (FIDUK *et al.*, 2004; MOHRIAK, 2003) e, deformações nos sedimentos mais recentes indicam que essa movimentação é continua até os dias de hoje (FIDUK *et al.*, 2004). As espessuras dos evaporitos variam de 50m na parte emersa (predomínio de anidritas) até mais de 5.000m em águas profundas e ultraprofundas (predomínio de halita), onde ocorrem as províncias de diápiros e muralhas de sal (FRANÇA *et al.*, 2007).

A Supersequência Drifte compreende as rochas depositadas do Albiano ao Recente, é marcada pela subsidência térmica e pelo acúmulo de sedimentos marinhos, conforme as placas Sul-Americana e Africana se afastam. Pode ser subdividida em duas fases: Drifte inicial, com deposição de uma sequência marinha (Grupo Barra Nova) e outra com características transgressivas (Formação Urucutuca); e Drifte tardio, representado por uma sequência regressiva (formações Rio Doce e Caravelas) (FIDUK *et al.*, 2004; MOHRIAK, 2003).

O início da deposição se dá em um ambiente de mar raso, correspondendo ao Grupo Barra Nova, que é composto pelas Formações São Mateus (predominância de arenitos) e Regência (calcários de alta a baixa energia), que se interdigitam. A morfologia da bacia grada de mar epicontinental para uma plataforma em rampa (FRANÇA *et al.*, 2007), esse basculamento (Albiano) permite a movimentação do sal e a deformação dos sedimentos. Esse Grupo é cortado por uma ampla discordância no final do Albiano, a Discordância Pré-Urucutuca (DPU), que escavou os paleocânions de Regência e Fazenda Cedro, ambos localizados na porção terrestre, estendendo-se para a parte marinha rasa da bacia.

A partir do Cenomaniano, começa a depositar a Fm. Urucutuca, com os folhelhos e turbiditos, esses estão associados aos Cânions de Regência e Fazenda Cedro, indicando controle deposicional (FRANÇA *et al.*, 2007); essa formação é depositada em porções distais até hoje.

A passagem para o Paleógeno é caracterizada por uma superfície erosiva reconhecida em linhas sísmicas. Esse Período geológico é marcado por intenso vulcanismo e sedimentação. Pode ser dividido em quatro sequências denominadas informalmente de Sequências "Lagoa Parda", "Império", "Cangoá" e "Peroá".

A Sequência Lagoa Parda (Paleoceno e Eo-Eoceno) marca a superfície de máxima inundação representada por calcilutitos e pelas primeiras manifestações do vulcanismo de Abrolhos através de derrames basálticos (FRANÇA *et al.*, 2007).

Com o soerguimento da Serra do Mar e o Vulcanismo de Abrolhos houve um aumento do aporte de siliciclásticos, gerando a Sequência Império, a qual registra a mais intensa atividade vulcânica, marcada por derrames intercalados a arenitos turbidíticos, folhelhos e carbonatos. A partir disso, começou a depositar a sequência drifte regressiva, nas porções proximais da bacia. A Formação Caravelas (plataforma carbonática rasa) se depositou sobre o substrato de Abrolhos e ambos se tornaram uma segunda fonte de sedimentos para a bacia (FRANÇA *et al.*, 2007; MOHRIAK, 2006).

A Sequência Cangoá (Neo Eoceno- Eo Oligoceno), embora tenha se formado em uma fase de quiescência tectônica, depositou-se em um substrato marcado por altos e baixos estruturais como consequência do tectonismo das fases anteriores, marcados por compressões, vulcanismo e halocinese. Seu topo é marcado por uma discordância, gerada pelo rebaixamento eustático ocorrido no Oligoceno Superior. Já a Sequência Peroá, desenvolveu sistemas turbidíticos (arenitos) canalizados, controlados pela existência de domos e inversões (FRANÇA *et al.*, 2007).

A formação Rio Doce, depositada em ambientes continental/ transicional/marinho raso a partir do Eoceno, difere da Formação Barreiras (Plioceno) pelo grau de litificação verificado naquela e não nessa, depositada em ambientes continentais fluviais/aluviais (MORAIS, 2007). A deposição mais recente registra os sedimentos de planícies próximo à foz de rios (Ex.:São Mateus e Rio Doce) e por cordões litorâneos ao longo da costa.

	8R	PETROBRAS BACIA DO ESPÍRITO SANTO ROBLEME LA								ROSILENE LAW	DUNIER FRANC	2A et al.	BR PETROBRAS BACIA DO ESP		PÍRITO SA	
	/la	PERÍODO	GEOCR	ONOL :A	LOGIA IDADE	NAT UREZ A DA BEDREH TA ÇÃO	AMBIENTE DEPOSICIONAL	DISCORDÂNCIAS	GRUPO	LITOESTRAT FORMAÇÃO	IGRAFIA MEMBRO	ESPESSURA MÁDIMA (m)	SEQUÉNCIAS	Unfha de costa 2000	Guebra da plataforma	*~
	0 - 10 - 10 -	NEÓGENO	PLE STO PLICENO NI OCENO	CENO PORT ED NEO ED	ZEARS ZAN CLEANO MESSINIANO TORTONIANO SERRAVALIANO LANGHIANO BURDI GALIANO AQUITANIANO CHATTIANO	INHO / CONTINENTAL	FLUVIALAMARINHO PROFUNDO /JOCITIANO ASSOCIADO /JOCITIANO ASSOCIADO	PLICENO MICCENO SUPERIOR MICCENO INFERIOR		BAR 3000 OV		2500	N50 N50 N40 06N-02N 01N-083	SPA BAR RD		
	-0 	LEÓGENO		EO NEO MESO	RUPELIANO PRIABONIANO BARTONIANO LUTETIANO	MAR		PRE-ECCENO SUPERIOR	D SANTO	U C A			E40-E50 E60-E70			
	i0 — i0 — -	ΡA	PALEOCENO	EO NEO EO	YPRESIANO THANETIANO SELANDIANO DANIANO		ssociado	**************************************	ESPIRITO	C U T		1600	0 E10-E30			
1			NEO	(SENONIANO)	CAMPANIANO CAMPANIANO SANTONIANO CONIACIANO	OHNIM	PROFUNDC COM MAGMATISMO A	INTRA-CAMPANIANO CAMPANIANO		U R U		2100	K88 K90-K100 K110-K13			
1					CENOMANIANO			PRE-URUCUTUCA	A			400	0 KB2-KB6			
1	-	ETÁCEO		SALI CO)	ALBIANO		PLATAFORMA RASA		BARRA NOV	SÃO MATEUS	TALINAS	2000	K62	BN/SM	BN/REG	
1	-	CR		÷	APTIANO ALAGOAS	N	SABKA/FLÜVIO- DELTAICO	BASE EWAPORITOS	0 / 1	MARIRICU	MUCURI	2000	K40	MUC		
1			EQ	COMIANO)	HAUTE- RMAND HAUTE- RMAND GNAND GNAND RIO	CONTINENTAL	ALUVIAL/FLÚVIO- LACUSTRE VULCANISMO ASSOCIADO	INTRA-CRICARE	NAT	CRICARÉ	JAGUARÉ	3500	K30 K20	CRI/JG	CRI/SN	
	»	JURĂS- SICO	NED	(NEO	BERRA SIANO TITHO NANO											
5	Ĩ		PRÉ-C	A M B F	RIANO	Ĺ		EMBAS	SAME	NTO				+ + + + + + + + F + A	X+A + A R A Ç+U A İ+ + + +	+

Figura 2: Coluna Estratigráfica da Bacia do Espírito Santo

Fonte: França et al. (2007)



2.1 Vulcanismo

A bacia presenciou ao menos quatro fases magmáticas, sendo três iniciais: 1) derrames basálticos antes e/ou durante o rife; 2) derrames antes da separação, na fase pós-rifte e 3) após a separação continental, durante o drifte inicial, refletores mergulhantes para o mar (*seaward dipping reflectors* - SDRs), que marcam o início da abertura do Atlântico; e uma tardia, no Eoceno, 4) referente ao complexo vulcânico de Abrolhos (FIDUK *et al.*, 2004).

O platô vulcânico de Abrolhos cobre uma área de 30.000 km², com idades Ar-Ar que variam entre 60-40 Ma, equivalente ao Eoceno (FRANÇA *et al.*, 2007; MOHRIAK, 2006), foi formado pela passagem do Hot Spot de Trindade (MOHRIAK, 2003) na porção Norte da Bacia do Espírito Santo.

Fiduk et al. (2004) observam que existem corpos magmáticos acima ou próximos de estruturas salinas. Os autores sugerem que essas rochas intrusivas e extrusivas se aproveitaram de planos de falhas, e outras estruturas associadas à tectônica de sal, para se alojarem na seção sedimentar. Quanto mais para norte, em direção ao Platô de Abrolhos, maior a presença de rochas intrusivas na coluna sedimentar, as quais podem ter afetado localmente a maturação termal das rochas e, consequentemente, o potencial de geração de óleo e gás.

2.2 Halocinese

A tectônica de sal permite dividir a bacia em três domínios: 1) Extensional; 2) Transicional; 3) Compressional (Figura 3). Os motivos para o movimento de sal, segundo Fiduk et al. (2004), são a carga diferencial de sedimentos, somada a ação da gravidade (formando deslizamentos), e o basculamento geral da bacia, acentuado devido ao soerguimento da Serra do Mar e de Abrolhos no Cenozóico.

O domínio extensional localizado na porção oeste (parte proximal), em águas mais rasas, é caracterizado por *salt rollers* (feições triangulares encontradas na base de falhas e associadas as jangadas carbonáticas), falhas normais e jangadas (FIDUK *et al.*, 2004; MOHRIAK, 2003). A camada de sal tende a ser fina e autóctone.



Figura 3: Seção regional simplificada da Bacia do Espírito Santo



Nas porções mais distais da bacia (aumento da profundidade para Leste), começam a se formar os diápiros de sal (domínio transicional, com uma inclinação média), que registram feições tanto extensivas quanto compressivas. Devido à sua densidade, esse sal alóctone pode se acomodar entre rochas mais recentes, através de línguas de sal e *canopies* - junção de duas ou mais línguas- (FIDUK *et al.*, 2004; GAMBOA, 2011). Outras estruturas relacionadas a contração são falhas de empurrão (que não envolvem o embasamento) e gotas de sal (um diápiro alóctone, não mais conectado com sua raiz), representando o domínio compressional.

Mohriak (2003) reconhece três fases de halocinese: 1) Formação de falhas extensionais normais; 2) Formação de feições compressionais e falhas de empurrão com vergência para o continente, a presença do vulcanismo Abrolhos barrou o movimento de sal para águas profundas; 3) Formação dos diápiros de sal.

Essa deformação além de controlar a sedimentação no fundo marinho até os dias de hoje, condicionando paleocânions, aprisionando turbiditos e formando

minibacias (FIDUK *et al.*, 2004; MOHRIAK, 2003), também dobra os sedimentos ao redor e propicia trapas para a indústria de óleo e gás.

2.3 Sistemas Petrolíferos

Definido por Magoon & Dow (1994), um sistema petrolífero ativo é composto por quatro elementos essenciais - rochas geradoras, rochas reservatório, rochas selantes e trapas - e por dois processos - geração/migração e sincronismo - (MILANI *et al.*, 2000), descritos a seguir. Esses elementos e processos devem ocorrer no tempo e local adequados para que a acumulação de hidrocarbonetos seja formada (MAGOON & BEAUMONT, 1999).

Rochas geradoras: fundamental para geração de hidrocarbonetos, geralmente é composta por folhelhos ricos em matéria orgânica, depositados em ambientes sedimentares de baixa energia com condições anóxicas (MILANI *et al.*, 2000). Para uma rocha ser considerada como geradora seus teores de Carbono Orgânico Total (COT, teor em peso) devem ser superiores a este limite de 1%.

O tipo de matéria orgânica (querogênio) e a temperatura também influenciam a qualidade do óleo. Após a diagênese, a matéria orgânica é transformada em querogênio, que, com a evolução termal da bacia em que foi depositado, será degradado em hidrocarbonetos mais simples: o petróleo. A temperatura (Tabela 1) e o tipo de querogênio (Figura 4) influenciam a qualidade do hidrocarboneto gerado (óleo/gás).

TEMPERATURA (°C)	GERAÇÃO
600	Começa a gerar óleo viscoso
900	Pico de geração: óleo mais fluido e gás
1200	Muito gás e óleo condensado
1200 – 1500	Apenas gás

Tabela 1: Geração de hidrocarbonetos de acordo com a temperatura

Fonte: Adaptado de Milani et al., 2000.

Existem 4 tipos de querogênio, definidos pela sua origem (ambiente de deposição), pelos índices de Hidrogênio (razão entre suas moléculas de Hidrogênio e

Carbono: H/C) e de Oxigênio (razão entre suas moléculas de Oxigênio e Carbono O/C), e consequentemente, pelo potencial de geração. O Oxigênio degrada a matéria orgânica, dessa forma, quanto menor o Índice de Oxigênio e maior o Índice de Hidrogênio, melhor será a qualidade da matéria orgânica.

A Figura 4, adaptada de McCarthy et al. (2011) apresenta as definições de cada tipo de querogênio, bem como o diagrama de Van Krevelen indicando o potencial de geração, de acordo com o aumento da maturação térmica.



Figura 4: Diagrama de Van Krevelen e Tabela dos tipos de Querogênio,

Fonte: Adaptados de McCarthy et al., 2011.

Trapas ou Armadilhas: estruturas que impedem o escape de fluidos e forçam sua acumulação. Podem ser armadilhas estruturais (ex.: flanco de antiformes, domos salinos, falhas) ou estratigráficas (Ex.: rochas menos permeáveis, estratificações).

Rochas-reservatório: rochas porosas com boa permeabilidade (ex.: arenitos, conglomerados, ígneas fraturadas, rochas carbonáticas porosas) que permitem o acúmulo e/ou migração de fluidos.

Rochas Selantes: rochas impermeáveis que impedem o escape dos fluidos (ex.: folhelhos, rochas ígneas não fraturadas). Uma rocha geradora pode ser uma selante de outro sistema petrolífero.

Migração: o volume de hidrocarbonetos gerado é maior do que o de querogênio original na rocha. A pressão exercida, fratura e expulsa os fluidos da geradora para regiões com menores pressões (rochas porosas, fraturas, etc.). Devido a sua densidade, essa migração tende a ser para cima.

Sincronismo: Para que haja uma efetiva acumulação é necessário que esses elementos existam no tempo em que a geração e migração começarem. Caso contrário/não sejam síncronos, os hidrocarbonetos gerados podem ser perdidos.

2.3.1 Sistemas Petrolíferos na Bacia do Espírito Santo

Existem quatro intervalos de rochas geradoras. Na fase Rifte, o Mb. Sernambi da Fm. Cricaré (Valanginiano- Aptiano) possui querogênio tipo I, as rochas geradoras dessa idade são responsáveis por três em cada quatro barris de petróleo já descobertos no país (MILANI & ARAÚJO, 2003). Associado aos evaporitos da fase pós rifte, existe um pequeno intervalo com folhelhos pretos contendo querogênio tipo I e II (depositadas em lagunas hipersalinas), do Mb. Mucuri (Aptiano). A fase drifte apresenta dois intervalos, o primeiro, no drifte inicial, associado a plataforma carbonática Albiana da Fm. Regência, com querogênio tipo II, e um segundo intervalo representados por folhelhos orgânicos com querogênio tipo III da Fm. Urucutuca no (Cenomaniano-Turoniano).

O vulcanismo Abrolhos pode ter supermaturado as rochas do rifte na porção norte da bacia e maturado as rochas em porções mais distantes, incluindo esses folhelhos da fm. Urucutuca.

Fiduk et al. (2004) reconhecem três reservatórios principais: carbonatos da Fm. Regência (Albiano), os complexos turbidíticos da Fm. Urucutuca (Campaniano e Maastrichtiano) e da Fm. Rio Doce (Terciário), ambos associados a canais e cânions. Trabalhos mais recentes da ANP (ANP, 2007; ANP, 2015; ANP, 2017) incluem as Areias do Mb Jaguaré (Valanginiano- Aptiano) e do Mb. Mucuri (Aptiano) como possíveis reservatórios.

São reconhecidos dois sistemas petrolíferos principais na Bacia do Espírito Santo: Cricaré– Mucuri e Regência–Urucutuca (MOHRIAK, 2003); e outros três internos: Mucuri-Mucuri, Regência- Regência e Urucutuca- Urucutuca (ANP, 2007; ANP, 2015; ANP, 2017).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo tratará dos sistemas de radar, como interpretar suas imagens para prospecção de exsudações e algumas feições semelhantes (*"seeps look-alikes"*), assim como discorrerá sobre o padrão de correntes marinhas, os métodos geofísicos e exemplos de estruturas que indiquem escape de fluidos.

3.1 Sensoriamento Remoto por RADAR

RADAR (um acrônimo de *Radio Detection and Ranging*, Detecção de Ondas de Rádio e Posição) é um sensor ativo, que atua na região do espectro eletromagnético correspondente às micro-ondas (Figura 5), podendo ser orbital ou aerotransportado. Para a detecção de manchas de óleo no mar, é comum utilizar os orbitais, pois seu relativo baixo custo, em relação a área abrangida, somado a revisita do satélite permitem uma análise através do tempo, servindo de guia para a exploração.



Figura 5: Espectro eletromagnético com ênfase nas micro-ondas e no visível, com exemplos de alguns sensores de Radar e ópticos.

Fonte: Adaptado de Garcia-Pineda et al., 2013.

Sua principal vantagem em relação aos sensores ópticos e termais, é o fato de que o grande comprimento das micro-ondas não é barrado, ou absorvido, pelas partículas ou gases da atmosfera (Figura 6), o que permite a obtenção de imagens mesmo com cobertura total de nuvens.

Por serem sensores ativos, ou seja, possuírem fonte própria que emite a energia eletromagnética, independem de fontes naturais, como o sol, possibilitando o imageamento tanto de dia quanto de noite. Na tentativa de manter segredo militar das faixas espectrais de operação dos primeiros sistemas de radar no século XX, os comprimentos de onda das imagens de radar (Figura 7) são identificados por letras (MENESES & SANO, 2012). É comum, também, se referir às frequências, visto que essas não se alteram ao interagir com um objeto.





Legenda: cinza escuro são regiões em que os gases na atmosfera absorvem a radiação, enquanto que em azul são regiões nas quais a energia passa, permitindo a detecção. Notar que para as micro-ondas, quase toda energia passa pela atmosfera. Fonte: Meneses e Sano, 2012.





Legenda: Janela de absorção da região das micro-ondas, para todos os comprimentos de onda ela é mínima. Embaixo, letras, comprimento de onda e frequências das bandas de radar. Fonte: Adaptado de Meneses e Sano, 2012.

Muitas vezes são chamados de sensores de visada lateral, pois o imageamento é feito perpendicular à direção de voo. Uma antena emite pulsos de energia, que ao interagirem com um objeto são retroespalhados. Parte dessa energia retorna para a mesma antena (agora receptora) após um tempo, permitindo, assim, calcular a distância entre o objeto e a antena e registrar sua posição no terreno.

Em radares de abertura real, a largura do feixe imageado (estreito na direção de voo e comprido na de visada) é controlada pelo tamanho da antena, o que representa uma grande limitação para seu transporte.

As ondas emitidas são polarizadas na direção horizontal (H) ou vertical (V), enquanto que as recebidas podem ser planas ou cruzadas. A polarização plana significa que o pulso foi emitido na mesma direção que o retorno: são HH (planopolarizada) ou VV (planoparalela). Já as cruzadas são decorrentes da despolarização do pulso após a interação com um objeto, ou seja, a polarização emitida é diferente da recebida, são: HV ou VH. Atualmente, muitos radares operam com as quatro combinações, o que aumenta as chances de discriminação dos materiais. Em geral, a polarização HH é mais utilizada para as superfícies terrestres e a polarização VV para as superfícies (ondas) do mar (MENESES & SANO, 2012).

A seguir será apresentado uma série de conceitos de sistemas de radar.

Direção de azimute: direção de voo, o pulso é ortogonal a ela.

Direção de visada (alcance ou range): direção de propagação do pulso, ilumina o terreno de forma lobular. A área inicial mais próxima à antena é denominada de *near range* (alcance próximo) e a mais distante de *far range* (alcance distante). A correta direção de visada realça estruturas no terreno.

Ângulo de depressão (γ): ângulo formado entre a linha horizontal de voo e a linha da direção de visada. Esse ângulo varia do *near para o far range*, adota-se, então, o valor médio.

Ângulo de visada (φ): É o complemento do ângulo de depressão. É medido entre a linha vertical, projetada da antena à superfície do terreno, e a linha de visada.

Ângulo de incidência local (θ): É o ângulo formado entre o pulso de radar e a vertical ao plano da superfície no ponto onde o pulso toca o terreno, é dependente da declividade do terreno.

Para os sensores ópticos existem quatro tipos de resolução: Temporal, Espectral, Radiométrica e Espacial, que também podem ser aplicados para sistemas de radar.

A Resolução temporal está relacionada ao tempo de revisita do satélite, isto é, o período no qual o sensor volta a obter imagens de um mesmo local;

A Resolução Espectral é relacionada à quantidade de faixas do espectro eletromagnético que o sensor é capaz de detectar. Quanto maior o número de bandas, em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimento de onda,

maior é a resolução espectral dos sensores ópticos. Nesse sentido, radares possuem baixa resolução espectral, uma vez que atuam somente na faixa das micro-ondas;

A Resolução Radiométrica é referente à quantidade de níveis de radiância detectáveis por um sensor. Expressa em bits, equivale aos níveis de cinza de uma imagem. Geralmente radares trabalham com 8 bits, ou seja, discriminam até 256 níveis de cinza, podendo alcançar 10 bits, 1024 níveis (LIMA, 2017);

Resolução Espacial é referente ao tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. Comumente é associado ao tamanho do pixel. Para radares essa resolução se divide em duas: 1) Resolução em Alcance (*Range*): medida ao longo da direção de visada e definida por fórmula matemática e 2) Resolução Azimutal: medida na direção paralela à direção da linha de voo, que diz que quanto mais estreita for a largura do feixe iluminado, melhor a resolução.

Essa condição só é alcançada ao se diminuir a distância entre o radar e o alvo (diminuir a altura de voo e, consequentemente, a área recoberta) ou ao se aumentar o tamanho da antena (o que inviabiliza o transporte em aviões ou satélites). Assim, para se obter uma melhor resolução espacial, criaram os radares de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar-* SAR), capazes de simular o efeito de grandes antenas em antenas menores e fáceis de serem transportadas por qualquer tipo de plataforma.

A análise e interpretação de uma imagem de radar é baseada na diferença de rugosidade de uma superfície (Figura 8). Quando ocorre o retroespalhamento do sinal para todas as direções, parte retorna para o sensor, como resultado a imagem aparecerá em tons de cinza (mais claros quanto maior for o retorno) e a superfície será rugosa. Já superfícies lisas ocorrem quando não há retorno de sinal para a antena, ou seja, a superfície funciona como um espelho, refletindo a energia, nesse caso, a imagem resultante será escura e lisa, comportamento comum de áreas com água (rios, lagos, mar).





Fonte: Modificado de Meneses e Sano, 2012.

No mar, a rugosidade é dada pela formação de ondas através da ação dos ventos. O óleo, proveniente de exsudações ou derrames, pode ser identificado em imagens de radar porque sua viscosidade inibe a formação de ondas centimétricas (ondas Bragg), o que resulta em áreas lisas e escuras na imagem. Para que a detecção ocorra, é necessário que o campo de ventos atuante esteja entre 2 e 8 m/s, cerca de 7 e 29 km/h (MIRADA, et al., 2004; LIMA, 2008; REBELLO, 2012; CARVALHO, 2015; TORRES, 2017).

3.2 Feições Semelhantes

Também conhecidas como *seep look-alikes*, são condições em que as ondas capilares (Bragg) são atenuadas, de forma muito semelhante à atenuação provocada por exsudações. Isso implica em um baixo retorno da energia transmitida à antena do radar e, portanto, gera alvos escuros nas imagens (RORIZ, 2006). Tais áreas escuras podem ser causadas por fenômenos naturais (oceanográficos e/ou meteorológicos) e de natureza antrópica. Diversos autores (BENTZ, 2006; LIMA, 2008; PEDROSO, 2009; REBELLO, 2012; RORIZ, 2006; SOLER, 2000) debatem sobre os principais fatores. Para maiores informações, consultar os mesmos e referências neles citados. Outras feições semelhantes são: camadas de gelo, turbulência causada pela popa de embarcações em movimento, limites de correntes, presença de vegetação aquática, convecção atmosférica, e ondas de gravidade atmosférica.

O reconhecimento dessas feições nas imagens é de grande importância para evitar falsas interpretações (SILVA, 2013), conforme descrito a seguir.

Descarte irregular de óleo

A liberação de óleo e outros fluidos (ex.: lama de perfuração) provenientes da produção petrolífera ou da limpeza de tanques, normalmente está associada a pontos brilhantes nas imagens de radar. Esses pixels saturados resultam da forma geométrica das plataformas e embarcações. Uma vez que navios permanecem em movimento enquanto lavam os tanques, seu rastro será alongado (na direção de navegação). Muitas vezes, não é possível identificar a plataforma ou a embarcação responsável pela liberação do óleo, ao exemplo do que ocorreu nas praias do Nordeste Brasileiro na segunda metade de 2019, pois, quanto maior o tempo entre o

descarte do óleo e a aquisição da imagem, maior será a atuação de correntes oceânicas e dos ventos, afastando a mancha de sua estrutura de origem.

Óleos Biológicos

Plânctons, algas e algumas espécies de peixe, liberam uma secreção oleosa que sobe até a superfície do mar, formando uma microcamada que, em condições de calmaria, pode se estender por grandes áreas. A presença dessa microcamada atenua as ondas Bragg, causando um baixo retorno para o sinal de radar. Sua ocorrência geralmente está associada a regiões costeiras e a zonas de ressurgência.

Zonas de Ressurgência

Atenuam as ondas Bragg de duas maneiras: 1) Por serem ricas em nutrientes, permitem a proliferação de algas e, por consequência, cria microcamadas de óleos biológicos (descritos no item acima); 2) Devido à sua temperatura baixa, é menos sensível à ação dos ventos, formando uma área de tonalidade escura e baixo retroespalhamento. Para identificá-las é comum utilizar mapas de temperatura da superfície do mar

Regiões de baixa intensidade de vento

Como visto anteriormente, a velocidade necessária para que se possa detectar óleo no mar, usando imagens SAR, varia de 2 a 8 m/s. Em condições de vento inferiores a 2 m/s ocorre baixo retroespalhamento do sinal de radar, resultando em tonalidades escuras nas imagens, o que, consequentemente, impossibilita a distinção de manchas de óleo. Velocidades superiores a 8 m/s também são prejudiciais à detecção pois a rugosidade excessiva impede a atenuação das ondas Bragg (MIRANDA *et al.*, 2004; RORIZ, 2006).

Regiões de "sombra de vento"

As regiões atrás de barreiras naturais (ex.: montanhas, ilhas) ou antrópicas (ex.: plataformas) apresentam-se lisas e escuras em imagem SAR, já que barram a passagem de vento e inibem a formação de ondas.

Células de chuva

Sobre chuvas intensas, a rugosidade da superfície do mar se altera (Figura 9). As gotas de chuva atenuam, gerando uma superfície lisa e escura (baixo retorno do sinal) no centro da célula, enquanto que nas bordas, dominadas por fortes ventos, a rugosidade aumenta e gera áreas mais claras (maior retroespalhamento) nas imagens. Essas nuvens são identificadas por mapas de temperatura do topo de nuvem.



Figura 9: Desenho esquemático de uma célula de chuva sobre a superfície do mar.

Fonte: Roriz, 2006.

Ondas Internas

Formadas onde ocorre estratificação da água (Figura 10), formam células de convecção em profundidade que geram regiões lisas (zonas de convergência de fluxo) e rugosas (zonas de divergência de fluxo) na superfície do mar.





Fonte: Silva, 2013.
Intrusões de água doce e poluição costeira

As intrusões de água doce (desembocadura de rios) e poluição costeira (produtos químicos ou substâncias orgânicas) produzem baixo retorno de sinal para o radar (MIRANDA et al., 2004; RORIZ, 2006).

3.3 Sentinel-1

Lançado pela Agência Espacial Europeia (ESA) como parte do Copernicus (Programa de Observação da Terra da União Europeia), a missão Sentinel-1 (Figura 11) é composta por dois satélites: Sentinel-1A e Sentinel-1B (lançados em 2014 e 2016, respectivamente) que se encontram na mesma órbita (643km de altitude), com diferença de fase de 180°, e carregam um Radar de Abertura Sintética (SAR), que opera na banda C (frequência: 4-8 GHz, comprimento de onda: 3,75 - 7,5 cm).

A missão tem como objetivos monitorar os meios terrestre e marinho a nível global, com ênfase nas massas terrestres, zonas costeiras, rotas marítimas, gestão de emergências, segurança e mudanças climáticas. Para alcançá-los, contam com a frequência de revisita, assim como com a cobertura, pontualidade e confiabilidade dos dados (ESA, 2014).



Figura 11: Ilustração representativa de um dos satélites Sentinel-1.

Fonte: ESA, 2014.

Em passagem única (ascendente ou descendente, Figura 12) conseguem mapear a Terra em 12 dias (um ciclo de cada satélite). Esse tempo cai pela metade (6 dias) ao se considerar os dois satélites. Vale ressaltar que esta frequência de revisita é variável, visto que o espaçamento entre as faixas da órbita varia com a latitude, ou seja, o tempo de revisita é significativamente menor em latitudes mais altas (próximas aos polos) do que no Equador (ESA, 2014), como mostra a Figura 12.



Fonte: Adaptado de ESA, 2014.

A constelação possui dois modos de aquisição principais: IW (Interferometric Wide Swath Mode) e WV (Wave Mode), e dois extras: SM (Stripmap Mode) e EW (Extra-Wide Swath Mode), demonstrados na Figura 13, com capacidade de operar nos modos de dupla polarização - HH/HV ou VV/VH - e polarização única - HH ou VV - (ESA, 2014). Suas principais aplicações são listadas na Tabela 2 enquanto que a Tabela 3 mostra a área e resolução espacial de cada modo de aquisição.

Tahela	2.Princi	nais a	nlicações	: do	Sentinel-1
i abela	Z.F 11101	pais a	μπραγοσε	s uo	Sentine- I

Aplicação		Modo			
Αριιταζαυ	SM	IW	EW	WV	
Ártico e gelo marinho		Х	Х		
Vigilância de navios em mar aberto		Х	Х		
Monitoramento de poluição de óleo		Х	Х		
Ventos marítimos				Х	
Florestas		Х			
Agricultura		Х			
Cartografia de deformação urbana		Х			
Monitoramento de inundações		Х			
Análise de sismos	Х	Х			
Monitoramento de deslizamento de encostas e vulcões	Х	Х			

Fonte: Saraiva, 2015.



Figura 13: Modos de Aquisição de imagens pela Constelação Sentinel-1.

Fonte: Adaptado de ESA, 2014.

Tabela 3: Características dos Modos de aquisição do Sentinel-1

	SM	IW	EW	WV
Largura da	80 km) km 250 km 400 ki		Cada cena:
faixa				20 x 20 km
Resolução	5 x 5 m	5 x 20 m	Menor que	Menor que
espacial	0 x 0 m	0 X 20 m	20 x 40 m	5 x 20 m
				Padrão ziguezague.
Distância ontro	Δαμίειςão	Δαμίειςδο	Δαμίειςão	100 km (ângulos
imagang/aanag	Aquisição	Aquisição	contínua	diferentes)
illiagens/cellas	continua	continua		ou 200 km (ângulos
				iguais)

Fonte: Adaptado de ESA, 2014.

Os dados são disponibilizados em diferentes níveis e tipos de produto:

Level - 0:

Disponível para os modos SM, IW e EW na forma de dados brutos (RAW). Level- 1:

Subdividido em dois produtos:

- a) Single Look Complex (SLC): disponível para todos os modos de aquisição, são georreferenciados usando dados de órbita e atitude do satélite, a partir de visada única;
- b) Ground Range Detected (GRD): disponível para SM, IW e EW, são georreferenciados usando do elipsóide WGS84, a partir de visada múltipla.

Level- 2: Ocean (OCN):

Possui 3 produtos:

- a) Ocean Swell Spectra (OSW- "espectro de ondas"), com resolução espacial de 20 x 20 km, disponível nos modos SM e WV;
- b) Ocean Wind Fields (OWI- "campo de ventos"), com resolução espacial de 1 x 1 km, disponível nos modos SM, IW e EW;
- c) Surface Radial Velocity (RVL- "velocidade radial da superfície"), com resolução espacial de 1 x 1 km (SM, IW e EW) e 20 x 20 km (WV).

3.4 Radarsat-2

Lançado em dezembro de 2007, o satélite é fruto de uma parceria públicoprivada entre a Agência Espacial Canadense (CSA) e a *MacDonald Dettwiler Associates Ltd.* (MDA). O RADARSAT-2 encontra-se na mesma órbita que seu antecessor, RADARSAT-1, cerca de 798 km de altitude, e carrega um Radar de abertura sintética (SAR) que opera na banda C. Sua visada dupla permite um menor tempo de revisita, variando de 1 dia, para altas latitudes, a 3 dias próximo ao Equador (CSA-ASC, 2015).

Além de dar continuidade ao programa RADARSAT, continuando a fornecer dados aos usuários do RADARSAT-1 e para novos aplicativos adaptados às necessidades do mercado, a missão tem como objetivos: A) O monitoramento ambiental (incluindo gelo); B) O gerenciamento de recursos naturais e desastres; C) Melhorar a vigilância costeira; e D) Mapeamento (modelos digitais de elevação e geológicos).

Ao contrário do Sentinel-1, seus dados são comerciais e podem ser solicitados através do site da MDA. A Figura 14 e a Tabela 4 sumarizam os modos de aquisição.



Figura 14: Modos de Aquisição de imagens do RADARSAT-2.

Fonte: Beaton et al., 2017.

RADARSAT-2						
Caracteristicas Comuns	Modo	Visada	Polarização	Resolução Espacial	Área Imageada	
	Fine	37 a 49°	37 a 49° HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH, HH+VV+HV+VH		50 km²	
	Standart	20 a 49°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH, HH+VV+HV+VH	25 x 28 m	100 km²	
	Low Incidence	10 a 23°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH	40 x 28 m	170 km²	
	High Incidence	50 a 60°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH	25 x 28 m	150 km²	
Banda C	Wide	20 a 45°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH	25 x 25 m	100 km²	
Resolução Espectral: 16 bits	ScanSAR Narow	20 a 46°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH	50 x 50 m	300 km²	
Resolução Temporal: 24 dias	SacanSAR Wide	20 a 49°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH	100 x 100 m	500 km²	
	Fine Quad-pol	20 a 41°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH, HH+VV+HV+VH	11 x 9 m	25 km²	
	Standart Quad-pol	20 a 41°	HH, VV, HV, VH, HH+VV, VV+VH, HH+VV+HV+VH	25 x 28 m	25 km²	
	Ultra-Fine	30 a 40°	HH, VV	3 x 3 m	20 km²	
	Multi-Look Fine	30 a 50°	HH, VV	11 x 9 m	50 km²	

Tabela 4: Modos de Aquisição e informações do RADARSAT-2.

Fonte: Modificado de Embrapa, 2020.

3.5 Sentinel-3

Também lançada pela ESA em 2016, a missão Sentinel 3 tem como objetivos principais: medir a "topografia da superfície marinha", a "temperatura de superfície marinha e terrestre" e a "coloração de superfície marinha e terrestre", dando continuidade aos dados de outras missões, como ENVISAT e SPOT, com nível muito alto de disponibilidade (> 95%), alta precisão e confiabilidade (ESA, 2015).

Assim como a missão Sentinel-1, esta é composta por dois satélites, Sentinel 3A e 3B, lançados respectivamente em 2016 e 2018, que orbitam a Terra à 814,5 km de altitude, com um ciclo de 27 dias, isto é, o tempo em que cada um volta a passar

sobre o mesmo local. Sua órbita síncrona ao sol permite que a superfície imageada esteja sempre iluminada pelo mesmo ângulo de luz solar.

Possuem 4 instrumentos principais (abaixo) e três complementares para calibrar a precisão.

a) **<u>OLCI</u>**: Ocean and Land Colour Instrument

Instrumento que mede a reflexão da radiação solar em 21 bandas espectrais (0.4-1.02 µm) com o objetivo de coletar informações biológicas e atmosféricas. Cada cena abrange uma área de 1270 km com resolução especial de 300m. Esse campo de visada, permite uma cobertura global em torno de 2-3 dias.

b) **<u>SLSTR</u>**: Sea and Land Surface Temperature Radiometer

Instrumento que mede a temperatura superficial (marinha e terrestre), com aplicações climatológicas e meteorológicas, assim como monitoramento, combate e prevenção de incêndios. Cada cena cobre uma área de 1400 km, permitindo uma cobertura global em cerca de 2 dias. Sua resolução varia de 500 m, para as bandas ópticas, até 1 km, para as bandas do infravermelho-termal.

c) SRAL: SAR Radar Altimeter

Altímetro SAR com o objetivo de estudar a topografia oceânica, traz informações principalmente da média do nível do mar, velocidade de ventos, altura das ondas, etc... Aplicado tanto para zonas tropicais, quanto polares.

 d) <u>MWR</u>: Microwave Radiometer Radiômetro de micro-ondas, também é utilizado para medições topográficas.

Os instrumentos OLCI e SLSTR são utilizados como fonte de dados meteorológicos e oceanográficos, sendo proveitosos para detecção e identificação de exsudações. Dois de seus produtos, a "Concentração de pigmento algal" (*Algal pigment concentration*) e a "Temperatura de Superfície Marinha" (*Sea Surface Temperature*), são fundamentais para discernir exsudações naturais de feições semelhantes.

3.6 Correntes Marinhas na Costa do Espírito Santo

De acordo com Stramma & England (1999) A circulação de grande escala no Oceano Atlântico Sul é marcada por quatro grandes correntes: Corrente do Atlântico-Sul (ao sul), Corrente de Benguela (a leste, na costa Africana), a Corrente Sul-Equatorial – CSE (na porção norte) e a Corrente Brasileira (em nossa costa).

O padrão de correntes na costa brasileira é formado por um complexo e estratificado sistema de escoamento, composto pela Corrente do Brasil (CB), pela Corrente de Contorno Intermediária (CCI) e pelas Sub-corrente Norte do Brasil (SNB) e Corrente Norte do Brasil (CNB) (SOUTELINO, 2008).

Ao atingir a margem continental brasileira, a CSE, vinda de leste, se bifurca, tanto para Norte quanto para Sul, formando a Corrente do Brasil.

Stramma & England (1999) subdividem a porção superior do Oceano Atlântico Sul (de 0 a 1000 metros de profundidade) em 3 camadas. A divisão é relacionada às principais massas de água: 1) a Camada Superficial, até 150m, relacionada à Água Tropical (AT); 2) a Camada Picnoclina (SOUTELINO, 2008), entre 150-500m, relacionada à Água Central do Atlântico Sul (ACAS); e 3) Camada Intermediária de 500-1000m relacionada à Água Intermediária Antártica (AIA). Cada uma atinge a margem continental brasileira em um local (Figura 15), a camada superficial em 15°S (a sul de Salvador); a camada pictoclínica em 20°S (a sul de Vitória); e a camada intermediária a 25°S (SOUTELINO, 2008).

A maior parte das correntes atuantes na Bacia do Espírito Santo se movem para sul, em todos os níveis de água, exceto a Corrente de Contorno Intermediário (CCI). Formada ao sul do paralelo de 25ºS, a cerca de 2 mil

Existe ainda a Corrente de Contorno Profundo (CCP), entre 1500-3000m, que flui para sul e ocupa o sopé continental e parte da planície abissal, e está relacionada à Água Profunda do Atlântico Norte (APAN).



Figura 15: Correntes Marinhas da Costa ao longo da margem continental brasileira

Legenda: Esquema do escoamento do sistema de correntes de contorno oeste, ao longo da margem continental brasileira. AT:Água Tropical ; ACAS: Água Central do Atlântico Sul; AIA: Água Intermediária da Antártica; APAN: Água Profunda do Atlântico Norte; CB: Corrente do Brasil; CNB: Corrente Norte do Brasil; SNB: Sub-corrente Norte do Brasil; CSE: Corrente Sul-Equatorial ; CCI: Corrente de Contorno Intermediária ; CCP: Corrente de Contorno Profunda. Fonte: Stramma & England, 1999, adaptado por Soutelino, 2008.

A nível de pequena a meso escalas, a morfologia do fundo marinho e o padrão de ventos também influenciam no padrão de correntes, sobretudo as superficiais, propiciando vórtices (redemoinhos) (PRATA, 2007) e até mudanças locais no padrão de correntes.

3.7 Métodos Geofísicos

A aquisição e o processamento de dados sísmicos são bastante compensadores para a indústria, visto que ao abrangerem grandes áreas, diminuem

o custo de perfuração. A partir dos indicativos sísmicos, pode-se furar um poço de exploração com maior chance de sucesso, reduzindo, assim, os gastos.

Dentre os métodos geofísicos, destaca-se a sísmica de reflexão, cujos avanços tecnológicos se devem à indústria de óleo e gás. Amplamente utilizado, esse método se baseia no fato de que as ondas elásticas viajam com velocidades diferentes nas rochas de composições distintas (KEAREY, BROOKS e HILL, 2009). A operação de aquisição sísmica, de uma forma simplificada, é realizada da seguinte forma:

Um navio, transporta uma fonte de pulsos sísmicos (ondas de som) e, utilizando cabos, muitas vezes com centenas de metros, arrasta uma série de hidrofones, os sensores responsáveis por captar a resposta das rochas aos pulsos emitidos. A fonte, canhão de ar ou água (*air* ou *water guns*), dispara pulsos de energia, que percorrem toda a lâmina d'água, atingem o fundo marinho e penetram nas camadas de rocha.

Ao atingir uma interface, parte da energia é refletida, parte é absorvida e parte continua a penetrar nas camadas de rocha mais profundas. As reflexões são formadas quando uma onda sísmica passa por uma interface que mostra contraste velocidade-densidade suficiente. Esse contraste, chamado de impedância acústica, é produto da densidade e da velocidade de propagação da onda nas camadas de rochas, e marca locais de descontinuidade ou discordância nos limites do estrato.

Após um tempo, a energia refletida volta a superfície, onde é detectada pelos hidrofones. O sinal é então empilhado, filtrado e pré- ou pós- processado, gerando um produto final que é similar a uma seção geológica. Vale ressaltar que o eixo Y não se refere a profundidade e sim ao tempo que o pulso levou entre ser emitido pela fonte e ser detectado pelos hidrofones.

As reflexões primárias são aquelas que retornam a superfície após interagirem com uma interface, e representam o dado real (o tempo de retorno correto). Já as múltiplas (Figura 16) ocorrem quando as ondas refletem mais de uma vez, em outras interfaces (dentro de uma mesma camada) antes de retornarem à superfície. Aqui, o tempo de retorno é maior e não condiz com as propriedades reais da rocha, atrapalhando a interpretação. Uma série de filtros e procedimentos são aplicados para melhorar a relação sinal-ruído e, dessa forma, permitir uma melhor interpretação, assim como permitem migrar a resolução vertical de tempo para a profundidade.





Fonte: Kearey et al., 2009.

A resolução sísmica é dependente do quanto de energia retorna para o sensor, desta forma, a resolução vertical diminui em função da profundidade, porque as ondas sísmicas em profundidade tendem a ter 1) uma baixa frequência dominante, devido à progressiva perda das altas frequências por absorção e 2) altas velocidades por causa dos efeitos de compactação dos sedimentos. A máxima resolução possível está entre um quarto e um oitavo do comprimento de onda dominante do pulso (KEAREY, BROOKS e HILL, 2009). Para as grandes profundidades, comuns na exploração petrolífera, a resolução é da ordem de dezenas de metros. Desse modo, as técnicas de aquisição sísmica não permitem ter, simultaneamente, alta resolução e grande penetração em profundidade (VEEKEN, 2007). Já a resolução horizontal depende do espaçamento entre os hidrofones, equivalente à metade da distância entre eles (KEAREY, BROOKS e HILL, 2009).

A grande vantagem desse método é que pode obter dados continuamente por centenas de quilômetros, em 2D, 3D e até 4D. Levantamentos bidimensionais (2D) mostram uma área contida num plano vertical, enquanto que o produto de levantamentos tridimensionais (3D) é um volume de dados. A partir dele é possível gerar seções 2D para quaisquer direções, assim como gerar cortes temporais (*time slices*), que mostram o padrão de reflexões interceptadas por qualquer plano de tempo. Os Levantamentos sísmicos 4D consistem na repetição de aquisições 3D em intervalos regulares de tempo, o que permite o monitoramento do reservatório e, desse modo, aumenta a recuperação de hidrocarbonetos, tendo como resultado, um aumento no retorno financeiro da empresa.

Para o melhor controle dos refletores, é comum calibrar a sísmica com dados de poços. Com o auxílio de outras ferramentas, magnetometria e gravimetria, por exemplo, algumas estruturas podem ser melhor definidas, como é o caso de estruturas salíferas, visto que o sal é um limitante da sísmica, suas bordas tendem a se confundir com locais de pouco sinal (VEEKEN, 2007).

A evolução das tecnologias permite reconhecer não somente as feições estruturais, mas também unidades estratigráficas. Com base nessa técnica, criou-se a Sismoestratigrafia, que consiste em uma ferramenta de interpretação estratigráfica através de dados sísmicos ou, em outras palavras, o uso de refletores para reconhecer e analisar relações espaço-temporais em uma sequência de camadas geológicas. Seu objetivo é identificar sequências deposicionais, paleoambientes e a distribuição das litofácies.

Mitchum, Vail e Thompson (1977) definiram uma Sequência Deposicional como uma unidade estratigráfica composta por uma sucessão de estratos geneticamente relacionados, que é delimitada na base e no topo por discordâncias ou concordâncias relativas. Sua individualização é dada por padrões, como descritos por Vail et al. (1977).

São quatro grandes grupos de refletores reconhecíveis em seções sísmicas:

Artefatos e Refletores Artificiais: Presença de múltiplas;

Refletores sedimentares: representam planos de acamamento, intervalos de tempo com condições similares e contínuas de sedimentação;

Refletores Não Sedimentares:

- Presença de falhas coloca lado a lado duas litologias com impedâncias acústicas diferentes, enquanto que o plano de falha tende a apresentar menor energia (atenuada durante o processamento);
- Presença de fluidos dentro de poros, gás, água e óleo possuem comportamentos diferentes e, portanto, influenciam a reflexão, o que permite marcar o contato entre eles dentro de um reservatório;

Mudança de fase mineral, como a discordância Moho;

Discordâncias: Superfícies de erosão e/ou não deposição, consistem em lacunas temporais no registro geológico. Geram reflexões por separarem camadas com diferentes propriedades físicas. As superfícies geradas são diacrônicas.

Vail, et al. (1977) reconhecem diversas relações entre os refletores, como: Toplap, Truncamento erosivo, Onlap, Downlap, concordância ou conformidade (Figura 17).



Fonte: Modificado de Mitchum et al., 1977.

O reconhecimento de tais feições, permite a identificação de sistemas petrolíferos. Um exemplo de feição que indica migração e/ou escape de fluidos são as *pockmarks*.

3.7.1 Pockmarks

Definidas por King & MacLean (1970), *Pockmarks* são depressões côncavas parecidas com crateras (Figura 18), indicativas de fluxo concentrado de fluidos. Descrita originalmente para explicar crateras na base da plataforma da Escócia, hoje sabe-se que são encontradas ao redor do mundo, em sedimentos lamosos de ambientes marinhos ou lacustres.

São formadas pelo escape concentrado de fluidos em sedimentos superficiais finos e de baixa permeabilidade (HOVLAND & JUDD, 1988), ou seja, representam a expressão superficial ou manifestação (periódica) de áreas subterrâneas com alta pressão de água (aquíferos confinados) e/ou sedimentos ricos em gás.



Figura 18: Pockmarks na Bacia de Campos.

Fonte: Mahiques et al., 2017.

Existem diversas aplicações para as *Pockmarks*, alguns autores, como Hovland et al. (2002) e Reusch et al. (2016), defendem que sua atividade aumenta poucos dias antes de ocorrer sismos ou grandes deslizamentos submarinos. Já para a indústria, podem ser utilizados como indicativos de acumulação de hidrocarbonetos (HOVLAND, GARDNER e JUDD, 2002; JATIAULT *et al.*, 2019), como mostra a Figura 19, mas, também, prejudicam a parte geotécnica, pois favorecem deslizamentos e rompimentos de dutos. Com base na sísmica 2D ou 3D, é possível observar essas marcas, que podem ser a origem das *seeps* observadas nas imagens SAR.

Através da sísmica, pretende-se encontrar feições semelhantes às encontradas por Jatiault et al. (2019), em que falhas associadas a um domo de sal, permitiram a migração de óleo e seu escape por uma *pockmark*.

Duarte et al. (2017), apresentam um modelo evolutivo para uma *pockmark* que foi soterrada (Figura 20): 1) Acúmulo de fluidos, que 2) vencem a poropressão e escapam, formando a *pockmark*; 3) sedimentação enterra essa feição; e 4) o processo se repete com o aparecimento de uma nova *pockmark* no mesmo local.

Figura 19: Pockmark com óleo.



Legenda: Linha sísmica e interpretação: mostra *porckmark* próxima a diápiro de sal. Fonte: Adaptado de Jatiault et al. 2019.



Figura 20: Modelo evolutivo de uma pockmark soterrada.

Legenda: Modelo evolutivo para uma pockmark que foi soterrada: 1) Acúmulo de fluidos, que 2) vencem a poropressão e escapam, formando a pockmark; 3) sedimentação enterra essa feição; e 4) o processo se repete com o aparecimento de uma nova pockmark no mesmo local.Linhas pretas representam os refletores sísmicos. Setas vermelhas: possíveis caminhos de migração. Círculos e gotas cinzas: fluidos. Fonte: Adaptado de Duarte et al., 2017

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Thrasher et al. (1996), advogam que é necessário conhecer bem a bacia, não só para interpretar, mas também para encontrar as exsudações, pois podem apresentar distintos estilos, dependendo das condições geológicas. A migração lateral pode percorrer dezenas a centenas de quilômetros, fazendo com que a exsudação não esteja diretamente acima de um campo. A presença de feições estruturais (falhas, fraturas, dobras) relacionadas à tectonismo ativo ou halocinese, como é o caso da Bacia do Espírito Santo, focam a migração pra cima, produzindo exsudações em locais pontuais e específicos.

O Sensoriamento Remoto por SAR é um método indireto, que mede a rugosidade e não as propriedades químicas dos materiais. Dessa forma, sozinho, consegue apenas apresentar indícios de que uma exsudação ocorra, mas não definir se a feição é ou não óleo. Portanto, com o objetivo de aumentar a confiabilidade desses indícios, faz-se necessário o uso de outros dados (meteorológicos, oceanográficos, sísmicos, etc.). A confirmação só é possível após verificação in situ e análise química dos hidrocarbonetos.

Após a Revisão Bibliográfica, a metodologia adotada pode ser dividida em 4 fases, por vezes simultâneas: Imagens SAR; Dados meteorológico-oceanográficos; Linhas Sísmicas e, por fim, a Classificação das possíveis exsudações. Tais etapas são resumidas no Fluxograma 1.

Fluxograma 1: Metodologia proposta.



Fonte: O Autor, 2021

4.1 Imagens SAR

4.1.1 Seleção e Aquisição das imagens SAR:

Com o objetivo de cobrir toda a porção marítima da Bacia do Espírito Santo, a área de cobertura foi o fator que mais influenciou na escolha das imagens. Com base nisso, verificou-se no acervo do Laboratório de Sensoriamento Remoto Aplicado da UERJ/ LARS-UERJ, as imagens RS2 disponíveis, resultando em apenas 21 imagens (Figura 21).



Figura 21: Localização das imagens RADARSAT-2 em relação a Bacia do Espirito Santo

Já as imagens ST1, possuem área de cobertura limitada a uma faixa (com cerca de 250km) que abrange boa parte da bacia (Figura 22). Foram escolhidas de acordo com a nomenclatura (ESA, 2014) e adquiridas diretamente do Copernicus site de visualização e download de produtos das missões Sentinel, disponibilizados de forma gratuita pela ESA pelo período de 1 ano, Figura 23, (ESA, 2017).

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 22: Localização das imagens Sentinel-1 em relação a Bacia do Espirito Santo

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Figura 23: Visão do site Copernicus Open Access Hub.



Fonte: ESA, 2017.

Como mostra a Figura 10, o modo de aquisição ideal para a identificação de óleo no mar (seja natural ou por ação humana) é o IW (*Interferometric Wide Swath*). Através de vários algoritmos o dado bruto (Level-0) é transformado em um produto (de Level-1) GRD (*Ground Range Detected*), que abrange uma faixa (*swath*) de 250km, possui uma resolução de 20x22m, e um espaçamento entre pixels na ordem de 10x10m.

Antes de processar as imagens de level-1 (GRD), verificou-se os dados OCN (*Ocean*) de Level-2, em especial, o campo de ventos. As imagens, com predomínio de ventos inferiores a 2 m/s ou superiores a 8 m/s, foram descartadas. Ao todo 23 imagens SENTINEL-1, que abrangem o período entre Setembro de 2019 e Maio de 2020, constituem a base de dados e apenas 8 delas possuem feições passíveis de serem exsudações.

É importante que se tenha um bom número de imagens que recobrem a área, pois, como exsudações naturais tendem a se repetir ao longo do tempo, uma alta taxa de cobertura aumenta a confiabilidade da interpretação. As Tabelas com informações das imagens utilizadas podem ser encontradas no Apêndice B (Tabelas AB 1 e AB 2).

Vale ressaltar que pelas características de aquisição dos satélites, as imagens ocupam áreas diferentes (ST1- menores, RS2- maiores), e por vezes extrapolam os limites da Bacia do Espírito Santo, englobando parcialmente o sul da Bacia Mucuri e o norte da Bacia de Campos. Pelas mesmas características, as imagens ST1 possuem uma sobreposição quase que perfeita em relação umas às outras.

4.1.2 O Processamento das Imagens

Uma vez selecionadas, as imagens SAR foram processadas no software PCI Geomatica, seguindo os passos do Fluxograma 2.



Fluxograma 2: Pré-Processamento no software PCI Geomatica

Legenda: Importa-se o TIF inicial, exportando-o para a extensão PIX (nativa do software), depois ortorretifica para WGS 84, reprojeta pelo método cúbico (com célula de 50x50m), aplica-se o filtro Frost (células 3x3 pixels), realça o contraste no histograma e finalmente exporta o TIF final. Fonte: O Autor, 2021.

4.1.3 <u>A interpretação das feições escuras</u>

O produto resultante do processamento foi carregado no software ESRI/ ArcMap versão 10.7.1, onde ocorreu a fotointerpretação das feições escuras de cada imagem. Essas foram representadas por elipses que melhor se ajustavam, e depois por seus centroides.

Exsudações naturais tendem a se repetir ao longo do tempo, próximas ou no exato local em que foram identificadas, enquanto que outros fenômenos naturais e antrópicos tendem a ocorrer de maneira pontual.

Contudo, dependendo das condições no momento da aquisição, exsudações podem existir, mas não aparecer em todas as imagens. Logo, para aumentar a confiabilidade da interpretação, faz-se necessário um número maior de imagens SAR. A Figura 24 representa a área de cobertura das 29 imagens (21 RS2 e 8 ST1) que possuem feições escuras passíveis de serem exsudações. Nela podemos observar que, por cobrirem uma área menor, englobada pelas imagens RS2, a área coberta

pelo ST1 é a que apresenta melhor cobertura e, consequentemente, maior confiabilidade.



Figura 24: Mapa de Cobertura das imagens SAR selecionadas em relação a Bacia do Espírito Santo

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Pelo mapa é possível identificar que a área de estudo é bem recoberta, contendo ao menos 12 imagens (porção superior esquerda), o que aumenta a confiabilidade das feições encontradas, sobretudo da parte central, que é recoberta por mais de 21 imagens. Já para regiões mais profundas (pouco interessantes para a prospecção), à leste, a cobertura é menor.

Foram identificadas tanto feições semelhantes como feições passíveis de serem exsudações. Um meio para diferenciá-los envolve a repetibilidade das feições ao longo do tempo e a interpretação de dados meteorológico-oceanográficos. Ao final, cada feição encontrada recebeu um peso, para que se pudesse calcular sua classificação em relação às demais.

Outro ponto a ser observado é a proximidade das feições escuras com embarcações e plataformas: quanto mais próximas, maiores as chances de não serem exsudações. Nas imagens SAR, navios são reconhecidos como "pontos brilhantes" (*brightspots*) que se movem (ou somem) de uma imagem para a outra, enquanto que os que ficam imóveis são considerados plataformas de produção. Assim sendo, após mapear esses "pontos brilhantes", foram feitos, para cada imagem, *buffers* de múltiplos anéis com diferentes raios, variando de 1km até 50km, com o objetivo de ver a proximidade das feições com as embarcações (Figura 25).



Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Posteriormente, atribuiu-se um peso para as feições de acordo com cada faixa de distância em que foram encontradas, conforme mostra a Tabela 5.

4.2 Dados Meteorológico-oceanográficos

Uma forma de diminuir as incertezas em relação às feições interpretadas na imagem SAR é a comparação com dados meteorológicos (ex.: velocidade do vento, presença de nuvens de chuva, etc.) e oceanográficos (ex.: temperatura da superfície do mar, concentração de clorofila, etc.).

No entanto, não foi possível recuperar esses dados para as imagens RS2 (datadas de 2010). Já para as imagens mais recentes (do ST1), as principais informações adquiridas foram o Campo de Ventos, Concentração de Clorofila e Temperatura da Superfície do Mar.

Como visto anteriormente, há um predomínio das correntes marinhas fluírem para sul. Contudo, devido à falta de dados sobre suas velocidades (tanto em profundidade quanto em superfície), as correntes não foram consideradas no cálculo da classificação das possíveis exsudações.

Os dados batimétricos utilizados são provenientes do Projeto Batimetria (CPRM & ANP, 2013).

Campo de Ventos

Devido a propriedades do radar, é possível obter a velocidade e direção estimadas do campo de ventos na superfície (Figura 26), processando os dados de nível 1 (GRD) para dados de nível 2 (OCN). O processamento se deu pelo software SNAP- *Sentinel Application Platform*- e permitiu identificar zonas com baixa taxa de ventos, que formam "feições semelhantes" (menores que 2 m/s).



Figura 26: Mapa de Campo de Ventos para a imagem Sentinel-1 de 07 de Abril de 2020.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Ressalta-se aqui que valores pontuais, como o de 17 m/s na imagem acima, não levaram ao descarte da mesma. Há duas formas de se obter a velocidade e direção dos ventos a partir de uma imagem Sentinel-1: A) baixando os dados OCN referentes às imagens GRD, através do Copernicus, e abrindo no SNAP os dados vetoriais "Campo de Ventos"; ou B) extraindo diretamente da imagem GRD, após diversos processos realizados no SNAP, seguindo os passos do Fluxograma 3.



Fluxograma 3: Metodologia de extração do Campo de Ventos através

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software SNAP.

O resultado é semelhante para as duas formas, sendo necessário exportar como shape file para poder trabalhar em ambiente GIS.

4.2.1 Seleção das Imagens Sentinel-3

Como descrito anteriormente, tanto a temperatura quanto a presença de algas na superfície afetam o retorno de energia ao sensor de radar, podendo gerar feições semelhantes a exsudações de óleo.

Uma vez estabelecidas as imagens ST1 com possíveis ocorrência de óleo, foram selecionadas imagens do ST3 para confecção de mapas de temperatura da superfície do mar e de concentração de clorofila. Seu download foi realizado no Coda EUMESAT, empresa parceira da ESA que, assim como o Copernicus, disponibiliza gratuitamente, por tempo limitado, os dados referentes ao ST3.

Novamente, o processamento se deu no SNAP, seguindo a metodologia apresentada nas Figuras 27A e 27B:

Porém, por se tratar de outro satélite, o horário, e em muitos casos até mesmo o dia, em que passava não era o mesmo do sensor de radar. Ademais, por ser um sensor óptico, está sujeito a cobertura de nuvens, muito comuns na região, que atrapalham a interpretação dos dados.



Legenda: Metodologia aplicada nas imagens Sentinel-3 para extração dos dados: A) de Concentração de Clorofila; e B) de Temperatura da Superfície do Mar. Como os dados de Temperatura da Superfície do Mar são pesados, recortar a área de interesse antes de processar, diminui drasticamente o tempo de processamento. Fonte: O Autor, 2021.

Figura 27: Metodologia aplicada nas imagens Sentinel-3

Como não foi possível recuperar os dados meteorológico-oceanográficos para as imagens RS2, e devido a indisponibilidade para algumas imagens ST1, tais dados foram apenas utilizados para auxiliar a interpretação, sendo excluídos da distribuição de pesos.

4.3 Linhas Sísmicas

Uma vez definida a área de estudos e selecionadas as imagens, foi a vez de levantar os dados disponíveis através do GeoANP (plataforma de visualização de dados da ANP). Trabalhos anteriores confirmaram a presença de exsudações próximas à foz do Rio Doce, em Linhares, e em outras regiões da bacia (MELLO, 2007; FREIRE et al., 2017). Dessa forma, com o objetivo de identificar os possíveis canais migratórios e/ou estruturas que possibilitem o escape de fluidos, foram solicitados, junto à ANP, dois levantamentos sísmicos 2D, representados pelas linhas amarelas e azuis na Figura 28.



Figura 28: Localização das linhas sísmicas 2D.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A análise das linhas sísmicas foi inicialmente realizada no software IHS Markit Kingdom mas, devido às limitações impostar pela pandemia de covid-19, parte teve que ser feita no OpendTect. A interpretação se deu pelo mapeamento de estruturas (ex.: falhas, fraturas, etc.) que cheguem próximas ao fundo marinho. Na maioria dos casos, elas estão associadas a quebra da plataforma ou a domos de sal. Contudo, a interpretação estratigráfica não foi realizada.

4.3.1 Atributos Sísmicos: TecVA

Para uma melhor interpretação foi utilizada a Técnica Volume de Amplitudes (TecVA) de Bulhões & Amorim (2005), também chamada de "*Pseudo Relief*". Esse atributo sísmico tem como principais objetivos facilitar a identificação de descontinuidades (falhas e fraturas) e a interpretação dos horizontes. Para tal, 1) calcula-se a média da Amplitude RMS, através de uma janela móvel de tempo, em milissegundos, correspondente a menor espessura que um dado sísmico consegue registrar (princípio da sismocamada elementar, Figura 29); e 2) aplica-se a transformada inversa de Hilbert, rotacionando em 90º a fase da amplitude RSM (BULHÕES & AMORIM, 2005).



Fonte: Bulhões & Amorim, 2005.

Além de garantir que apenas as informações desejadas sejam disponibilizadas, a técnica aumenta os contrastes sísmicos, fazendo com que a seção sísmica convencional se assemelhe a afloramentos reais, o que possibilita uma melhor visualização das características geológicas.

4.4 Integração dos dados e Classificação das Exsudações

Nesta etapa final, ocorreu a Integração dos dados de Sensoriamento Remoto, sísmicos e Geológicos, a qual permitiu a quantificação e hierarquização das possíveis exsudações encontradas.

Com o objetivo de poder ranqueá-las, das mais para as menos prováveis, atribuiu-se pesos, entre 0,1 e 1,0 (respectivamente o pior e o melhor cenário), a três parâmetros e seus critérios: SAR (distância de embarcações, repetibilidade das feições, área e razão comprimento/largura das feições), Geológicos (domínios tectônicos) e Sísmicos (distância das linhas sísmicas, presença de estruturas e, distância das estruturas).

O primeiro é puramente relativo à interpretação das imagens SAR, enquanto que os aspectos geológicos e sísmicos só foram possíveis após a assimilação de todos os dados.

4.4.1 <u>SAR</u>

Distância de embarcações

Como visto, a presença de embarcações (navios, plataformas, etc.) pode indicar "feições semelhantes" de origem antrópica. Através do *Buffer* de múltiplos raios, 5 categorias (1, 5, 10, 25 e 50km) foram definidas. Quanto maior a distância de embarcações, mais plausível é de ser uma exsudação (Tabela 5).

"Distancia de embarcações"				
Critério				
Distância	Peso			
embarcações				
>50 km	1,00			
25-49,99 km	0,75			
10-24,99 km	0,50			
5-9,99 km	0,25			
0-4,99 km	0,10			
Fontos O Autor 2021				

Tabela 5 – Distribuição de Pesos: Critério: "Distância de embarcações"

Fonte: O Autor, 2021.

Repetibilidade

Além do número de imagens que recobrem a área, a taxa de confiabilidade é dada, pela persistência, isto é, pelo número de vezes em que uma feição aparece próxima às demais. Como visto anteriormente, exsudações naturais tendem a se repetir ao longo do tempo, próximas ou no exato local em que foram identificadas.

Portanto, foi calculada para cada feição encontrada, a partir das distâncias entre seus centroides, a quantidade de possíveis exsudações que se encontram dentro de um raio de 50 km. Não é possível afirmar se essas representam exsudações diferentes ou se são as mesmas, que se repetem ao longo do tempo.

Como resultado, tem-se feições que estão "próximas" de outras 19, enquanto outras possuem 0 (nenhuma) dentro do raio limite. Essas feições isoladas foram penalizadas. Os pesos referentes à repetibilidade foram distribuídos, conforme a Tabela 6, em 5 categorias:

Critério: "Repetibilidade "				
Critério				
Repetibilidade	Peso			
(Distânica <50km)				
16-19 feições	1,00			
11-15 feições	0,75			
6-10 feições	0,50			
1-5 feições	0,25			
0 feições	0,10			

Tabela 6 – Distribuição de Pesos: Critério: "Repetibilidade

Fonte: O Autor, 2021.

Tamanho

A extração das feições escuras foi feita por elipses de melhor ajuste. Como consequência, é possível calcular suas áreas e eixos (maior e menor). Geralmente, feições com áreas muito grandes refletem aspectos meteorológico-oceanográficos ou biológicos, enquanto que feições com áreas pequenas refletem aspectos pontuais. Já as feições alongadas, isto é, que possuem um eixo muito maior do que o outro, costumam ter origem antrópica.

Desta forma, foram estabelecidos, de forma empírica, valores que permitissem penalizar tais feições. Considerou-se ideal que a razão comprimento/ largura, ou seja, a razão entre eixo maior e eixo menor, fosse inferior a 5. As feições com valores superiores foram penalizadas (Tabela 7). Do mesmo modo, declarou-se que áreas superiores a 20 km² ou inferiores a 2 km², teriam maior probabilidade de não representarem exsudações propriamente ditas, e, portanto, também foram penalizadas (Tabela 7).

Critério Razão Eixo Maior/ Eixo Menor	Peso	Critério Área	Peso		
R < 5.0	1.00	2,0-4,99 km ² 1,00			
1(< 0,0	1,00	5,0-9,99 km ²	0,75		
		<2,0 km ²	0,50		
		10,0-19,99	0.25		
R > 5,0	0,50	km²	0,25		
		>20,0 km ²	0,10		

Tabela 7 – Distribuição de Pesos: Critérios: "Tamanho do Eixo Maior" e "Área"

Fonte: O Autor, 2021.

A nota final SAR é a média aritmética entre o resultado dos critérios Distância de embarcações, Cobertura e Tamanho (equação 1).

$$Nota(SARx) = \frac{[NDist(x) + NRpt(x) + NRcl(x) + NArea(x)]}{4}$$
 eq.1

Onde: X= número da possível exsudação; NDist= Nota referente a Distância de embarcações; NRpt= Nota de Repetibilidade das feições; NRcl= Nota relativa à Razão Comprimento/ Largura; NArea= Nota relativa à Área.

Os valores encontrados e suas respectivas notas, referentes a esse critério, podem ser encontrados no Apêndice B (Tabela AB 3).

4.4.2 Geologia

Através da assimilação da bibliografia com os dados sísmicos foi possível extrair grandes lineamentos tectônicos como a COB (*continent-ocean boundary*) e *hinge line* (charneira), a presença de rochas vulcânicas e os principais domínios morfotectônicos, relacionados ao sal, presentes na bacia (Figura 30). Tais domínios podem ser mais ou menos propensos à existência de exsudações, recebendo pesos de acordo com a Tabela 8. São eles:

Domínio 1: sedimentos depositados diretamente sobre embasamento, camadas horizontais sem estruturas que indiquem escape de fluidos.

Domínio 2: área com baixa tectônica salífera, mas com estruturas relacionadas
Domínio 3: área com intensa halocinese, dominado por domos e muralhas de sal
Domínio 4: após a COB, rochas depositadas sobre crosta oceânica.

Buolu			
Domínio 1	Domínio 2	Domínio 3	Domínio 4
2500 5000			
F 7500	17		
0 5 10 km			a state of the sta

Figura 30: Seção sísmica 1 regional NE-SW, que mostra os 4 domínios tectônicos encontrados na Bacia do Espírito Santo

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software OpendTect.

Critério Domínio Tectônico	Peso	Descrição
Domínio 3	1,00	área com intensa halocinese, dominado por domos e muralhas de sal
Domínio 2	0,75	área com baixa tectônica salífera, mas com estruturas relacionadas
Domínio 1	0,50	sedimentos depositados diretamente sobre embasamento, camadas horizontais sem estruturas que indiquem escape de fluidos
Domínio 4 0,25		após a COB, rochas depositadas sobre crosta oceânica

Tabela 8: Distribuição de Pesos: Critério: "Domínios Tectônicos"

Fonte: O Autor, 2021.

É importante que as feições estejam localizadas em crosta continental, isto é, entre a *hinge line* e a COB, visto que é nessa região que se depositaram as rochas geradoras.

4.4.3 <u>Sísmica</u>

Fruto da assimilação dos dados sísmicos, bibliográficos e do resultado da interpretação SAR. Este parâmetro é dividido em três critérios: Distância para Linhas Sísmica, Presença de Estruturas e a Distância para Estruturas.

Calculou-se para cada exsudação a menor distância (uma reta perpendicular) entre o seu centroide e as linhas sísmicas que se encontram a até 20km de distância das mesmas. A pontuação referente a distância das possíveis exsudações com as linhas sísmicas (Tabela 9), é maior quanto menor for a distância.

Critério Distâncias Linhas Sísmicas	Peso
<1	1,00
1-5km	0,75
5-10km	0,50
10-15km	0,25
15-20km	0,10

Tabela 9:	Distribuição	de Pesos:	Critério:	"Distância	para
	Linhas Sísm	nicas"			•

Após análise criteriosa das linhas sísmicas próximas, verificou-se se havia a presença de alguma estrutura que atingisse o fundo marinho e pudesse propiciar o escape de fluidos (Tabela 10). Aqui, o tipo de estrutura (falhas, paleocanais, domos de sal, etc.) não influenciou na nota, apenas sua presença.

Tabela 10: Distribuição de Pesos: Critério: "Presença de estruturas"				
Critério				
Possui alguma	Peso			
estrutura?				
Sim	1,00			
Não	0,50			

Fonte: O Autor, 2021.

O ponto de interseção entre a reta de menor distância e a linha sísmica é equivalente à projeção do centroide na superfície dessa linha sísmica. A localização das estruturas sísmicas mapeadas também foi projetada na superfície, de forma a se permitir calcular a distância horizontal entre a projeções das exsudações e das estruturas. Visto que o eixo Y das linhas sísmicas representam o tempo, não foi considerada aqui a profundidade (distância vertical).

Quanto menor a distância entre a projeções dos centroides e das estruturas (Tabela 11), maiores as chances de estarem relacionados, e consequentemente, maior a nota atribuída.

Fonte: O Autor, 2021.

Critério Distâncias estruturas	Peso
<5	1,00
5-10km	0,75
10-20km	0,50
20-30km	0,25
>30km ou nenhuma	0,10

Tabela 11:	Distribuição de Pesos: Critério:
	"Distância para Estruturas"

A nota parcial será a média aritmética das pontuações dos 3 critérios por linha sísmica (equação 2), e representa a nota que a exsudação recebeu para aquela linha.

$$Nota(Lx) = \frac{[NC1(Lx) + NC2(Lx) + NC3(Lx)]}{3}$$
 eq.2

Onde:

Nota (Lx) = a Nota parcial de cada exsudação por linha sísmica;

Lx= é o número da linha sísmica; e

NC= é a nota referente aos critérios (1= Distâncias Linhas Sísmicas,

2= Possuir alguma estrutura, 3= Distâncias estruturas).

Como as exsudações não ocorrem em apenas uma linha, a pontuação final é dada pelo somatório das notas parciais, dividido pelo número de linhas em que aparecem (equação 3).

$$Nota(Sx) = \frac{[NL(1)+NL2(2)+\dots+NL(x)]}{NumL(x)}$$
eq.3

Onde: Nota (Sx) = a Nota final de cada exsudação; Sx= o número que identifica a exsudação; NL= a nota parcial, referente a cada linha onde ocorre a exsudação. NumL= o número de linhas em que aparecem a exsudação.

Fonte: O Autor, 2021.
Exemplo: A nota para a exsudação 6, que pode ser encontrada em 14 linhas.

$$Nota(6) = \frac{[NL1(6) + NL2(6) + \dots + NL13(6) + NC14(6)]}{NumL(6)}$$
$$Nota(6) = \frac{[10,425]}{14}$$
$$Nota(6) = 0,7446$$

4.4.4 Cálculo da Classificação

A classificação se deu pela média aritmética dos pesos (equação 4):

$$Posição(x) = \frac{[SAR(x) + GEO(x) + SISM(x)]}{3}$$
 eq. (4)

Onde: SAR = dados extraídos das imagens SAR GEO = dados geológicos SISM= dados sísmicos X= Número da possível exsudação

Vale realçar, conforme descrito anteriormente, que os dados meteorológicooceanográficos foram desconsiderados nessa fórmula, em virtude de sua indisponibilidade ou incompatibilidade, e apenas auxiliaram na interpretação das imagens.

Além disso, não se conferiu uma pontuação maior para determinado parâmetro, isto é, todos possuem a mesma influência na colocação final.

A Tabela 11 resume todos os pesos e critérios utilizados, enquanto que a tabela com todas as informações referentes às pontuações pode ser encontrada no Apêndice B (Tabela AB 4).

Darâmatras	Critérios	Pontuação					
Parametros		1	0,75	0,5	0,25	0,1	
SAR	Distância Embarcações	>50 km	25-50 km	10-25 km	05-10 km	<5 km	
	Razão eixo maior/ eixo menor	R<5		R>5			
	Área	02-05 km²	05-10 km²	<2 km ²	10-20 km²	>20 km ²	
	Quantidade de exsudações próximas (Distância < 50km)	16-19 feições	11-15 feições	6-10 feições	1-5 feições	0 feições (nenhuma)	
Geológicos	Domínios Tectônicos	Dom3	Dom2	Dom1	Dom4		
Sísmicos	Distância Linha	<1 km	1-5 km	05-10 km	10-15 km	15-20 km	
	Presença estruturas	Sim		Não			
	Distância estrutura	<5 km	05-10 km	10-20 km	20-30 km	>30 km	

Tabala 1	Dogumo	doo	nontugaãoo	o oritório o
rapeia i	IZ. Resumo	uas	Doniuacoes	e chienos

Fonte: O Autor, 2021.

5 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

5.1 Meteorológico-oceanográficos

5.1.1 Concentração de Clorofila e Temperatura da Superfície do Mar (SST)

Por ser um sensor óptico, o Sentinel- 3 está suscetível a limitações em zonas tropicais. A principal delas é a cobertura de nuvens, que mascaram as informações desejadas. Outro fator limitante é a data: eventos meteorológico-oceanográficos são dinâmicos, portanto, seus dados devem ser os mais próximos possíveis do horário da aquisição das imagens SAR, para não acarretar em erros.

Como também não foi possível recuperar tais informações para as imagens RS2, os dados meteorológico-oceanográficos não foram computados no cálculo de ranqueamento das exsudações, sendo utilizado apenas, quando disponível, para auxiliar as interpretações das imagens.

A Figura 31 mostra o efeito das nuvens no mapa da temperatura da superfície do mar na data 07/04/2020. A parte superior apresenta zonas anômalas frias, que estão relacionadas com a presença de nuvens, já a parte inferior da figura demonstra que a máscara para nuvens, em rosa, se estende por toda a zona anômala, não retratando as reais temperaturas da superfície.



Figura 31: Mapas de Temperatura de Superfície do Mar na data 07 de Abril de 2020

Legenda: Mapas de Temperatura de Superfície do Mar na data 07 de Abril de 2020, porção superior sem filtros, enquanto que a inferior com uma máscara para nuvens (em rosa). Nota-se que as nuvens encobrem os dados reais.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A análise dos mapas de concentração de clorofila (Figura 32), nas datas disponíveis, permite deduzir que, como esperado, próximo à costa os valores de clorofila são maiores (cores quentes). Dessa forma, feições encontradas nessa região podem estar mais associadas a fatores biológicos do que geológicos.



Figura 32: Mapa de Concentração de Clorofila (mg/m³) na data 07 de Abril de 2020.

Legenda: Mapa de Concentração de Clorofila (mg/m³) na data 07 de Abril de 2020.As nuvens são representadas em branco, enquanto que as cores do azul ao vermelho, indicam a concentração.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Outros dois fatores que reduzem a classificação nessa região costeira são a maior presença de navios, além de outras embarcações, e fatores geológicos, como a falta de estruturas e de rochas geradoras ou reservatório.

5.2 **SAR**

5.2.1 Feições Semelhantes

A análise das imagens SAR, propiciou o reconhecimento de feições escuras que se assemelham a derrames e exsudações. Feições escuras alongadas com "pontos brilhantes" na ponta, como mostra a Figura 33, são interpretadas como o rastro da passagem de uma embarcação. Outros falsos positivos encontrados são: zonas de sombra, presença de células de chuva, óleos biológicos e testes de formação (Figura 34). Tais feições não foram consideradas no mapa final de exsudações.



Figura 33: feições semelhantes: Barcos

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 34: Localização de uma "Feição Semelhante" identificada, em relação a Bacia.



A partir desse momento, o termo "Exsudação" será utilizado para se referir as feições que, após a análise crítica dos parâmetros, obtiveram notas superiores a *0*,7 (como será visto posteriormente na Tabela 13). Já o termo "Possíveis Exsudações" será utilizado para se referir as feições com notas inferiores a *0*,7 ou, também, para se referir ao conjunto de feições encontradas.

5.2.2 Possíveis Exsudações

Ao todo foram identificados 54 possíveis alvos, que variam em forma, tamanho e localização, sendo que 10 deles se encontram no norte da Bacia de

Campos. As próximas páginas trazem os mapas de algumas das possíveis exsudações encontradas (Figuras 35 até 54).



Figura 35: Mapa de Localização da Exsudação #0, datada de 29/01/2010. Satélite: RADARSAT-2

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 36: Mapa de Localização da Possível Exsudação #1, datada de 30/01/2010. Notar que fica na Bacia de Campos. Satélite: RADARSAT-2

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 37: Mapa de Localização da Possível Exsudação #3, datada de 30/01/2010. Notar que fica na Bacia de Campos. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 38: Mapa de Localização da Exsudação #9, datada de 22/02/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.





Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 40: Mapa de Localização da Exsudação #23, datada de 07/07/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 41: Mapa de Localização da Possível Exsudação #24, datada de 07/07/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 42: Mapa de Localização da Exsudação #25, datada de 14/07/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 43: Mapa de Localização da Possível Exsudação #26, datada de 31/07/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 44: Mapa de Localização da Possível Exsudação #31, datada de 09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 45: Mapa de Localização da Exsudação #32, datada de 09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 46: Mapa de Localização da Exsudação #33, datada de 09/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 47:: Mapa de Localização da Exsudação #34, datada de 19/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 48: Mapa de Localização da Possível Exsudação #35, datada de 24/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 49: Mapa de Localização da Exsudação #36, datada de 24/08/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 50: Mapa de Localização da Exsudação #38, datada de 06/10/2010. Satélite: RADARSAT-2.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 51: Mapa de Localização da Possível Exsudação #44, datada de 02/03/2020. Satélite: SENTINEL-1.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 52: Mapa de Localização da Possível Exsudação #48, datada de 07/02/2020. Satélite: SENTINEL-1

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.



Figura 53: Mapa de Localização da Exsudação #49, datada de 07/02/2020. Satélite: SENTINEL-1.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A persistência ao longo do tempo, ou seja, a quantidade de vezes em que aparecem e a proximidade entre as feições de uma imagem para outra, corrobora para que sejam exsudações de óleo e não feições semelhantes (Figura 54). A persistência pode indicar um mesmo ponto fonte da exsudação.



Figura 54: Mapa de Localização das Exsudações #42, #43, #52 e #53.

Legenda: Mapa de Localização das Exsudações #42, #43, #52 e #53, mostrando sua proximidade ao longo do tempo, fator que fortalece a ideia de serem exsudações naturais. Satélite: Sentinel-1.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A observação de poucas exsudações nas imagens Sentinel 1 interpretadas, comparadas às imagens Radarsat-2, podem ser resultantes de 1) não terem ocorrido durante o período investigado ou 2) terem sido mascaradas por efeito de núcleos de chuva e outros "*look-alikes*".

5.3 Sísmicos

A análise das 101 linhas sísmicas resultou na identificação de estruturas que alcançam o assoalho marinho e que possam estar relacionadas com a presença de exsudações. A Figura 55 apresenta 7 dessas linhas, que demonstram a correlação entre as estruturas e as exsudações. De uma forma geral, a halocinese presente na bacia é a maior responsável por falhar e deformar os sedimentos, inclusive do fundo marinho. Outras falhas estão associadas à quebra da plataforma. Também foi possível identificar *gas chimmneys* e algumas estruturas semelhantes a *pockmarks*, evidenciando o escape de fluidos (Figura 56).



Figura 55 – Mapa, originalmente em escala 1:2.000.000, com as linhas sísmicas apresentadas neste documento.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.





Legenda: Seção sísmica NW-SE, com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando uma possível chaminé de gás abaixo de uma feição semelhante a uma pockmarck soterrada. Diretamente acima dessa estrutura foi encontrada a Possível Exsudação #0.

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software OpendTect

A presença de exsudações de óleo justamente acima, ou próximas, de estruturas, fortalece a ideia de que essas estruturas servem como caminhos por onde o óleo escapa (Figuras 57 a 61).



Figura 57 – Seção sísmica 3 (NW-SE)

Legenda: Seção sísmica 3 (NW-SE), com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando a localização das Possíveis Exsudações #50, #23, #32, #42, #52, #53,#29, #38, em relação às estruturas presentes. Fonte: O Autor, 2021, a partir do software OpendTect

O deslocamento de exsudações em relação às estruturas (Figura 58), pode indicar que sofreram a ação das correntes marinhas, tanto na superfície quanto em profundidade. Outra explicação, é que a exsudação e a estrutura não estão relacionadas.



Figura 58 – Seção sísmica 4 (SW-NE)

Legenda: Seção sísmica 4 (SW-NE), com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando a localização das Possíveis Exsudações #22, #14, #34, #0, #38, em relação às estruturas presentes. *Fonte:* O Autor, 2021, a partir do software OpendTect



Legenda: Seção sísmica 5 (SW-NE), com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando a localização das Possíveis Exsudações #14, #24, em relação às estruturas presentes. *Fonte:* O Autor, 2021, a partir do software OpendTect.

Figura 59 – Seção sísmica 5 (SW-NE)



Figura 60 – Seção sísmica 6 (NW-SE)

Legenda: Seção sísmica 6 (NW-SE), com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando a localização das Possíveis Exsudações #45, #6, #21, #20, em relação com as estruturas presentes. *Fonte:* O Autor, 2021, a partir do software OpendTect



Figura 61 – Seção sísmica 7 (SW-NE).

Legenda: Seção sísmica 7 (SW-NE), com Atributo TecVA, interpretada (em cima) e não interpretada (em baixo), mostrando a localização das Possíveis Exsudações #34, #0, #29, #38, #18, em relação às estruturas presentes. *Fonte:* O Autor, 2021, a partir do software OpendTect

Vale ressaltar que o presente trabalho não visa encontrar a origem das exsudações, mas sim, através da análise sísmica, encontrar estruturas que possam permitir o escape de fluidos.

Uma vez que a interpretação estratigráfica não foi considerada nessa pesquisa, são necessários estudos para identificar se as estruturas encontradas estão conectadas às rochas geradoras ou aos reservatórios, e se são responsáveis pelas exsudações de óleo encontradas acima.

5.4 Classificação Ranking Final

A análise dos parâmetros permitiu identificar que das 54 exsudações preliminares 42 (78%) possuem a Razão entre eixo maior e eixo menor inferiores a 5, ou seja, tendem a ser menos alongadas (minimizando a possibilidade de terem sido feitas por ação antrópica), enquanto que 12 (22%) apresentam razões superiores a 5 (Figura 62).



Figura 62 – Gráfico "Razão entre Eixos"

Boa parte das exsudações encontram-se em domínio tectônicos favoráveis (Figura 63), como o Domínio 2, com 33 feições (61%), e o Domínio 3, com 16 (30%), enquanto que poucas situam-se no Domínio 1, 2 feições (4%), mais próximo da costa, e no Domínio 4, 3 feições (6%), após a COB.

Fonte: O Autor, 2021.



Figura 63 - Gráfico "Domínios Tectônicos"

Em relação à distância para embarcações próximas, o gráfico indica que 75% encontram-se a mais de 10 km, aumentando assim a possibilidade de serem exsudações (Figura 64).





Fonte: O Autor, 2021.

Fonte: O Autor, 2021.
Observa-se também que ao se diminuir o raio do critério Repetibilidade, a quantidade de exsudações próximas também diminui (Figura 65). Nota-se que o percentual de exsudações sem nenhuma próxima sobe de 6 (11%), para distâncias menores que 50 km, para 42 (78%), em distâncias menores que 5 km.





Legenda: Gráficos que mostram como a quantidade de exsudações próximas diminui conforme o raio diminui: A) raio de 50 km; B) raio de 25 km; C) raio de 10 km; e D) raio de 5 km. Fonte: O Autor, 2021.

As Tabelas com as informações referentes às pontuações podem ser encontradas no Apêndice B (Tabela AB 4).

Conforme descrito anteriormente, cada feição recebeu uma nota que possibilitasse calcular sua colocação entre as demais, resultando na Tabela 13.

Classificação	Pontuação	Número	Classificação	Pontuação	Número
		Exsudação			Exsudação
10	0,856	34	28°	0,696	20
2º	0,833	54	29º	0,695	28
3º	0,808	43	30°	0,681	31
4º	0,804	53	31º	0,677	15
5°	0,802	33	32º	0,668	7
6º	0,798	42	330	0,665	6
7°	0,795	38	34º	0,662	48
8º	0,785	32	35°	0,655	8
9º	0,780	51	36º	0,622	24
10º	0,775	52	37º	0,616	11
11º	0,768	49	38º	0,613	26
12º	0,763	50	39º	0,583	44
13º	0,758	0	40°	0,569	22
14º	0,758	25	41°	0,538	37
15º	0,747	29	42º	0,521	13
16º	0,745	46	43º	0,479	18
17º	0,737	45	44°	0,399	30
18º	0,732	14	150	-	17
19º	0,731	21	45	-	35
20º	0,730	27		-	1
21º	0,726	9		-	2
22º	0,724	23		-	3
230	0,723	10	A7 0	-	4
24º	0,715	41		-	5
25º	0,708	36		-	19
26º	0,708	47		-	39
27º	0,701	12		-	40

Tabela 13 – Classificação Final.

Fonte: O Autor, 2021.

Nenhuma exsudação recebeu a nota máxima 1, todas foram penalizadas em algum momento, apesar disso, a grande maioria recebeu nota superior a *0,7*, atestando que possuem grandes chances de serem exsudações de óleo. A confirmação só é possível através de verificação e coleta in situ. Três casas decimais foram utilizadas como critério de desempate.

As possíveis exsudações #1, #2, #3, #4, #5, #19, #39 e #40 por estarem na Bacia de Campos, não receberam pontuação referente a sísmica, portanto, foram classificadas nas últimas posições. Já a #22 e a #30, apesar de estarem localizadas no limite externo da Bacia do Espírito Santo, estão dentro do raio de 20 km de uma linha sísmica, e por isto, receberam pontuação. Sendo a #30, classificada como a menos provável das possíveis exsudações de óleo que foram pontuadas.

As possíveis exsudações #17 e #35, embora pertencentes a Bacia do Espirito Santo, se localizavam a uma distância maior do que 20km da linha sísmica mais próxima, assim, também não receberam pontuação referente a sísmica, e foram apenas melhor classificadas do que as de fora da bacia.

Após análise detalhada, pode-se ter certeza que a feição identificada pelo número #16 não é uma exsudação, mas sim uma feição semelhante de origem antrópica, e devido a isso, não foi classificada no ranking geral e nem aparece no Mapa final.

Em relação à Bacia de Campos, as incertezas são grandes. Além da distância para as linhas sísmicas, e da falta de dados meteorológico-oceanográficos, a taxa de cobertura é baixa: a maioria das feições é recoberta por 3 a 11 imagens (no melhor cenário). Apenas as #5, #19, #22 e #30 são recobertas por mais do que 18 imagens. A partir dos parâmetros adotados, somente as feições #22 e #30 pontuaram, sendo classificadas em 40° e 44° lugares. Portanto, as 8 feições restantes (#1, #2, #3, #4, #5, #19, #39, e #40) carecem de mais estudos.

As Tabelas com das pontuações organizadas pela colocação no ranking podem ser encontradas no Apêndice B (Tabela AB 5).

5.5 Mapa

A partir dos dados obtidos com esta pesquisa, foi confeccionado o Mapa de Localização das Exsudações de Óleo na Bacia do Espírito Santo e Porção Norte da Bacia de Campos. Pode ser encontrado no Apêndice A, originalmente em escala 1:2.000.000.

Nele consta a localização de todas as possíveis exsudações encontradas, bem como as Zonas de Proteção Marinhas, os Campos de produção e Blocos Exploratórios na Bacia do Espírito Santo e Norte da Bacia de Campos, e áreas sugeridas para futuras pesquisas.

A Figura 66 apresenta uma versão simplificada do mesmo mapa.

Figura 66 – Mapa Simplificado da Localização das Exsudações na Bacia do espírito Santo e Norte da Bacia de Campos



Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

Ao aplicar um zoom neste mapa (Figura 67), é possível perceber que 5 exsudações (#8, #13, #15, #17 e #49) caem dentro ou próximas da Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (APA) e do Refúgio de Vida Marinha de Santa Cruz (REVIS). Com exceção da #49, as demais receberam uma pontuação baixa. Por esse motivo, mesmo se confirmadas, essas exsudações não são interessantes à nível de prospecção.





Legenda: Zoom no mapa de Localização das Exsudações, mostrando a proximidade entre as feições #8, #13, #15, #17 e #49 com a Área de Proteção Ambiental Costa das Algas (APA) e do Refúgio de Vida Marinha de Santa Cruz (REVIS).

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

A investigação das feições com notas superiores a 0,75 são as mais interessantes para futuras etapas de prospecção. Esse valor equivale as 14 primeiras colocadas no ranking final. Contudo, como muitas vezes os recursos são limitados, também deve-se levar em consideração a proximidade entre as feições. Dito isso, a análise do mapa permite definir 5 áreas de maior interesse (Figura 68). São elas:

- a) Área 1: composta pelas #42, #43, #52, #53, respectivamente 6º, 3º, 10º e 4º lugar;
- b) Área 2: composta pelas #32 e #54, respectivamente 8º e 2º lugar.
 Esta área está localizada próxima da Área 1;
- c) Área 3: composta pelas #25, #50 e #51, respectivamente 14º, 12º e 9º, lugar;

- d) Área4: composta pelas #0, #29 e #38, respectivamente 13°, 15° e 7°, lugar. Próximos a essa área ainda se encontram as feições 33 e 34, que correspondem ao 5° e ao 1° lugar. Por estarem mais isoladas, não foram agrupadas em uma área.
- e) Área5: composta pelas #10, #12, #27, #46 e #47, respectivamente 23º, 27º, 20º, 16º, e 26º lugar. Das que foram selecionadas, esta área, localizada mais próxima a costa, é a que apresenta as feições com menores classificações.

Portanto, para fins prospectivos, as áreas englobam todas as 16 primeiras colocadas (exceto a 11^a) e também as 20^a, 23^a, 26^a e 27^a colocações.

A investigação é importante não só para a prospecção de óleo, mas também no âmbito ambiental, visto a proximidade com o Platô de Abrolhos. Uma outra exsudação que merece ser investigada para fins ecológicos é a #49 (classificada em 11º lugar), que se encontra dentro da APA Costa das Algas. Se comprovada a sua existência, podem surgir pesquisas relacionadas à interação dela com os organismos na APA.

Figura 68 – Mapa de Localização das Áreas Recomendadas para futuras pesquisas



Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

CONCLUSÕES

A Bacia do Espírito Santo é uma bacia madura e, assim como outras bacias marinhas ao redor do mundo, espera-se encontrar exsudações. Os Avanços tecnológicos na área de sensoriamento remoto, são considerados métodos importantes e eficazes para coletar informações sobre grandes áreas, como em bacias marítimas. Entre eles, o processamento e interpretação de imagens SAR fornece informações valiosas e é considerado a metodologia mais adequada para detectar indícios de exsudações de óleo na superfície do mar.

Devido as suas propriedades, o Sensoriamento Remoto por SAR não consegue, por si só, garantir que as feições encontradas sejam realmente exsudações de óleo, mas apresenta indícios de que possam ser. Ao integrar os dados SAR com os dados meteorológicos, oceanográficos e sísmicos, agrega-se valor a esses indícios, permitindo selecionar áreas com maior interesse para investigações futuras.

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo localizar, reconhecer e quantificar feições passíveis de serem exsudações de óleo, através da análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto, meteorológicos, oceanográficos e sísmicos. Tal integração de dados é fundamental para um melhor entendimento da bacia e o sucesso na identificação das exsudações. A partir dos dados obtidos, foi possível identificar os locais mais favoráveis para a ocorrência de exsudações, que só serão confirmados após a coleta in situ para análise química e validação após a caracterização de hidrocarbonetos.

A análise das imagens SAR dos sensores Radarsat-2 e Sentinel-1, permitiu identificar diversas feições escuras, dentre "*oil seeps*" e "*look-alikes*". As feições semelhantes a exsudações foram descartadas, enquanto que as possíveis exsudações foram classificadas de acordo com critérios de sensoriamento remoto, geológicos e sísmicos.

Ao todo detectou-se 54 possíveis exsudações em 29 imagens SAR, 44 delas na Bacia do Espírito Santo e 10 na porção norte da Bacia de Campos.

Na classificação, nenhum parâmetro se sobressaiu em relação aos outros. Como resultado, metade das exsudações encontradas (o equivalente a aproximadamente dois terços das feições que pontuaram, 27 feições), receberam nota superior a *0,7*, sendo 14 dessas, superiores a *0,75*, o que indica maior probabilidade de serem, de fato, exsudações de óleo. Em contrapartida, pontuações finais próximas ou inferiores a 0,5 (como as #13, #18, #30 e #37) refletem menores possibilidade de serem exsudações.

A sísmica nos permite ver como a geologia se comporta em subsuperfície, a investigação de 101 linhas pertencentes aos projetos SPP99 e GrandeES, propiciou discernir os domínios morfotectônicos relacionados a tectônica salina presente na bacia, bem como estruturas por onde podem ocorre o escape de fluidos. De uma forma geral, a intensa halocinese é a maior responsável pelo fraturamento e deformação dos sedimentos, estando associada a boa parte das exsudações detectadas.

O presente trabalho não teve a pretensão de conectar as exsudações com sua origem exata no fundo marinho, entretanto, a presença de estruturas que alcançam o assoalho oceânico, identificadas na sísmica, colabora para que possam servir de caminhos de escape de fluidos

Embora tenha-se um predomínio das correntes marinhas fluírem para sul, a falta de dados acerca de suas velocidades e direções (principalmente em profundidade), fez com que fossem omitidas do cálculo do ranking. Vale ressaltar que sua presença pode ter deslocado as exsudações encontradas em áreas distantes das estruturas sísmicas.

Como resultado final, foi confeccionado um mapa em escala 1:2.000.000, com a localização das exsudações, que poderá ser utilizado para o direcionamento de futuras pesquisas in situ, tanto de geoquímica de superfície, para caracterização dos hidrocarbonetos, quanto para aquisição de novas linhas sísmicas de maior detalhe.

Dito isso, pode-se concluir que:

- a) A metodologia adotada foi bem-sucedida na identificação de 44 feições promissoras na Bacia do Espírito Santo e de outras 10, na porção Norte da Bacia de Campos, que carecem mais estudos.
- b) A taxa de confiabilidade dada pela Cobertura de Imagens é alta, praticamente não há locais na Bacia do Espírito Santo que não se tenha uma cobertura de pelo menos 12 imagens. Isso ocorre na porção extrema Norte, em direção ao Platô de Abrolhos, e na porção leste, indo para águas ultra profundas, região de baixo interesse, visto que se encontra após a COB (Domínio 4). Em contrapartida, a porção centro sul da bacia, onde se encontram os Domínios 2 e 3, os

mais propensos a exsudações, foi muito bem recoberta, com no mínimo 20 imagens.

- c) Estruturas sem exsudações próximas sugerem que a presença de rochas vulcânicas na coluna sedimentar pode ter supermaturado os hidrocarbonetos, permitindo não o escape de óleo, mas sim de gás, pouco detectável por SAR. Outra explicação é que essas estruturas podem já estar seladas, o que impede a migração por elas.
- d) Exsudações distantes de estruturas podem significar que foram transportadas por correntes marinhas ou então, que estão relacionadas a estruturas que não aparecem nas linhas sísmicas disponíveis.
- e) Feições próximas à costa podem ser resultado de ação antrópica, por ser uma região com maior trafego de embarcações, ou biológica, dado que os mapas de concentração de clorofila indicam maiores teores em tal área. A falta de estruturas nas linhas sísmicas sustenta a ideia que tais feições são menos prováveis de serem exsudações de óleo.

Por fim, 5 áreas de maior interesse à investigação das feições são recomendadas para futuras etapas de prospecção na Bacia do Espírito Santo, através de campanhas de geoquímica de superfície e/ou aquisição de novos levantamentos sísmicos de detalhe, para averiguar a possível fonte das exsudações. Essas áreas englobam não só as 14 feições com notas superiores a *0,75*, mas também considera a proximidade entre elas.

REFERÊNCIAS

ANP. Brasil Round 9 Espírito Santo Basin. ANP. Rio de Janeiro. 2007.

ANP. Bacia do Espírito Santo. Rio de Janeiro. 2015.

ANP. Espirito Santo Basin Offshore. Rio de Janeiro. 2017.

BEATON, A.; VAN DER SANDEN, J.; CORSTON, K., DESCHAMPS, A., & TOLSZCZUK-LECLERC, S. Near Real-Time Monitoring of Ice Breakup in the Far North of Ontario Using RADARSAT-2 in Support of Provincial Flood Forecasting and Warning. 19th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. Whitehorse, Yukon, Canada: CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment. 2017.

BENTZ, C. M. Reconhecimento Automático de Eventos Ambientais Costeiros e Oceânicos em Imagens de Radares Orbitais. COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, p. 128. 2006.

BULHÕES, E.; AMORIM, W. N. D. Princípio da SismoCamada Elementar e sua aplicação à Técnica Volume de Amplitudes (TecVA). Salvador. 2005.

CARVALHO, G. D. A. Multivariate data analysis of satellite-derived measurements to distinguish natural from man-made oil slicks on the sea surface of Campeche Bay (Gulf of Mexico). COPPE/ UFRJ. Rio de Janeir, p. 300. 2015.

CPRM & ANP. Projeto Batimetria. [S.I.]. 2013. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/Geologia/ Geologia-Marinha/Projeto-Batimetria-3224.html Acesso em: Dezembro de 2020.

CSA-ASC. What is RADARSAT-2, 2015. Disponível em: https://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2/what-is-radarsat2.asp. Acesso em: Janeiro 2021.

DUARTE, D.; MAGALHÃES, V.; TERRINHA, P.; RIBEIRO, C.; MADUREIRA, P.; PINHEIRO, L.; . . . DUARTE, H. Identification and characterization of fluid escape structures (pockmarks) in the Estremadura Spur, West Iberian Margin. Marine and Petroleum Geology, n. 82, p. pp. 414-423, 2017.

EMBRAPA. Embrapa. Satélites de Monitoramento, 2020. Disponível em: https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/radarsat. Acesso em: Novembro 2020.

ESA. Sentinel-1 SAR User Guide Introduction, 2014. Disponível em: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar. Acesso em: Março 2019.

ESA. Sentinel-3 Overview, 2015. Disponível em: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-3/overview. Acesso em: Março 2020.

ESA. Copernicus Open Access Hub, 2017. Disponível em: https://scihub.copernicus.eu/.

FIDUK, J. C. ; BRUSH, E.; ANDERSON, L..; GIBBS, P.; ROWAN, M. Salt Deformation, Magmatism, and Hydrocarbon Prospectivity in the Espirito Santo Basin, Offshore Brazil. In: POST, P. J., et al. Hydrocarbon Prospectivity Concepts, Applications and Case Studies for the 21st Century. Houston: SEPM Society for Sedimentary Geology, v. 24, 2004. p. 640-668.

FINGAS, M.; FIELDHOUSE, B. Studies on water-in-oil products from crude oils and petroleum products. Marine Pollution Bulletin, v. 64, n. 2, p. p. 272-283, 2012.

FRANÇA, R. L.; DEL REY, A.; TAGLIARI, C.; BRANDÃO, J.; FONTANELLI, P. Bacia do Espírito Santo. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 15, n. 2, 2007. 501-509.

FREIRE, M. A. F.; IEMINI, A. J.; VIANA, R. A.; MAGNAVITA, P. L.; DEHLER, M. N.; KOWSMANN, O. R.; . . . NÓBREGA II, M. A giant oil seep at a salt-induced escarpment of the São Paulo Plateau, Espírito Santo Basin, off Brazil: Host rock characteristics and geochemistry. Deep Sea Research Part II, 146, 2017. 45–52.

GAMBOA, D. A. D. C. An integrated seismic-scale analysis of reservoir compartmentalisation on continental margins: the Espírito Santo Basin, SE Brazil. Cardiff University. País de Gales, p. 478. 2011.

GARCIA-PINEDA, HOLMES, J.; RISSING, M.; JONES, R., WOBUS, C.; SVEIKOVSKY, J.; HESS, M. Detection of Oil near Shorelines during the Deepwater Horizon Oil Spill Using Synthetic Aperture Radar (SAR). Remote Sensing, v. 9, n. 6, p. p. 1-19, 2017.

GARCIA-PINEDA, O.; MACDONALD, I.; Hu, C., SVEIKOVSKY, J.; HESS, M., DUKHOVSKOY, D.; MOREY, S. Detection of floating oil anomalies from the Deepwater Horizon oil spill with synthetic aperture radar. Oceanography, v. 26, n. 2, 2013.

GENOVEZ, P.; PALMEIRA, F. L.; BENTZ, C. Detecção e Monitoramento de Óleo através da Utilização Integrada de Imagens de Satélite, Verificações de Campo e Modelagem de Deriva de Óleo: Uma Abordagem Operacional. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal: INPE. 2009.

HOVLAND, M.; GARDNER, J. V.; JUDD, A. The significance of pockmarks to undestanding fluid flow processes and geohazards. Geofluids, v. 2, p. p. 26-136, 2002.

HOVLAND, M.; JUDD, A. Seabed pockmarks and seepages: Impact on geology, biology and the marine environment. Londres: Grahan & Trotman, 1988. 302 p.

JATIAULT, LONCKE, L; DHONT, D. ; DUBUCQ, D. ; IMBERT, P. Geophysical characterisation of active thermogenic oil seeps in the salt province of the lower Congo basin. Part II: A regional validation. Marine and Petroleum Geology, v. 103, p. p. 773–791, 2019.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. Geofísica de Exploração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KING, L. H.; MACLEAN, B. Pockmarks on the Scotian Shelf. Geological Society of America Bulletin, 81, n. 10, 1970. 3141-3148.

LIMA, M. I. C. D. Radargeologia: Sistemática de Elementos Radargráficos. 1. ed. Belém: Edição do autor, 2017. 483 p.

LIMA, S. C. D. Utilização de imagens SAR para a detecção de exsudações de óleo na porção offshore da Bacia de Camamu-Almada (BA), Brasil. Rio de Janeiro, p. 214. 2008.

MACDONALD, I. R.; GARCIA-PINEDA, O.; BEET, A.; DANESHGAR ASL, S.; FENG, L.; GRAETTINGER, G.; . . . SWAYZE, G. Natural and unnatural oil slicks in the Gulf of Mexico. Journal of Geophysical Research: Oceans, p. p. 1-17, 2015.

MAGOON, L. B.; BEAUMONT, E. A. Petroleum Systems. In: BEAUMONT, E. A.; FOSTER, N. H. AAPG Treatise of Petroleum Geology: Exploring for Oil and Gas Traps. [S.I.]: AAPG, 1999. p. 1-34.

MAGOON, L. B.; DOW, W. G. The Petroleum System. In: DOW, W. G.; MAGOON, L. B. The petroleum system - From source to trap: AAPG Memoir 60. [S.I.]: AAPG, 1994. p. 3-24.

MAHIQUES, M. M.; SCHATTNER, U.; LAZAR, M.; SUMIDA, P. Y.; SOUZA, L. A. et al. An extensive pockmark field on the upper Atlantic margin of Southeast Brazil: spatial analysis and its relationship with salt diapirism. Heliyon, v. 3, n. Issue 2, p. p. 1-21, 2017.

MCCARTHY, K.; ROJAS, K.; NIEMANN, M., PALMOWSKI, D.; PETERS, K.; STANKIEWICZ, A. et al. Basic Petroleum Geochemistry for Source Rock Evaluation. Oilfield Review, 23 (2), 2011. 32-43.

MELLO, M. R. Satellite Detection and Characterization of Natural Oil Seeps using RADARSAT-1 Data in: Espírito Santo Basin. HRT- Petroleum. Rio de Janeiro. 2007.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sensor Radar de Abertura Sintética. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB, 2012. p. 57-76.

MILANI, E. J.; ARAÚJO, L. M. D. Cap. X: Recursos Minerais Energéticos: Petróleo. In: CPRM Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. Cap. cap. X. MILANI, E.; BRANDÃO, J., ZALÁN, P.; GAMBOA, L. Petróleo na Margem Continental Brasileira: Gelogia, Exploração, Resultados e Perspectivas. Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3, p. 352-396, 2000.

MIRANDA, F.; MARMOL, A., PEDROSO, E.; BEISL, C.; WELGAN, P.; MORALES, L. Analysis of RADARSAT-1 data for offshore monitoring activities in the Cantarell Complex, Gulf of Mexico, using the unsuérvised semivariogram textural classifier (USTC). Canadian Journal of Remote Sensing, v. 30, n. 3, p. p. 424-436, 2004.

MITCHUM, R. M.; VAIL, ; THOMPSON,. Seismic stratigraphy and global changes in sealevel, part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: AAPG AAPG-Memoir No. 26: Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration. Tulsa: AAPG, 1977. p. p. 53–62.

MOHRIAK, W. U. Cap III: Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: CPRM Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003. Cap. Cap. 3, p. 87-165.

MOHRIAK, W. U. Interpretação geológica e geofísica da Bacia do Espírito Santo e da região de Abrolhos: petrografia, datação radiométrica e visualização sísmica das rochas vulcânicas. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, 14, n. 1, 2006. 133-142.

MORAIS, R. M. O. Sistemas fluviais terciários na área emersa da Bacia do Espírito Santo (formações Rio Doce e Barreiras). UFRJ. Rio de Janeiro, p. 144. 2007.

PEDROSO, E. C. Ranking de exsudações de óleo como suporte à exploração petrolífera em águas ultra-profundas: estudo de caso no Golfo do México. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 257. 2009.

PRATA, P. M. Caracterização do Ambiente Marinho do Estado do Espírito Santo Utilizndo Dados do Banco Nacional de Dados Oceanográficos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Vitória, p. 133. 2007.

REBELLO, V. P. A. Ranking Fuzzy de Exsudações de Óleo Detectadas com Dados RADARSAT-1 na Bacia de Campos. COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, p. 307. 2012.

REUSCH, A.; MOERNAUT, J.; ANSELMETTI, F.; STRASSER, M. Sediments mobilization deposits from episodic subsurface fluid flow- A new tool to reveal long-term earthquake records? Geology, v. 44, n. 4, p. p. 243-246, 2016.

RORIZ, C. E. D. Detecção de exsudações de óleo utilizando imagens do satélite RADARSAT-1 na porção offshore do Delta do Niger. COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, p. 276. 2006.

SARAIVA, C. S. A. Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas. Universidade de Lisboa. Lisboa, p. 95. 2015.

SILVA, G. M. A. Uso da dimensão fractal dinâmica para caracterização de manchas de óleo no mar a partir da análise de imagens SAR. COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, p. 193. 2013.

SOLER, L. D. S. Detecção de manchas de óleo na superfície do mar por meio de técnicas de classificação textural de imagens de radar de abertura sintética (RADARSAT-1). INPE. São José dos Campos, p. 161. 2000.

SOUTELINO, R. G. A Origem da Corrente do Brasil. Programa Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, p. 120 p. 2008.

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research, 15 September 1999. 20863-20883.

THRASHER, J.; FLEET, A.; HAY, S.; HOVLAND, M.; DÜPPENBECKER, S. Chapter 17: Understanding geology as the key to using seepage in exploration: spectrum of seepage styles. In: SCHUMACHER, D.; ABRAMS, M. A. Hydrocarbon migration and its near-surface expression: AAPG Memoir 66. [S.I.]: AAPG, 1996a. p. 223-241.

TORRES, S. B. Detecção de Exsudações de Óleo no Complexo de Cantarell (Golfo do México) com Dados SAR Polarimétricos do Satélite RADARSAT-2. COPPE/ UFRJ. Rio de Janeiro, p. 128. 2017.

VAIL, P.; MITCHUM, R.; TODD, R.; WIDMER, J.; THOMPSON, S.; SANGREE, J.; . . . HATFIELD, W. Seismic stratigraphy and global changes in sealevel, part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: AAPG AAPG-Memoir N° 26 Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration. Tulsa: Payton, 1977. Cap. 4, p. p. 49–212.

VEEKEN, P. C. H. Seismic Stratigraphic Techniques. In: VEEKEN, P. C. H. Seismic Explorarion Volume 37: Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterization. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 111-234.

VIEIRA, A. B. R. Análise Estratigráfica e Evolução Palepgeolgráfica da Seção Neoaptiana na Porção Sul da Plataforma São Matheus, Bacia do Espírito Santo, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 1998.



APÊNDICE A: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS EXSUDAÇÕES NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO E NA PORÇÃO NORTE DA BACIA DE CAMPOS

Legenda: Mapa de Localização das Exsudações de Óleo na Bacia deo Espírito Santo e Norte da Bacia de Campos, originalmente na escala 1:2.000.000, onde pode-se ver as Exsudações (Círculos vermelhos), Blocos exploratórios (polígonos verdes hachurados), Campos de Produção (polígonos lilases hachurados) e Zonas de Proteção Marinha (em amarelo).

Fonte: O Autor, 2021, a partir do software ArcMap 10.7.1.

APÊNDICE B: TABELAS

#IMG	SATÉLITE	MODO	ORBITA	POLARIZAÇÃO	DATA	HORA
1	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	29/01/2010	21:03:50
2	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	30/01/2010	20:34:52
3	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	13/02/2010	20:26:36
4	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	22/02/2010	21:03:52
5	RADARSAT-2	SCNA	DSC	VV	19/03/2010	08:10:41
6	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	19/03/2010	20:34:56
7	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	26/04/2010	20:26:40
8	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	06/05/2010	20:34:58
9	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	15/05/2010	21:12:11
10	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	22/06/2010	21:03:57
11	RADARSAT-2	SCNA	DSC	VV	23/06/2010	08:10:45
12	RADARSAT-2	SCNA	DSC	VV	30/06/2010	08:06:36
13	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	07/07/2010	20:26:41
14	RADARSAT-2	SCNB	DSC	VV	14/07/2010	07:58:21
15	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	26/07/2010	21:12:14
16	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	31/07/2010	20:26:43
17	RADARSAT-2	SCNA	ASC	VV	09/08/2010	21:03:59
18	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	19/08/2010	21:12:15
19	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	24/08/2010	20:26:45
20	RADARSAT-2	SCNB	ASC	VV	06/10/2010	21:12:19
21	RADARSAT-2	SCNA	DSC	VV	21/10/2010	08:10:52

Tabela AB 1 - Lista das Imagens RADARSAT-2 utilizadas.

Fonte: O Autor, 2021.

#IMG	Satélite	Modo	Produto	Polarização	Órbita	DATA	HORA
1	S1B	IW	GRDH	1SDV	18060	16/09/2019	08:04:30
2	S1B	IW	GRDH	1SDV	18235	28/09/2019	08:04:31
3	S1B	IW	GRDH	1SDV	18410	10/10/2019	08:04:31
4	S1B	IW	GRDH	1SDV	18585	22/10/2019	08:04:31
5	S1B	IW	GRDH	1SDV	18760	03/11/2019	08:04:31
6	S1B	IW	GRDH	1SDV	17535	08/11/2019	08:04:28
7	S1A	IW	GRDH	1SDV	29831	09/11/2019	08:05:05
8	S1B	IW	GRDH	1SDV	18935	15/11/2019	08:04:31
9	S1B	IW	GRDH	1SDV	19110	27/11/2019	08:04:30
10	S1B	IW	GRDH	1SDV	19285	09/12/2019	08:04:30
11	S1B	IW	GRDH	1SDV	19460	21/12/2019	08:04:29
12	S1B	IW	GRDH	1SDV	19635	02/01/2020	08:04:29
13	S1B	IW	GRDH	1SDV	19810	14/01/2020	08:04:28
14	S1B	IW	GRDH	1SDV	19985	26/01/2020	08:04:28
15	S1B	IW	GRDH	1SDV	20160	07/02/2020	08:04:28
16	S1B	IW	GRDH	1SDV	20335	19/02/2020	08:04:27
17	S1B	IW	GRDH	1SDV	20510	02/03/2020	08:04:27
18	S1B	IW	GRDH	1SDV	20685	14/03/2020	08:04:27
19	S1B	IW	GRDH	1SDV	20860	26/03/2020	08:04:27
20	S1B	IW	GRDH	1SDV	21035	07/04/2020	08:04:28
21	S1B	IW	GRDH	1SDV	21210	19/04/2020	08:04:28
22	S1B	IW	GRDH	1SDV	21385	01/05/2020	08:04:29
23	S1B	IW	GRDH	1SDV	21560	13/05/2020	08:04:29

Tabela AB 2 - Lista das Imagens SENTINEL-1 utilizadas.

Legenda: Destaque, em azul, para as imagens com feições passíveis de serem exsudações. Fonte: O Autor, 2021.

ID	X	Y	EMe (m)	EMa (m)	R e/em	NR e/em	A (km²)	NA	Dist (km)	N Dist	#Sp	N#Sp
0	-38,61	-20,40	4567,60	6187,68	1,35	1	22,20	0,1	30,76	0,75	4	0,25
1	-40,34	-20,84	565,14	2838,46	5,02	0,5	1,26	0,5	7,37	0,25	0	0,1
2	-39,99	-21,46	304,00	1062,30	3,49	1	0,25	0,5	3,29	0,1	4	0,25
3	-40,40	-21,89	753,36	1059,04	1,41	1	0,63	0,5	11,99	0,5	0	0,1
4	-39,85	-21,99	2663,79	3273,06	1,23	1	6,85	0,75	4,02	0,1	0	0,1
5	-39,84	-21,40	1060,33	5025,20	4,74	1	4,18	1	10,89	0,5	4	0,25
6	-39,29	-19,72	3107,04	24227,73	7,80	0,5	59,12	0,1	15,5	0,5	16	0,75
7	-39,52	-19,51	761,98	1270,00	1,67	1	0,76	0,5	28,61	0,75	16	0,75
8	-39,93	-20,04	595,29	1785,94	3,00	1	0,83	0,5	25	0,75	9	0,5
9	-38,07	-19,24	1073,09	3070,20	2,86	1	2,59	1	36,56	0,75	0	0,1
10	-39,46	-19,86	1024,21	10653,75	10,40	0,5	8,57	0,75	18,79	0,5	16	0,75
11	-39,65	-19,43	687,91	2566,46	3,73	1	1,39	0,5	22,05	0,5	11	0,5
12	-39,54	-19,84	1447,14	10959,56	7,57	0,5	12,46	0,25	13,2	0,5	19	1
13	-40,15	-20,18	1357,88	5448,31	4,01	1	5,81	0,75	9,5	0,25	3	0,25
14	-39,56	-20,79	901,79	6876,28	7,63	0,5	4,87	1	15	0,5	1	0,1
15	-39,86	-20,13	3258,80	9057,06	2,78	1	23,18	0,1	21,37	0,5	8	0,5
17	-39,98	-19,92	740,83	3413,13	4,61	1	1,99	0,5	10,41	0,5	8	0,5
18	-38,03	-20,12	1756,42	12667,93	7,21	0,5	9,85	0,75	18,51	0,5	0	0,1
19	-39,83	-21,22	2024,06	7580,33	3,75	1	12,05	0,25	9,13	0,25	5	0,25
20	-39,06	-19,66	1234,30	12467,90	10,10	0,5	12,09	0,25	15,65	0,5	15	0,75
21	-39,15	-19,73	1289,84	8731,27	6,77	0,5	8,84	0,75	15,65	0,5	15	0,75
22	-39,50	-21,02	1157,47	1157,55	1,00	1	1,05	0,5	17,17	0,5	2	0,25
23	-38,75	-19,29	656,15	2074,34	3,16	1	1,07	0,5	35,12	0,75	10	0,5
24	-39,32	-20,23	4597,13	10384,92	2,26	1	37,49	0,1	11,64	0,5	5	0,25
25	-38,80	-19,17	1139,07	6436,72	5,65	0,5	5,76	0,75	34,55	0,75	10	0,5
26	-39,31	-19,40	2143,11	6958,56	3,25	1	11,71	0,25	18,23	0,5	13	0,75
27	-39,47	-19,71	2390,96	4616,38	1,93	1	8,67	0,75	11,45	0,5	17	1

Tabela AB 3 - Pesos SAR (continua)

Legenda: ID= número de identificação da possível exsudação; X= coordenada x do centroide em graus decimais; Y= coordenada y do centroide em graus decimais; A= área em km²; NA = nota área; EMa = Tamanho Eixo Maior em metros, EMe = Tamanho Eixo Menor em metros; REma/EMe= Razão entre Eixo Maior e Eixo menor; NREma/EMe= Nota Razão entre eixos; Dist = Distância para embarcações; Cbt = cobertura; NDist = nota distância; #Sp= Número de Exsudações Próximas; N#Sp= Nota Número de Exsudações Próximas.
 Fonte: O Autor, 2021.

ID	X	Y	EMe (m)	EMa (m)	R e/em	NR e/em	A (km²)	NA	Dist (km)	N Dist	#Sp	N#Sp
28	-39,60	-19,74	873,11	1878,55	2,15	1	1,29	0,5	10,39	0,5	18	1
29	-38,58	-20,30	4974,13	7143,76	1,44	1	27,91	0,1	34,05	0,75	4	0,25
30	-38,28	-21,61	1217,08	4921,26	4,04	1	4,70	1	40,74	0,75	0	0,1
31	-39,71	-19,76	859,83	2945,64	3,43	1	1,99	0,5	14,87	0,5	17	1
32	-38,85	-19,48	1561,04	6164,80	3,95	1	7,56	0,75	20,91	0,5	12	0,75
33	-38,85	-20,19	1111,25	7593,56	6,83	0,5	6,63	0,75	37,14	0,75	4	0,25
34	-38,80	-20,46	1355,98	3869,54	2,85	1	4,12	1	25,19	0,75	4	0,25
35	-37,65	-19,83	1454,88	5191,17	3,57	1	5,93	0,75	25,59	0,75	0	0,1
36	-38,60	-19,29	683,56	2209,68	3,23	1	1,19	0,5	15,92	0,5	10	0,5
37	-39,51	-19,57	2863,23	17444,64	6,09	0,5	39,23	0,1	3	0,1	18	1
38	-38,51	-20,32	1124,46	2149,74	1,91	1	1,90	0,5	26,65	0,75	4	0,25
39	-40,02	-21,22	1223,61	1223,70	1,00	1	1,18	0,5	1,4	0,1	4	0,25
40	-40,20	-21,32	1687,72	15377,93	9,11	0,5	20,38	0,1	9,82	0,25	4	0,25
41	-39,33	-19,50	1545,01	2436,44	1,58	1	2,96	1	4,4	0,1	16	0,75
42	-38,65	-19,53	286,74	965,90	3,37	1	0,22	0,5	47,15	0,75	9	0,5
43	-38,62	-19,51	1071,50	1433,75	1,34	1	1,21	0,5	44,07	0,75	9	0,5
44	-39,29	-19,23	3015,45	10505,97	3,48	1	24,88	0,1	34,85	0,75	6	0,25
45	-39,37	-19,80	992,15	1389,07	1,40	1	1,08	0,5	20,84	0,5	16	0,75
46	-39,45	-19,86	1322,84	1521,36	1,15	1	1,58	0,5	11,35	0,5	15	0,75
47	-39,47	-19,94	4233,27	4630,22	1,09	1	15,39	0,25	2,2	0,1	16	0,75
48	-39,72	-19,74	2075,72	6725,81	3,24	1	10,96	0,25	19,58	0,5	17	1
49	-39,78	-19,90	1303,93	4421,70	3,39	1	4,53	1	19,87	0,5	13	0,75
50	-38,88	-19,11	1403,02	1703,76	1,21	1	1,88	0,5	35,56	0,75	7	0,5
51	-38,81	-19,02	2674,73	3519,53	1,32	1	7,39	0,75	36,37	0,75	5	0,25
52	-38,65	-19,55	679,12	1018,72	1,50	1	0,54	0,5	22,08	0,5	9	0,5
53	-38,64	-19,56	1253,93	1627,98	1,30	1	1,60	0,5	42	0,75	9	0,5
54	-38,86	-19,45	1824,27	2450,45	1,34	1	4,00	1	38,27	0,75	14	0,75

Tabela AB 3 - Pesos SAR (conclusão)

Legenda: ID= número de identificação da possível exsudação; X= coordenada x do centroide em graus decimais; Y= coordenada y do centroide em graus decimais; A= área em km²; NA = nota área; EMa = Tamanho Eixo Maior em metros, EMe = Tamanho Eixo Menor em metros; REma/EMe= Razão entre Eixo Maior e Eixo menor; NREma/EMe= Nota Razão entre eixos; Dist = Distância para embarcações; Cbt = cobertura; NDist = nota distância; #Sp= Número de Exsudações Próximas; N#Sp= Nota Número de Exsudações Próximas.
Fonte: O Autor, 2021.

ID	Sat	Data	Coordenada X	Coordenada Y	SAR	DomTect
0	RS2	29/01/2010	-38,6063	-20,4049	0,525	1
1	RS2	30/01/2010	-40,3430	-20,8431	0,338	0,5
2	RS2	30/01/2010	-39,9856	-21,4580	0,463	0,75
3	RS2	30/01/2010	-40,4034	-21,8877	0,525	0,75
4	RS2	30/01/2010	-39,8504	-21,9948	0,488	0,75
5	RS2	13/02/2010	-39,8402	-21,4026	0,688	0,75
6	RS2	13/02/2010	-39,2930	-19,7248	0,463	0,75
7	RS2	13/02/2010	-39,5229	-19,5138	0,750	0,75
8	RS2	13/02/2010	-39,9307	-20,0355	0,688	0,75
9	RS2	22/02/2010	-38,0717	-19,2351	0,713	0,75
10	RS2	19/03/2010	-39,4572	-19,8642	0,625	0,75
11	RS2	19/03/2010	-39,6474	-19,4336	0,625	0,75
12	RS2	19/03/2010	-39,5364	-19,8421	0,563	0,75
13	RS2	19/03/2010	-40,1530	-20,1841	0,563	0,5
14	RS2	19/03/2010	-39,5560	-20,7950	0,525	0,75
15	RS2	06/05/2010	-39,8578	-20,1314	0,525	0,75
17	RS2	15/05/2010	-39,9810	-19,9207	0,625	0,75
18	RS2	15/05/2010	-38,0272	-20,1196	0,463	0,25
19	RS2	15/05/2010	-39,8267	-21,2215	0,438	0,75
20	RS2	23/06/2010	-39,0641	-19,6560	0,500	0,75
21	RS2	23/06/2010	-39,1524	-19,7286	0,625	0,75
22	RS2	30/06/2010	-39,4995	-21,0151	0,563	0,75
23	RS2	07/07/2010	-38,7507	-19,2925	0,688	1
24	RS2	07/07/2010	-39,3249	-20,2317	0,463	0,75
25	RS2	14/07/2010	-38,6063	-20,4049	0,625	1
26	RS2	31/07/2010	-40,3430	-20,8431	0,625	0,75
27	RS2	31/07/2010	-39,9856	-21,4580	0,813	0,75

Tabela AB 4 - Pontuações finais (continua)

Legenda: SAT= Sigla do Satélite (RS2= Radarsat-2; ST1= Sentinel-1); SAR= Nota SAR; DomTect =Nota Domínios Tectônicos; SIM=Nota Sísmica Fonte: O Autor, 2021.

SISM	Total
0,750	0,758
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
0,783	0,665
0,503	0,668
0,527	0,655
0,717	0,726
0,793	0,723
0,472	0,616
0,790	0,701
0,500	0,521
0,921	0,732
0,757	0,677
Х	Х
0,725	0,479
Х	Х
0,838	0,696
0,817	0,731
0,394	0,569
0,485	0,724
0,654	0,622
0,648	0,758
0,465	0,613
0,629	0,730

ID	Sat	Data	Coordenada X	Coordenada Y	SAR	DomTect	
28	RS2	31/07/2010	-39,5967	-19,7429	0,750	0,75	
29	RS2	31/07/2010	-38,5836	-20,3041	0,525	1,00	
30	RS2	31/07/2010	-38,2832	-21,6099	0,713	0,25	
31	RS2	09/08/2010	-39,7125	-19,7573	0,750	0,75	
32	RS2	09/08/2010	-38,8496	-19,4812	0,750	1,00	
33	RS2	09/08/2010	-38,8458	-20,1941	0,563	1,00	
34	RS2	19/08/2010	-38,8040	-20,4557	0,750	1,00	
35	RS2	24/08/2010	-37,6487	-19,8253	0,650	0,25	
36	RS2	24/08/2010	-38,6042	-19,2917	0,625	1,00	
37	RS2	24/08/2010	-39,5055	-19,5722	0,425	0,75	
38	RS2	06/10/2010	-38,5135	-20,3199	0,625	1,00	
39	RS2	06/10/2010	-40,0212	-21,2179	0,463	0,75	
40	RS2	21/10/2010	-40,1965	-21,3215	0,275	0,75	
41	ST1	26/03/2020	-39,3272	-19,5022	0,713	0,75	
42	ST1	07/04/2020	-38,6451	-19,5253	0,688	1,00	
43	ST1	07/04/2020	-38,6227	-19,5054	0,688	1,00	
44	ST1	02/03/2020	-39,2914	-19,2297	0,525	0,75	
45	ST1	07/02/2020	-39,3717	-19,8026	0,688	0,75	
46	ST1	07/02/2020	-39,4501	-19,8595	0,688	0,75	
47	ST1	07/02/2020	-39,4690	-19,9443	0,525	0,75	
48	ST1	07/02/2020	-39,7205	-19,7356	0,688	0,75	
49	ST1	07/02/2020	-39,7751	-19,8980	0,813	0,75	
50	ST1	07/02/2020	-38,8775	-19,1107	0,688	1,00	
51	ST1	26/01/2020	-38,8050	-19,0215	0,688	1,00	
52	ST1	03/11/2019	-38,6460	-19,5539	0,625	1,00	
53	ST1	22/10/2019	-38,6442	-19,5592	0,688	1,00	
54	ST1	16/09/2019	-38,8571	-19,4452	0,875	1,00	

Tabela AB 4 - Pontuações finais (conclusão)

Legenda: SAT= Sigla do Satélite (RS2= Radarsat-2; ST1= Sentinel-1); SAR= Nota SAR; DomTect=Nota Domínios Tectônicos; SIM=Nota Sísmica Fonte: O Autor, 2021.

SISM	Total
0,586	0,695
0,717	0,747
0,233	0,399
0,542	0,681
0,604	0,785
0,844	0,802
0,817	0,856
Х	Х
0,500	0,708
0,438	0,538
0,761	0,795
Х	Х
Х	Х
0,683	0,715
0,707	0,798
0,736	0,808
0,474	0,583
0,773	0,737
0,799	0,745
0,850	0,708
0,548	0,662
0,740	0,768
0,600	0,763
0,652	0,780
0,700	0,775
0,724	0,804
0,623	0,833

Ranking	ID	Sat	Data	Coordenada X	Coordenada Y	SAR	DomTect
10	34	RS2	19/08/2010	-38,804	-20,4557	0,75	1
2º	54	ST1	16/09/2019	-38,8571	-19,4452	0,875	1
30	43	ST1	07/04/2020	-38,6227	-19,5054	0,688	1
4º	53	ST1	22/10/2019	-38,6442	-19,5592	0,688	1
5°	33	RS2	09/08/2010	-38,8458	-20,1941	0,563	1
6º	42	ST1	07/04/2020	-38,6451	-19,5253	0,688	1
70	38	RS2	06/10/2010	-38,5135	-20,3199	0,625	1
80	32	RS2	09/08/2010	-38,8496	-19,4812	0,75	1
90	51	ST1	26/01/2020	-38,805	-19,0215	0,688	1
10º	52	ST1	03/11/2019	-38,646	-19,5539	0,625	1
11º	49	ST1	07/02/2020	-39,7751	-19,898	0,813	0,75
12º	50	ST1	07/02/2020	-38,8775	-19,1107	0,688	1
13º	0	RS2	29/01/2010	-38,6063	-20,4049	0,525	1
14º	25	RS2	14/07/2010	-38,6063	-20,4049	0,625	1
15º	29	RS2	31/07/2010	-38,5836	-20,3041	0,525	1
16º	46	ST1	07/02/2020	-39,4501	-19,8595	0,688	0,75
17º	45	ST1	07/02/2020	-39,3717	-19,8026	0,688	0,75
18º	14	RS2	19/03/2010	-39,556	-20,795	0,525	0,75
19º	21	RS2	23/06/2010	-39,1524	-19,7286	0,625	0,75
20°	27	RS2	31/07/2010	-39,9856	-21,458	0,813	0,75
21º	9	RS2	22/02/2010	-38,0717	-19,2351	0,713	0,75
22º	23	RS2	07/07/2010	-38,7507	-19,2925	0,688	1
23º	10	RS2	19/03/2010	-39,4572	-19,8642	0,625	0,75
24º	41	ST1	26/03/2020	-39,3272	-19,5022	0,713	0,75
25°	36	RS2	24/08/2010	-38,6042	-19,2917	0,625	1
26º	47	ST1	07/02/2020	-39,469	-19,9443	0,525	0,75
27º	12	RS2	19/03/2010	-39,5364	-19,8421	0,563	0,75

Tabela AB 5 - Classificação e Pontuações finais (continua)

Legenda: SAT= Sigla do Satélite (RS2= Radarsat-2; ST1= Sentinel-1); SAR= Nota SAR; DomTect =Nota Domínios Tectônicos; SIM=Nota Sísmica Fonte: O Autor, 2021.

SISM	Total
0,817	0,856
0,623	0,833
0,736	0,808
0,724	0,804
0,844	0,802
0,707	0,798
0,761	0,795
0,604	0,785
0,652	0,78
0,7	0,775
0,74	0,768
0,6	0,763
0,75	0,758
0,648	0,758
0,717	0,747
0,799	0,745
0,773	0,737
0,921	0,732
0,817	0,731
0,629	0,73
0,717	0,726
0,485	0,724
0,793	0,723
0,683	0,715
0,5	0,708
0,85	0,708
0,79	0,701

Ranking	ID	Sat	Data	Coordenada X	Coordenada Y	SAR	DomTect
28º	20	RS2	23/06/2010	-39,0641	-19,656	0,5	0,75
29º	28	RS2	31/07/2010	-39,5967	-19,7429	0,75	0,75
30º	31	RS2	09/08/2010	-39,7125	-19,7573	0,75	0,75
31º	15	RS2	06/05/2010	-39,8578	-20,1314	0,525	0,75
32º	7	RS2	13/02/2010	-39,5229	-19,5138	0,75	0,75
330	6	RS2	13/02/2010	-39,293	-19,7248	0,463	0,75
34º	48	ST1	07/02/2020	-39,7205	-19,7356	0,688	0,75
35º	8	RS2	13/02/2010	-39,9307	-20,0355	0,688	0,75
36º	24	RS2	07/07/2010	-39,3249	-20,2317	0,463	0,75
37º	11	RS2	19/03/2010	-39,6474	-19,4336	0,625	0,75
38º	26	RS2	31/07/2010	-40,343	-20,8431	0,625	0,75
39º	44	ST1	02/03/2020	-39,2914	-19,2297	0,525	0,75
40°	22	RS2	30/06/2010	-39,4995	-21,0151	0,563	0,75
41º	37	RS2	24/08/2010	-39,5055	-19,5722	0,425	0,75
42º	13	RS2	1519/03/2010	-40,153	-20,1841	0,563	0,5
43º	18	RS2	15/05/2010	-38,0272	-20,1196	0,463	0,25
44º	30	RS2	31/07/2010	-38,2832	-21,6099	0,713	0,25
450	17	RS2	15/05/2010	-39,981	-19,9207	0,625	0,75
45	35	RS2	24/08/2010	-37,6487	-19,8253	0,65	0,25
	1	RS2	30/01/2010	-40,343	-20,8431	0,338	0,5
	2	RS2	30/01/2010	-39,9856	-21,458	0,463	0,75
	3	RS2	30/01/2010	-40,4034	-21,8877	0,525	0,75
47°	4	RS2	30/01/2010	-39,8504	-21,9948	0,488	0,75
	5	RS2	13/02/2010	-39,8402	-21,4026	0,688	0,75
	19	RS2	15/05/2010	-39,8267	-21,2215	0,438	0,75
	39	RS2	06/10/2010	-40,0212	-21,2179	0,463	0,75
	40	RS2	21/10/2010	-40,1965	-21,3215	0,275	0,75

Tabela AB 5 - Classificação e Pontuações finais (conclusão)

Legenda: SAT= Sigla do Satélite (RS2= Radarsat-2; ST1= Sentinel-1); SAR= Nota SAR; DomTect =Nota Domínios Tectônicos; SIM=Nota Sísmica Fonte: O Autor, 2021.

SISM	Total
0,838	0,696
0,586	0,695
0,542	0,681
0,757	0,677
0,503	0,668
0,783	0,665
0,548	0,662
0,527	0,655
0,654	0,622
0,472	0,616
0,465	0,613
0,474	0,583
0,394	0,569
0,438	0,538
0,5	0,521
0,725	0,479
0,233	0,399
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
Х	Х
X	X

Х

Х

Х