

Bárbara Viana da Silva

**Oceanografia Sísmica: uma caracterização
do estado-da-arte por meio da análise de
metadados de artigos científicos**

Brasil

2021

Bárbara Viana da Silva

**Oceanografia Sísmica: uma caracterização
do estado-da-arte por meio da análise de
metadados de artigos científicos**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação
em Oceanografia do Centro de Ciências Físicas
e Matemáticas da Universidade Federal de Santa
Catarina como requisito para a obtenção do
Título de Bacharel em Oceanografia.

Universidade Federal de Santa Catarina

Graduação em Oceanografia

Orientador: Stephan Paul

Coorientador: Francisco Carlos Lajús Júnior

Brasil

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Bárbara Viana da

Oceanografia Sísmica: uma caracterização do estado-da arte por meio da análise de metadados de artigos científicos / Bárbara Viana da Silva ; orientador, Stephan Paul, coorientador, Francisco Carlos Lajús Júnior, 2021.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Oceanografia, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Bibliometria. 3. Bibliometrix. 4. Metadados. 5. Oceanografia Sísmica. I. Paul, Stephan. II. Lajús Júnior, Francisco Carlos. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Oceanografia. IV. Título.

Bárbara Viana da Silva

Oceanografia Sísmica: uma caracterização do estado-da-arte por meio da análise de metadados de artigos científicos

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Oceanografia.

Florianópolis, 23 de julho de 2021:

Prof. Dr. Stephan Paul
Orientador

Dr. Francisco Carlos Lajús Júnior
Coorientador

**Prof. Dr. Antônio Fernando Härter Fetter
Filho**
Avaliador

Msc. André de Souza de Lima
Avaliador

Florianópolis
2021

Aos meus pais e irmão. Minha família e base.

Agradecimentos

Estudar em uma universidade federal se tornou um dos meus sonhos durante meu ensino médio, e logo uma ambição que por meio de esforço e estudo consegui realizar. Após essa caminhada de alguns anos em uma instituição pública, posso dizer que sou muito feliz em minha escolha e em ter lutado para realizar essa ambição acadêmica. Se trata apenas do início de uma longa jornada, mas que já me dá grande orgulho e satisfação própria.

Primeiramente, agradeço aos meus pais **Rosane** e **Joélio**, por todo amor, dedicação e cuidado comigo. Por desde cedo investirem em mim e nos meus estudos. Por acreditarem em mim, até mesmo quando eu não acreditei. Por embarcarem comigo mesmo nos meus sonhos mais loucos (incluindo o suporte ao longo de um curso em que nenhum dos dois entendia muito bem, e que talvez até hoje não entendam), e serem o meu apoio mais basal nos bons e maus momentos da vida. Do fundo do meu coração, só consigo expressar meu muito obrigada. Ao meu irmão, João Pedro, por ser uma companhia indispensável desde meus seis anos de idade, e por alegrar meus dias.

Extendo meus agradecimentos ao restante da minha família, meus avós, tios e tias, padrinhos e madrinhas, afilhada, e claro, meus primos, que fizeram - e seguem fazendo - com que Içara sempre seja meu lar.

Ao meu orientador, Stephan Paul, pelo apoio durante a execução deste trabalho, acompanhamento por pouco mais de um ano, ensinamentos, correções e contribuições acadêmicas.

Ao meu coorientador, Francisco Carlos Lajús Junior, por ser literalmente meu braço direito na execução de todo o meu trabalho, desde o desenvolvimento do projeto inicial, até o momento de finalização do TCC. Pelas conversas, almoços e cafés, pela parceria e companhia no LVA. Por toda a ajuda acadêmica e apoio em projetos, pela amizade formada ao longo dessa caminhada, obrigada, de coração.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Antônio Fetter e ao Msc. André de Lima, meu muito obrigada por disponibilizarem tempo para avaliar e contribuir nesta etapa tão importante em minha vida.

Às minhas amigas, Anna Carolina, Juliana, Manoela, Maria Julia e Rafalea, obrigada por mesmo após tantos anos, ainda serem as amigas que me apoiam e que me fazem rir, mesmo nos piores momentos. Obrigada pelos poucos encontros anuais que fazem valer a pena os meses de espera. Julia obrigada por estar me acompanhando tão de perto desde tanto tempo, por ser a amiga que me ajuda, suporta, ri comigo, me acolhe em casa com um prato de comida, que escuta (até hoje) quando quero chorar minhas pitangas. Larissa, obrigada por conservar em mim uma amizade atemporal, de não importar o passar de dias, meses e anos, de ser sempre a larissilds que

me acompanha desde meus 11 anos. A todas essas amigas incríveis que adquiri ao longo da vida, me ensinando que não importa para onde eu vá, sempre terei companhia quando quiser voltar.

À Natalia e Marina por fazerem com que eu sempre me sentisse em casa mesmo em tempos de mudança, pelas companhias em momentos felizes e tristes, obrigada. Ao Toi, pelos imensos momentos de alegria compartilhados.

À minha segunda família, que me acolheu desde 2015 na ilha da magia, meus colegas da oceano, em especial Ana Carolina, Amanda, Bianca, Caio, Carol, Juana, Lua, Marco, Pati e Wilson: a vocês não tenho palavras de agradecimento suficiente; desde as noites de masterchef regadas a jantas maravilhosas, às noites em claro estudando e preparando trabalho, festas e comemorações. Por serem literalmente uma família sempre que precisei. Também à outra parte da família oceano: Ariadne, Babi, Bella, Camila, Ingra, Ísis, Hillary, Juliana, Lucas, Luísa, Malu, Natasha, Nandara e Ronaldo, por estarem comigo nos mais diversos momentos da vida acadêmica, compartilhando momentos mais que especiais que levarei sempre comigo.

Não poderia deixar de fora um agradecimento especial à toda equipe do projeto Velocidade do Som, em especial ao Junior, Lucas, Pedro e Yasmin, pelas tardes de trabalho no LVA, preparação de reuniões e estudos para provas de acústica. Vocês, mais que ninguém, me entendem por querer mergulhar no universo da oceanografia sísmica (rs).

Da caminhada de imersão na engenharia mecânica, não posso deixar de agradecer aos amigos do PPG Eng Mecânica, Andreza, Carlos, Guilherme, Fernando e Rodrigo pelos almoços no RU, forrós, e trocas de conhecimento e de vida.

Às quatro mulheres que se tornaram parte essencial da minha caminhada, minhas irmãs: Aline, Bruna, Flávia e Maria Amélia. Vocês só agregam na minha vida, são realmente irmãs, que posso contar sempre, independente da situação, independente da distância. Com vocês a vida é mais leve. Me inspirar em vocês é algo fácil, e ser feliz com vocês por perto mais fácil ainda.

A mi familia de España, por todos los momentos vividos durante el año de la pandemia, por la ayuda, por la amistad, gracias especiales a Alba, Ale, Ana, Angie, Amy, Bruna, Carol, Cristina, David, Deysi, Elena, Elio, Juanma, Julia, Laura, Lucía, Mar, Pedro, Tábata y Thet. Gracias por el compañerismo, por las risas, por toda ayuda, cenas y almuerzos, partidos en la playa, entrenamientos, compañía en la UCA... pronto volveré a Cádiz, por mi familia gaditana.

Finalmente, àqueles reponsáveis pelos ensinamentos nesta caminhada de seis anos: aos professores oceanografia UFSC. Em especial ao professores Rubens Duarte, Antônio Fetter, e Marinez Scherer pela oportunidade concedida para fazer parte de um grupo de pesquisa, por abrirem as portas dos seus laboratórios para que eu pudessem me encontrar dentro da oceanografia. Aos demais professores: Alberto Linder, Alessandra Fonseca, Andreia Freire, Antônio Klein, Bárbara Segal, Carla Bonetti, Felipe Pimenta, Jarbas Bonetti, José Barufi, Juliana Leonel, Leo Rörig, Pedro Pereira e Regina Rodrigues, e tantos outros docentes que me passaram ensinamentos, meu muito obrigada, vocês com certeza são inspirações e fazem parte essencial

desta caminhada.

A todos aqueles que de alguma forma fizeram com que a caminhada se tornasse mais prazerosa, que amenizaram os momentos de ansiedade e me inspiram diariamente.

Obrigada!

*“Navegadores antigos tinham uma frase gloriosa:
‘Navegar é preciso; viver não é preciso’.
Quero para mim o espírito [d]esta frase,
transformada a forma para a casar como eu sou:
Viver não é necessário; o que é necessário é criar.”
(Fernando Pessoa)*

Resumo

A oceanografia sísmica pode ser considerada uma área interdisciplinar, que integra sismologia e oceanografia física. É uma área derivada do imageamento de sísmica de multi-canal (técnica amplamente utilizada na indústria de óleo e gás), e que forneceu uma nova forma de imagear estruturas físicas na coluna d'água, com resolução superior às das técnicas já utilizadas na oceanografia física convencional. Apesar de recente, esta frente científica vem apresentando um aumento disforme no número de publicações e na diversificação das áreas e estruturas de estudo. Com isso, este trabalho propõe a aplicação de uma análise de metadados de artigos científicos publicados sobre o tema, para a caracterização desta frente científica e do auxílio na definição do estado-da-arte de alguns tópicos de interesse. Para isto, o *bibliometrix* foi utilizado como ferramenta para o tratamento dos metadados e posterior análise bibliométrica. Além das estatísticas principais, foram levantadas informações associadas: aos principais documentos e revistas, autores e redes colaborativas, órgãos financiadores, áreas de estudo e estruturas oceânicas, e levantamento das principais tendências apresentadas nos trabalhos mais recentes. Assim, este trabalho contribui na busca de alternativas mais sistemáticas na revisão de trabalhos científicos e mapeamento de áreas de pesquisa.

Palavras-chave: Bibliometrix. Bibliometria.

Abstract

Seismic oceanography can be considered an interdisciplinary field, integrating seismic and physical oceanography. It is an area derived from multi-channel seismic imaging (a technique widely used in the oil and gas industry), and has provided a new way to image physical structures in the water column, with higher resolution than techniques already used in conventional physical oceanography. Despite being recent, this scientific front has been presenting a misshapen increase in the number of publications and in the diversification of areas and structures of study. Thus, this work proposes the application of a metadata analysis of scientific articles published on the theme, for the characterization of this scientific front and to help define the state-of-the-art of some topics of interest. To this end, bibliometrix was used as a tool for the treatment of the metadata and subsequent bibliometric analysis. In addition to the main statistics, information was gathered on: the main papers and journals, authors and collaborative networks, funding agencies, areas of study and ocean structures, and a survey of the main trends presented in the most recent papers. Thereby, this work contributes to the search for more systematic alternatives in the review of scientific papers and mapping of research areas.

Keywords: Bibliometrix. Bibliometrics.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Desenho esquemático de aquisição de dados sísmicos	18
Figura 2 – Fluxograma de atividades metodológicas	22
Figura 3 – Passo-a-passo de aquisição e pré-processamento dos metadados	25
Figura 4 – Quantidade de publicações feitas por ano	29
Figura 5 – Relação entre o número de revistas, fatores de impacto e quantidade total de artigos publicados nelas	31
Figura 6 – Publicações cumulativas nas sete fontes com maior número de documentos publicados ao decorrer dos anos	33
Figura 7 – Artigos mais citados e fator de impacto das revistas de publicação associadas	34
Figura 8 – Categorização dos documentos	35
Figura 9 – Distribuição mundial dos locais de afiliação dos autores	36
Figura 10 – Associação dos trinta autores com maior número de publicações aos respectivos países de afiliação	37
Figura 11 – Produção científica de doze dos autores da base de dados, ao longo dos anos	38
Figura 12 – Exemplo do cálculo do índice H	39
Figura 13 – Comparação entre índices H (<i>bibliometrix</i> e Scopus) dos autores com maior número de publicações	39
Figura 14 – Rede de colaboração entre distintos grupos de autores da oceanografia sísmica	40
Figura 15 – Fluxo da água do Mar Mediterrâneo para o Oceano Atlântico e área de estudo do <i>IAM survey</i> e <i>GO Project</i>	42
Figura 16 – Mapa global com locais de estudo e quantidade de trabalhos conduzidos em cada uma das áreas	47
Figura 17 – Subdivisão das estruturas oceanográficas	48
Figura 18 – Dimensão de processos oceanográficos em escalas temporal e espacial	49
Figura 19 – Dimensões espaciais e temporais das categorias de ondas internas	50
Figura 20 – Ondas internas solitárias	51
Figura 21 – <i>Meddy</i> e modelo de velocidade do <i>Meddy</i> , a partir de inversão	52
Figura 22 – Simulação de pluma de bolhas na coluna d'água	53
Figura 23 – Esquema didático da retroflexão da Corrente das Agulhas	55
Figura 24 – Massas d'água imageadas por reflexões sísmicas	56
Figura 25 – Representação do imageamento de <i>termohaline staircases</i>	57
Figura 26 – Estruturas termohalinas	57

Lista de tabelas

Tabela 1 – Artigos relevantes dentro da oceanografia sísmica, que não utilizam o termo <i>Seismic Oceanography</i>	26
Tabela 2 – Artigos relevantes não encontrados na base de dados	27
Tabela 3 – Principais informações da base de metadados	28
Tabela 4 – Artigos publicados em decorrência do <i>GO Project</i> (GRL)	43
Tabela 5 – Publicações decorrentes do congresso internacional em acústica sediado em Montreal	44
Tabela 6 – Principais tendências de estudos	58

Lista de abreviaturas e siglas

WOS	<i>Web of Science</i>
GO	<i>Geophysical Oceanography</i>
FI	Fator de Impacto
GRL	<i>Geophysical Research Letters</i>
AGS	<i>Acta Geophysica Sinica</i>
JGR	<i>Journal of Geophysical Research</i>
JMS	<i>Journal of Marine Systems</i>
OSc	<i>Ocean Science</i>
POMA	<i>Proceedings of Meetings on Acoustic</i>
AAUWA	<i>Acta Acustica united with Acustica</i>
AOS	<i>Acta Oceanologica Sinica</i>
BdGTA	<i>Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata</i>
CSR	<i>Continental Shelf Research</i>
DSRP-I	<i>Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers</i>
JCUoG	<i>Diqiu Kexue - Zhongguo Dizhi Daxue Xuebao/Earth Science - Journal of China University of Geosciences</i>
DAO	<i>Dynamics of Atmospheres and Oceans</i>
EPS	<i>Earth, Planets and Space</i>
ExGeo	<i>Exploration Geophysics</i>
GJI	<i>Geophysical Journal International</i>
GeoEng	<i>Geosystem Engineering</i>
IOP CS: EES	<i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>
JAG	<i>Journal of Applied Geophysics</i>
JAES	<i>Journal of Asian Earth Sciences</i>

JAOT	<i>Journal of Atmospheric and Oceanic Technology</i>
JGRSE	<i>Journal of Geophysical Research: Solid Earth</i>
JGE	<i>Journal of Geophysics and Engineering</i>
JOUC	<i>Journal of Ocean University of China</i>
JOcean	<i>Journal of Oceanography</i>
JPO	<i>Journal of Physical Oceanography</i>
JSV	<i>Journal of Sound and Vibration</i>
CScB	<i>Kexue Tongbao/Chinese Science Bulletin</i>
MGR	<i>Marine Geophysical Researches</i>
MPG	<i>Marine Petroleum Geology</i>
MGeo	<i>Mathematical Geosciences</i>
PGCP	<i>Petroleum Geology Conference Proceedings</i>
PAGeo	<i>Pure and Applied Geophysics</i>
RBG	Revista Brasileira de Geofísica
ScRep	<i>Scientific Reports</i>
OGP	<i>Shiyou Diqu Wuli Kantan/Oil Geophysical Prospecting</i>
SOW	<i>Exploratory Workshop on Seismic Oceanography</i>
SCS	<i>South China Sea</i>
NSFC	<i>National Natural Science Foundation of China</i>
ESF	<i>European Science Foundation</i>
ICAM	<i>International Congress on Acoustics in Montreal</i>
MOST	Ministério da Ciência e Tecnologia chinês
BRPC	<i>National Basic Research Program of China</i>
C&T	Ciência e Tecnologia
FWI	<i>Full Waveform Inversion</i>
CTD	<i>Conductivity, Temperature and Depth</i> ou <i>Condutividade, Temperatura e Profundidade (Pressão)</i>

XBT	<i>Expendable Bathythermograph</i>
CL	Corrente do Labrador
CNA	Corrente Norte-Atlântica
SCM	Subcorrente do Mediterrâneo
SCCO	Subcorrente de Contorno Oeste
CA	Corrente das Agulhas
CK	Corrente de Kurushio

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos Gerais	20
1.2	Objetivos Específicos	20
2	MATERIAIS E MÉTODOS	21
2.1	Ferramenta bibliométrica	21
2.2	Bases de metadados	22
2.3	Aquisição e Tratamento da Base de dados	24
2.4	Categorização das estruturas	25
3	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	28
3.1	Principais estatísticas	28
3.2	Documentos e Revistas	30
3.3	Autores e Redes colaborativas	35
3.4	Projetos, Eventos e Instituições	41
3.5	Áreas de estudo e Estruturas oceânicas	45
3.6	Principais Tendencias	58
4	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS	62

1 Introdução

De modo geral, a Oceanografia Sísmica consiste em uma área interdisciplinar, na qual a sismologia e a oceanografia física são integradas, permitindo a investigação de fenômenos que ocorrem na coluna d'água a partir da aplicação de técnicas de imageamento baseadas na sísmica de reflexão. O uso dessas técnicas é já bastante consolidado na caracterização das propriedades do substrato geológico, principalmente na identificação e monitoramento de reservatórios de óleo e gás (KORMANN; COBO; GUERRA, 2007; SONG et al., 2012; YILMAZ, 2008). Basicamente, em levantamentos sísmicos realizados no ambiente marinho, ondas acústicas são produzidas por uma fonte (e.g. *air gun*) que é rebocada na parte superior do oceano. A medida que esta perturbação sonora se propaga ao longo da coluna d'água e atinge diferentes camadas geológicas, as diferenças nas propriedades físicas (variações de impedâncias¹) deste meio fazem com que parte desta energia seja convertida em um campo de ondas refletido, que acaba retornando a superfície do oceano onde também estão dispostos receptores acústicos ou hidrofones (e.g. *streamers*) rebocados pela embarcação a uma certa distância (*offset*) da fonte acústica (Figura 1). Apesar de ser originalmente aplicada na determinação das características do substrato geológico, diversos estudos sugerem que esta mesma técnica de imageamento sísmico é também capaz de capturar as pequenas reflexões oriundas de variações de impedância ocasionadas por diferenças sutis nas propriedades físicas do ambiente marinho (GONELLA; MICHON, 1988; PHILLIPS; DEAN, 1991; HOLBROOK et al., 2003; RUDDICK, 2003). Na prática, alterações de temperatura e salinidade, também conhecidas como “variações termohalinas”, são os principais fatores associados a estas diferenças na propriedade do meio oceânico. No momento em que estas variações passam a ser relacionadas a algum processo físico conhecido ou uma espécie de padrão identificado do comportamento do oceano, é possível realizar uma caracterização de diferentes estruturas oceânicas, como vórtices (MENESGUEN et al., 2009; KRAHMANN et al., 2009; HOBBS et al., 2009; GELI et al., 2009; KORMANN et al., 2010; PAPENBERG et al., 2010), ondas internas (GONELLA; MICHON, 1988; SONG et al., 2009; DONG et al., 2009; SONG et al., 2010), massas de água (SALLARÈS et al., 2009; RUDDICK et al., 2009), entre outros.

Em 1665, a publicação do *Journal des Sçavans* (na França) e do *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (na Inglaterra) marcaram o início de uma nova sistemática no desenvolvimento do conhecimento científico a partir da utilização de artigos científicos (LARIVIÈRE; HAUSTEIN; MONGEON, 2015). O propósito consistia em criar uma base de informações útil ao avanço da pesquisa, a partir da divulgação ampla de resultados obtidos em estudos anteriores, evitando essencialmente duplicações e permitindo a determinação de prioridades com base nestes estudos publicados na forma de artigos científicos, os quais eram também revisados e avaliados por pares (*peer review*). De fato, esta proposta mudou considera-

¹ produto entre densidade e velocidade do som $Z(z) = \rho(s)c(z)$.

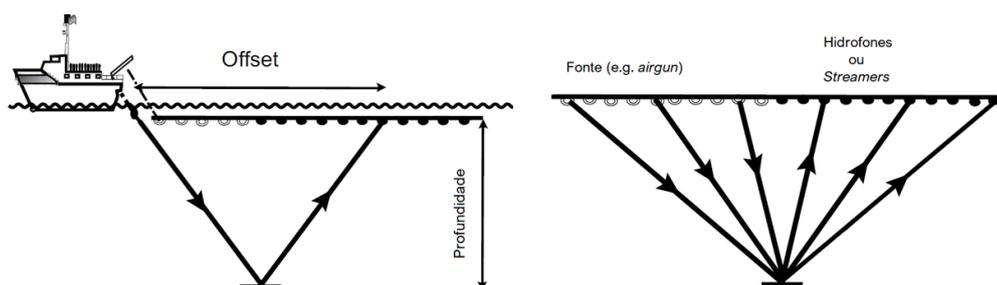


Figura 1 – Desenho esquemático de aquisição de dados sísmicos, representando *offset*, fontes e hidrofones rebocados por uma embarcação. Adaptado de Ruddick et al. (2009)

velmente a forma habitual na época de comunicação dentro do meio acadêmico, que era feita inicialmente pela troca de correspondência pessoal, reuniões de sociedades e/ou publicação de livros, para uma exposição mais estruturada do conhecimento científico com divulgação mais regular acerca dos avanços mais recentes. Esta proposta é ainda hoje usada na construção de diversos acervos científicos, dentro das mais variadas áreas do conhecimento, constituindo a base de informações fundamental para o desenvolvimento continuado da pesquisa científica (PRICE, 1963; ZUCKERMAN; MERTON, 1971; HAUSTEIN, 2012; TENOPIR; KING, 2014).

Atualmente, existe um número considerável de publicações acadêmicas em diversos segmentos do conhecimento, em parte pela grande ênfase nas contribuições empíricas que resultam em fluxos de pesquisa cada vez mais volumosos e fragmentados (BRINER; DENYER, 2012). O foco em artigos publicados em periódicos **indexados** apresenta vantagens na seleção de trabalhos científicos, neste caso, uma vez que permite basicamente: (a) o registro da quantidade de citações realizadas (que pode indicar os trabalhos de maior impacto); (b) o cálculo do fator de impacto da revista, e (c) a estratificação das publicações por meio de listas (ou *rankings*), que permite a classificação das revistas dando uma percepção de qualidade do periódico (IMASATO; PERLIN; BORENSTEIN, 2017). Mesmo assim, um número considerável de publicações pode vir a tornar inviável a caracterização adequada do estado-da-arte de um determinado tópico de pesquisa, sendo evidente o trabalho cada vez mais acentuado de síntese necessário para uma revisão apropriada de estudos passados (ROUSSEAU, 2012).

O mapeamento da pesquisa baseado na análise de metadados de artigos científicos (e.g. títulos, autores, resumos, afiliações, referências, etc) oferece uma possível estrutura para explorar, por exemplo, diferentes áreas de pesquisa, detectar lacunas de conhecimento, identificar principais autores e trabalhos relevantes, dentro de um determinado tópico de interesse (BOYACK; KLAVANS; BÖRNER, 2005; OLDHAM; HALL; BURTON, 2012). Neste trabalho a possibilidade de aplicação destas ferramentas de análise de metadados para o direcionamento sistemático da revisão bibliográfica é investigada. Em particular, o interesse é voltado para uma caracterização do estado-da-arte de alguns tópicos de interesse dentro da área de pesquisa conhecida como “Oceanografia Sísmica”.

A origem do termo *Seismic Oceanography*

Para a criação de uma base de metadados de artigos científicos, é necessário definir primeiro quais seriam os termos centrais presentes nos diversos estudos, permitindo assim a discriminação dos trabalhos para uma posterior análise bibliométrica e caracterização desta frente científica. No caso em particular do termo *Seismic Oceanography*, a associação deste com uma nova área de conhecimento científico acontece em um período de tempo posterior ao surgimento dos primeiros trabalhos que discorrem sobre a presença de reflexões dentro da coluna d'água em dados sísmicos.

Um aspecto comum de trabalhos anteriores a 2007 (resultados do Scopus), envolve a ausência do termo “*seismic oceanography*”, e uso mais recorrente de “*seismic reflection*”, “*water layer*”, etc., que são mais habituais na sísmica do substrato geológico (SMILLIE, 2013). De fato, o termo aparece pela primeira vez em Holbrook e Fer (2005), ao final das conclusões do trabalho:

*“Our results imply that seismic reflection imaging constitutes an important new tool for remotely sensing and quantifying the internal wave field over large regions. The technique offers several unique advantages that can supplement the oceanographic measurements [...] We suggest that **seismic oceanography** will be especially useful in quantifying the internal wave field when combined with more traditional measurements...”*

Somente a partir de 2006, que o termo *Seismic Oceanography* passou a ser mais popularizado (nos títulos, resumos e/ou palavras-chaves) entre os estudos que fizeram uso desta técnica de imageamento oceanográfico, tendo inclusive um simpósio próprio (no *Ocean Sciences Meeting* de 2006). Atualmente, há uma perceptível notoriedade deste termo entre diferentes grupos internacionais, o que permite a associação destes trabalhos para construção de uma base de metadados referentes a então chamada área de Oceanografia Sísmica.

Breve estado-da-arte

Um dos primeiros relatos do potencial destes dados para a caracterização das variações das propriedades do ambiente marinho ocorre na década de 60, com o trabalho de Hunt et al. (1967), no qual imagens da sísmica de reflexão foram capazes de identificar lagos de salmoura (*brine pool*) em depressões batimétricas em regiões do Mar Vermelho, contendo porções de água com salinidade de 3 a 5 vezes superior a média da região. Porém, apenas no final da década de 80, a sísmica de reflexão foi de fato utilizada pela primeira vez com o propósito de identificação de estruturas oceanográficas, com a caracterização do comportamento de ondas internas a oeste do Estreito de Gibraltar (GONELLA; MICHON, 1988), próximas ao Banco de Goringe (circa

36°N, 12°W). Isto acabou motivando o posterior reprocessamento de linhas sísmicas adquiridas na região dos Grandes Bancos (circa 42°N, 47° W), visando ressaltar as reflexões observadas na região da camada d'água, compreendida entre 40m e 900m de profundidade (PHILLIPS; DEAN, 1991). Contudo, somente após o trabalho de Holbrook et al. (2003) a aplicação da sísmica de reflexão na investigação de estruturas termohalinas oceânicas foi amplamente estabelecida e divulgada, destacando a excelente resolução espacial (ao longo da linha sísmica) de fenômenos oceânicos importantes (como intrusões termohalinas, ondas internas, e vórtices) a partir do imageamento acústico.

1.1 Objetivos Gerais

Realizar uma análise de metadados dos trabalhos referentes a área da Oceanografia Sísmica, de modo a caracterizar as particularidades desta frente de pesquisa, definindo o estado-da-arte de alguns tópicos de interesse.

1.2 Objetivos Específicos

- Construir uma base de metadados de artigos científicos, e realizar o tratamento desta, aplicando ferramentas bibliométricas (*bibliometrix*);
- Definir quais as principais características e particularidades desta frente científica;
- Analisar os resultados obtidos, e o potencial direcionamento dos resultados na revisão da literatura quanto às estruturas oceânicas e locais de estudo já investigados.

2 Materiais e Métodos

De modo geral, análises bibliométricas que envolvem a manipulação de metadados de artigos científicos, tratando registros de texto (*text mining*), seguem um procedimento padrão. A primeira etapa consiste na obtenção de uma base de dados associadas aos metadados das publicações. Estas informações (como autores, palavras-chave, referências, etc.¹) são geralmente obtidas por meio de resultados em sites de procura bibliográfica, que já indexaram massivamente grandes quantidades desses registros. Exemplos incluem *Google Scholar*, *Scopus* e *Web of Science* (WoS). Muitas vezes estes resultados precisam ainda ser checados ou retrabalhados, de modo a evitar repetições ou eventuais inconsistências, antes de proceder com a análise propriamente dita. A análise bibliométrica, então, envolve a interpretação de resultados estatísticos (descritivos) obtidos a partir desses metadados. Como por exemplo, avaliar o número de publicações ao longo dos anos e como esses trabalhos estão distribuídos nos diversos periódicos, quais os mais citados e autores de maior impacto, que instituições estão envolvidas e quais são os órgãos financiadores, que regiões já foram estudadas e se existe alguma tendência nesses estudos. Ainda, é possível proceder com análises mais voltadas a estudos lexicográficos, identificando quais termos linguísticos são habitualmente mais empregados em conjunto, como estes são usados em determinadas áreas, avaliar o surgimento de tendências por meio de novos agrupamentos de palavras², entre outros (ARIA; CUCCURULLO, 2017; OLIVEIRA et al., 2018).

Na sequência, é apresentado, na Figura 2, um fluxograma de atividades, proposto para atender aos objetivos previamente estabelecidos. Neste, foram definidas as seguintes etapas, divididas em 4 grandes tópicos: (1) construção de uma base de metadados (Scopus/WoS/Google); (2) tratamento dos dados; (3) aplicação de Ferramentas bibliométricas (definição dos principais tópicos de interesse para esta base de dados); e (4) análise dos resultados e revisão direcionada.

2.1 Ferramenta bibliométrica

O *bibliometrix* é uma biblioteca de código aberto escrita na linguagem R, voltada a aplicar rotinas de *data-analysis* e *data-visualization* para análise descritiva de dados bibliométricos e sua estrutura científica (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Nisto inclui-se estatísticas e gráficos associadas ao número de publicações ao longo do tempo, principais autores, *papers*, países, colaborações, palavras-chave mais relevantes, entre outros. A biblioteca contém a função (*biblioshiny*), indicada para não-programadores, que abre uma interface gráfica no navegador de internet para rápida verificação dos principais índices bibliométricos e estruturas complexas de colaboração e uso de palavras.

¹ dados que são abertos, ao contrário do conteúdo de publicações, que ainda é pago na grande maioria.

² um exemplo bastante atual disto é o termo “*machine + learning*”.

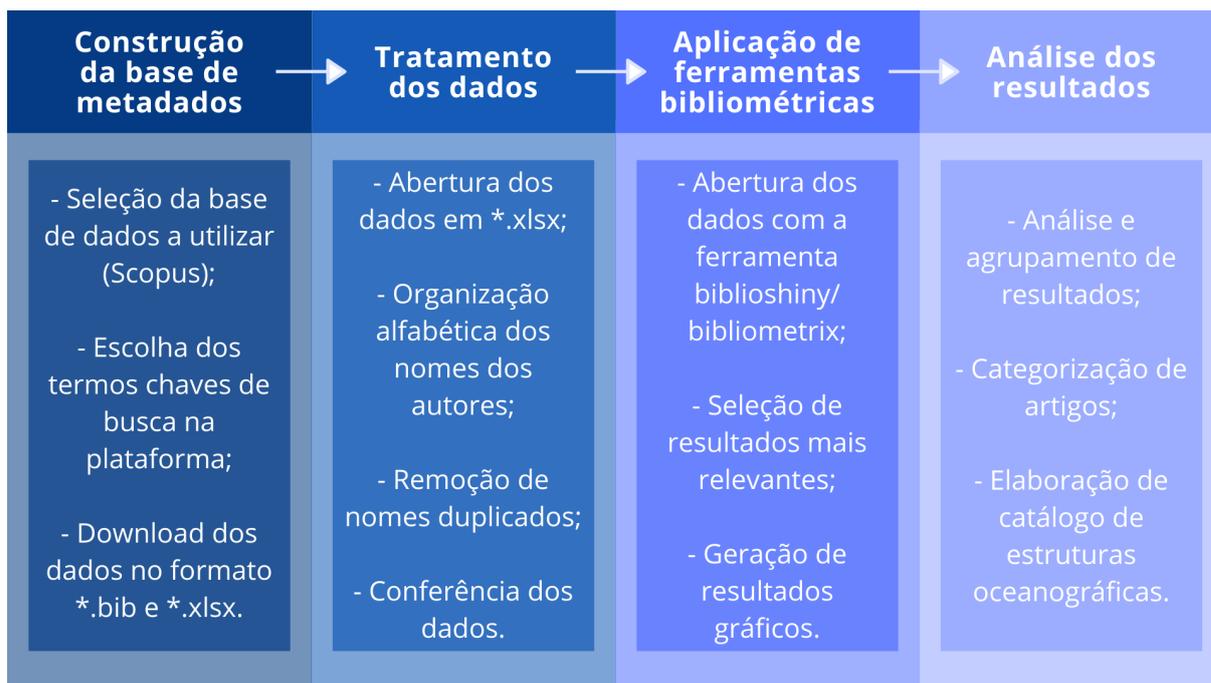


Figura 2 – Fluxo de trabalho para aquisição e análise de resultados.

Uma vez definido o uso do bibliometrix, a etapa seguinte é estabelecer quais informações extraídas são mais relevantes nesta caracterização bibliométrica e do estado-da-arte (ARIA; CUCCURULLO, 2017; COSTA; CALDEIRA, 2018). Dentre os artigos encontrados que usam esta abordagem para mapeamento do tópico científico (OLDHAM et al., 2014; MATOS et al., 2018; LEE; CHO; HAN, 2018; BOHÉMIER, 2019), alguns tipos de informações são compartilhados nestas diferentes análises, como: (1) informações gerais sobre a base de metadados; (2) número de publicações ao longo dos anos; (3) principais autores e trabalhos (em termos de citações locais e totais na base de metadados); e (4) rede colaborativa entre autores, países e/ou instituições.

Nos trabalhos encontrados, estas informações tendem a servir como etapa preliminar a classificações posteriores, dividindo os trabalhos em categorias por assuntos, abordagens, métodos aplicados e regiões de estudo, por exemplo. Este processo, no entanto, não é automatizado e depende de uma análise mais criteriosa do conteúdo de cada publicação, além de um conhecimento mais aprofundado dos tópicos de estudo.

2.2 Bases de metadados

A coleta de dados pode ser dividida em três estágios. O primeiro deles consiste na aquisição de uma base de dados indexada, na qual vários repositórios *online* podem ser utilizados (COBO et al., 2011). O segundo é a conversão dos dados para um padrão que facilite a posterior análise bibliométrica, enquanto o estágio final envolve uma possível filtragem destes dados reorganizados (ARIA; CUCCURULLO, 2017). O pré-processamento destes é importante porque

muitas vezes o arquivo gerado em determinada base de dados pode conter informação duplicada ou escrita de várias formas (diferentes revistas podem usar abreviações diferentes para o mesmo nome de autor). Além disso, podem existir publicações que foram feitas mais de uma vez (e.g. primeiro em congresso e posteriormente em revista), além da existência de nomes muito comuns, que também podem ser um problema.

Atualmente, existem algumas páginas de procura textual de trabalhos científicos (predominantemente de língua inglesa) que disponibilizam metadados por meio de resultados de pesquisa. A escolha particular de uma página web ou outra parece ser bastante dependente da área de estudo (MARTÍN-MARTÍN et al., 2018). Com relação à abrangência, o *Google Scholar* é apontado como a opção que retorna o maior número e variedade de resultados (MARTÍN-MARTÍN et al., 2018). Parte disso se deve, no entanto, ao fato de a procura incluir artigos ainda em submissão e/ou não publicados (disponíveis no *arXiv*), folhetos, relatório ou trabalhos acadêmicos, versões diferentes de um mesmo trabalho, entre outros (conhecidos como literatura cinzenta). Apesar disso, a variedade de metadados disponibilizados abertamente para exportação pelo *Google* é limitada apenas a algumas informações necessárias à citação desses trabalhos.

Tanto o WoS como o Scopus, aparecem como alternativas que abrangem os principais periódicos (assumindo, então, trabalhos com mais qualidade), com maior indexação de informações desses trabalhos, e maior disponibilidades de metadados oferecidos por trabalho científico (o que acaba permitindo uma análise mais abrangente). O uso do WoS é mais indicado por apresentar um melhor tratamento na indexação dos metadados de artigos científicos (ARIA; CUCCURULLO, 2017). No entanto, o serviço do Scopus é abertamente oferecido dentro da UFSC, uma das razões da escolha desta base de dados frente ao WoS. Além disso, para este conjunto de metadados, a base de dados do Scopus é mais completa, apresentando maior quantidade de trabalhos indexados com o termo *Seismic Oceanography*, e também requer menor pré-processamento de metadados quando comparado ao WoS. Normalmente, cada uma dessas páginas disponibiliza também as próprias ferramentas lógicas e filtros para melhorar os resultados de busca. A descrição detalhada das ferramentas de procura e exportação de dados são geralmente muito particulares de cada plataforma, mas normalmente indicativos de ajuda ou tutoriais são disponibilizadas nos próprios sites de procura. Neste ponto, o Scopus apresenta diversas opções de refino desses resultados (com tutoriais), além de uma grande disponibilidade e variedade de metadados para manipulação (*abstract*, referências usadas no trabalho, instituições financiadoras, etc.). Este conjunto de metadados pode ser exportado em diversos formatos pelo Scopus, como *.txt, *.bib, *.dat, *.csv, *.xls, entre outros. Aqui, o *.bib é o mais indicado no *bibliometrix* para dados extraídos do Scopus (ARIA; CUCCURULLO, 2017), portanto foi o formato escolhido para a realização da análise bibliométrica dos metadados.

A princípio estes resultados poderiam ser avaliados diretamente com ferramentas do *bibliometrix*, entretanto, é recorrente a necessidade de retrabalhar parte dos metadados para resolver certas inconsistências. Algumas citações, por exemplo, apresentam o registro de um

determinado autor escrito de duas ou mais formas (contabilizando dois ou mais autores, quando na realidade são um só); isto também ocorre algumas vezes com o nome de instituições.

2.3 Aquisição e Tratamento da Base de dados

Quanto ao termo de pesquisa, foram consideradas três situações particulares na configurações de busca, que são permitidas dentro da própria plataforma do Scopus, para construção da base de metadados. A primeira usando o termo “*Seismic oceanography*” AND “*ocean*” nos campos “*Article title, abstract and key-words*”. O resultado desta busca retorna (acessado pela última vez em 09/03/2021, às 16 horas) 76 resultados, dentre eles, 2 documentos não abordam o imageamento sísmico da coluna d’água propriamente dito. Na segunda opção de busca, usou-se apenas o termo “*Seismic oceanography*”, para todos os campos (*All fields*) de procura indexados possíveis, retornando 186 documentos. A terceira opção, limitada a busca nos campos “*Article title, abstract and key-words*” resulta em 99 documentos. Com base nestes resultados de busca, optou-se por utilizar a base de metadados extraída pelo grupo lógico mais abrangente (segundo caso), dado o número total de trabalhos relativamente manejável (≈ 200 artigos). Como nestes resultados é considerada também a existência do termo “*Seismic Oceanography*” entre as referências, esta escolha apresenta o potencial de abranger contribuições que talvez não mantiveram o uso padrão do termo chave. Por outro lado, isto também inclui resultados mais relacionados a outras áreas do conhecimento que não são de interesse deste trabalho, mas que fizeram uso de algum dos trabalhos focados em Oceanografia Sísmica. De modo geral, o segundo caso parece mais recorrente, principalmente em trabalhos de diferentes áreas, nos quais os autores são os mesmos que em algum ponto fizeram contribuições na área de Oceanografia Sísmica (auto-citação). Assim, dos 186 artigos encontrados, 54 foram desconsiderados, totalizando 132 documentos ao todo. Estes 54 trazem o termo apenas em referências, sendo que os trabalhos em si não abordam a área.

Após a verificação dos trabalhos, a lista de documentos é salva na forma de arquivo *bibtex* e em seguida a leitura dos dados no *bibliometrix* é realizada para uma primeira avaliação da consistência na padronização destes dados. Com isso identificaram-se diferentes registros de nomes para os mesmos autores. Utilizando o próprio *bibliometrix*, gerou-se uma tabela (*.xlsx) com o nome de todos os autores e suas respectivas publicações, posteriormente alterando os nomes no arquivo *.bib. Assim, a lista inicial de 315 autores acabou sendo reduzida para 273.

A partir destes resultados, obtidos para diferentes fontes bibliográficas, uma nova busca é realizada, ainda na plataforma Scopus, para a obtenção dos fatores de impacto (FI) das 52 fontes (ou periódicos/revistas) bibliográficas. O fluxograma desta etapa de tratamento dos dados é representado na Figura 3.

Com a leitura de algumas das referências encontradas, e observando a frequência com a qual determinados artigos são citados, foram destacados 24 trabalhos. Dentre eles, incluiu-se 19

(Tabela 1) que não fazem uso explicitamente do termo “*Seismic Oceanography*”. Os outros 5 artigos, trazidos na Tabela 2, não foram indexados no Scopus, e por isso não são considerados na base de metadados, mesmo apresentando o termo de busca, como o caso do trabalho de Fortin e Holbrook (2009), “*Sound speed requirements for optimal imaging of seismic oceanography data*” (Tabela 2). Com isso, a base de metadados final utilizada têm um total de 151 trabalhos.



Figura 3 – Esquema de aquisição, filtragem de dados e geração de resultados. Base de dados: Scopus

2.4 Categorização das estruturas

Quanto ao teor dos trabalhos publicados, buscou-se categorizar os artigos em diferentes grupos, referentes aos principais tópicos abordados por cada um. Uma sugestão para esta categorização é apresentada na Figura 8 (subseção 3.2 *Documentos e Revistas*). Neste caso, a partir da leitura parcial dos documentos, os estudos foram divididos em: (1) processamento e/ou inversão sísmica, (2) simulação numérica e/ou modelos sintéticos e (3) estruturas oceanográficas. Dos 151 documentos, apenas 5 não se enquadram em nenhuma destas categorias, sendo eles os trabalhos de: Rice, Ruddick e Biescas (2013), no qual os autores abordaram progressos e dificuldades da área perante o aniversário de 10 anos do artigo de Holbrook et al. (2003); Etter, Haas e Ramani (2015), sobre o impacto dos levantamentos sísmicos e acústicos sobre os mamíferos marinhos; Song et al. (2017) que configura um capítulo de livro sobre a área; Ruddick (2018) sobre as possíveis razões que impediram o crescimento da oceanografia sísmica e alternativas; e Sheen (2019) que consiste numa apresentação em um congresso (EAGE) no Reino Unido, sobre novos *insights* dentro da área.

Tabela 1 – Artigos relevantes dentro da oceanografia sísmica que não foram encontrados na busca do termo “seismic oceanography” na plataforma Scopus

Autor / Ano	Revista	Citações Totais
Holbrook et al. (2003)	Science	182
Holbrook e Fer (2005)	Geophysical Research Letters	99
Nandi et al. (2004)	Geophysical Research Letters	97
Ruddick et al. (2009)	Oceanography	96
Biescas et al. (2008)	Geophysical Research Letters	80
Rollet et al. (2006)	Marine and Petroleum Geology	64
Ambar et al. (2008)	Journal of Marine Systems	43
Tsuji et al., 2005	Geophysical Research Letters	48
Krahmann et al. (2008)	Journal of Geophysical Research	43
Sallarès et al. (2009)	Geophysical Research Letters	48
Hunt et al. (1967)	Science	13
Sheen, White e Hobbs (2009)	Geophysical Research Letters	42
Páramo e Holbrook (2005)	Geophysical Research Letters	24
Hildebrand, Armi e Henkart (2012)	Geophysics	5
Menesguen et al. (2009)	Geophysical Research Letters	15
Eakin, Holbrook e Fer (2011)	Geophysical Research Letters	13
Song et al. (2011)	Journal of Marine Research	20
Gonella e Michon (1988)	Comptes Rendus - Academie des Sciences, Serie II	24
Schmitt et al. (2005)	IEEE	1

Tabela 2 – Artigos relevantes dentro da oceanografia sísmica que não são indexados na plataforma Scopus. Citações totais adquiridas através do *Google Scholar*.

Autor / Ano	Revista	Citações Totais
Nakamura et al. (2006)	Geophysical Research Letters	76
Banda, Torne e Group (1995)	Geophysical Research Letters	53
Klaeschen et al. (2009)	Geophysical Research Letters	33
Fortin e Holbrook (2009)	Geophysical Research Letters	28
Phillips e Dean (1991)	Ocean Variability & Acoustic Propagation	18

3 Análise bibliométrica

3.1 Principais estatísticas

Na análise bibliométrica, um dos primeiros resultados retornados pelo *bibliometrix* consiste em informações gerais sobre a base de metadados analisada, como por exemplo o intervalo de tempo abrangido por todas as referências, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações principais da base de metadados considerada

Descrição	
INFORMAÇÕES PRINCIPAIS	
Intervalo de tempo	1967→2021
Fontes (Revistas, Livros, etc.)	59
Documentos	151
Média de citações por documentos	12,85
Mediana de citações por documentos	6
Média de citações por ano por documento	1,183
Referências	4355
TIPOS DE DOCUMENTOS	
Artigos	125
Capítulo de Livro	1
Artigo de conferencia	23
Nota	1
Revisão	1
CONTEÚDO DOS DOCUMENTOS	
Palavras-chave Plus (ID)	1063
Palavras-chave do autor (DE)	298
AUTORES	
Autores	300
Aparições dos autores	708
Autores de documentos de autoria única	2
Autores de documentos de multi-autoria	298
COLABORAÇÕES ENTRE AUTORES	
Documentos de autoria única	2
Documentos por autores	0,503
Autores por documentos	1,99
Co-autores por documentos	4,69
Índice de colaboração	2

É importante destacar aqui algumas limitações com o uso de informações estatísticas

para a caracterização adequada desta área de pesquisa, ainda mais considerando o relativamente baixo número de trabalhos publicados neste campo de estudo. A representação de valores médios de publicação por ano, por exemplo, pode ser interessante para uma perspectiva geral de contribuições feitas (um alto número de trabalhos por ano pode indicar que esta área teve muitas contribuições científicas). Entretanto este valor unicamente não é capaz indicar se ocorre um aumento ou decaimento do número de publicações com o tempo, a Figura 4 apresenta essa distribuição de publicações ano-a-ano dentro da Oceanografia Sísmica.

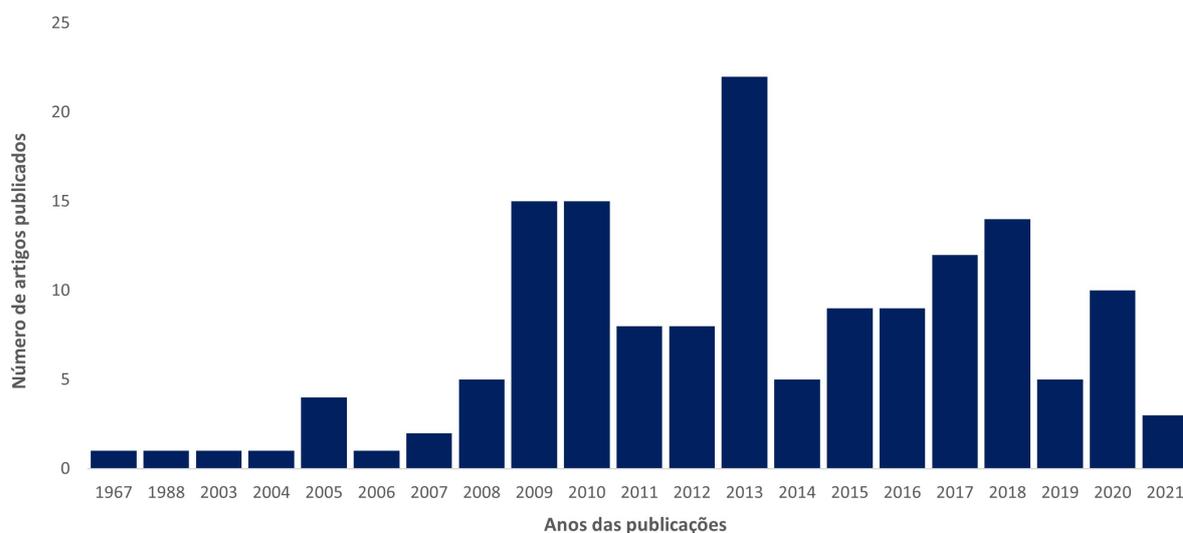


Figura 4 – Quantidade de publicações feitas por ano. Consideram-se apenas os anos em que foram publicados trabalhos dentro da oceanografia sísmica, contabilizados na base de metadados.

De modo similar, a análise de “média de citações por ano por documento” informa quantas vezes um mesmo documento é citado a cada ano, e o valor médio de $\approx 1,2$ também não é muito representativo, dado que apenas 1/3 dos documentos são citados mais de dez vezes desde a data de sua publicação. O trabalho de Holbrook et al. (2003) apresenta o maior número de citações (182 de acordo com o Scopus), e portanto desde sua data de lançamento, teria uma média de citações anuais de ≈ 10 citações/ano. Por outro lado, o artigo de Hunt et al. (1967), com apenas 13 citações, apresentaria média de $\approx 0,24$ citações/ano. Assim, não só o número total de citações influencia neste resultado, mas também sua data de publicação. Em todo caso, estas informações constituem uma etapa usual na avaliação preliminar de algumas características da bases de metadados investigada. Outro parâmetro estatístico importante é a mediana, aqui acrescentada posteriormente à análise do *bibliometrix*. Comparando média e mediana das citações por documentos, observa-se que a média é ≈ 2 vezes o valor da mediana. Isso porque os dados têm distribuição distorcida, ou seja, alguns poucos artigos apresentam elevado número de citações (e.g. os trabalhos de Holbrook et al. (2003), Holbrook e Fer (2005), Nandi et al. (2004) e Ruddick et al. (2009)), o que acarreta em um aumento da média.

3.2 Documentos e Revistas

Cada revista apresenta um diferente fator de impacto (FI), e esta métrica é calculada a partir da razão entre o número de citações obtidas pela revista, pelo número de documentos publicados, considerando ainda um dado intervalo de tempo (como por exemplo, entre os anos de 2016 e 2019). Uma opção fornecida pelos próprios repositórios é o *CiteScoreTracker*, atualizado mensalmente. A equação (3.1) exemplifica o cálculo do FI, com base nos dados da revista AGS (*Acta Geophysica Sinica*), obtidos do Scopus.

$$FI_{AGS} = \frac{\text{citações}_{2016-2019}}{\text{documentos}_{2016-2019}} = \frac{3012}{1622} = 1,9. \quad (3.1)$$

O fator de impacto de uma revista pode influenciar no número de citações de um artigo, dada também a maior confiabilidade que uma fonte detêm na perspectiva dos pesquisadores. Outro ponto importante, é a viabilidade de leitura dos documentos, em que os de acesso aberto serão mais facilmente obtidos, quando comparado aos de acesso fechado.

A Figura 5 apresenta os fatores de impacto associados às fontes bibliográficas da área de Oceanografia Sísmica, indicando também a quantidade de artigos publicadas (tamanho dos círculos) em cada uma. Observa-se que poucas revistas concentram a maior parte das publicações, sendo muitas publicações ainda feitas de forma bastante dispersa. Também, é possível definir que as revistas mais importantes dentro da área são: *Acta Geophysica Sinica* (AGS) e *Geophysical Research Letters* (GRL), ambas com 22 publicações cada, e *Journal of Geophysical Research* (JGR), que concentra 21 publicações (Figura 6). Assim, apenas as três primeiras fontes concentram $\approx 43\%$ das produções totais. É importante ressaltar que para melhor visualização da imagem, foram excluídas as revistas *Science* (FI = 45,3) e *Nature Geoscience* (FI = 23,3) por conta dos fatores de impacto elevados (obtidos entre os anos de 2016 e 2019), e porque juntas, apesar de apresentarem os dois maiores FIs da base de metadados, concentram apenas 3 documentos publicados sobre o assunto.

O trabalho de Holbrook et al. (2003) é aquele com maior número de citações (182 no total), e foi publicado na revista *Science*. Porém, os outros dois artigos, trabalhos de Hunt et al. (1967) e Sheen et al. (2012), de publicação nas revistas de maior FI, *Science* e *Nature Geoscience*, respectivamente, não apresentam destaque quanto ao número de citações totais. Já em relação às outras revistas, com FIs menores, o intervalo de tempo utilizado para calcular o mesmo, pode ser injusto não representando o real fator de impacto que uma fonte teria no momento de publicação de determinado artigo.

Considerando as outras quatro fontes principais que são: *Ocean Science* (OSc), *Proceedings of Meetings on Acoustics* (POMA), *Continental Shelf Research* (CSR) e *Journal of Marine Systems* (JMS), somadas às 3 primeiras (totalizando assim as sete fontes com maior número de publicações), estas concentram 87 das 151 publicações (57,6%) aqui listadas. Observando o número de publicações feitas de forma cumulativa a cada ano (Figura 6), é possível acompanhar a evolução de quais fontes foram preferenciais dentre este destaque, ao longo dos anos.

Dos 151 documentos encontrados, 69 (45,7%) são de acesso aberto, enquanto 82 (54,3%) deles são restritos. Porém, não parece haver uma correlação direta com o fato dos artigos serem *open access*, ou não, com os números totais de citação. Analisando os mesmos artigos apresentados na Figura 7 (que mostra aqueles com maior número de citações), observa-se que apenas 6 deles não são artigos *open access*. Porém, conforme o número de citações total por trabalho diminui, não há diferença significativa entre os artigos que são de acesso aberto ou não.

Na Figura 6, percebe-se que até o ano de 2007 a revista GRL era a única com publicações no assunto, havendo um crescimento mais acentuado nos anos de 2009 e 2010, somando um total de 12 novos artigos, relacionados a um grande projeto da União Europeia (*Go Project*). Em 2008 aparece o primeiro artigo publicado na revista *Journal of Marine Systems* (JMS) e na JGR; em 2009, iniciaram-se as publicações na revista chinesa AGS, também chamada de *Chinese Journal of Geophysics*, e ativa desde 1948. O pico encontrado no ano de 2013, ocorre em decorrência do *International Congress on Acoustics* em Montreal - Canadá, com uma seção sobre Oceanografia Sísmica, publicada na *Proceeding on Meetings on Acoustics* (POMA), com 8 publicações. Um crescimento quase constante de trabalhos pode ser percebido na revista JGR, a partir deste mesmo ano.

Com relação ao número de citações/fator de impacto das revistas, a Figura 7 traz os 20 artigos com maior número de citações totais e os respectivos Fatores de Impacto de cada revista, juntamente com as revistas onde cada um deles foi publicado, e se são ou não *open access*. O artigo de Holbrook et al. (2003) é o mais citado, seguido por Holbrook e Fer (2005). Também é possível observar que entre os 20 trabalhos com maior número de citações, a vigésima posição apresenta uma queda para aproximadamente 13% do total de citações em relação ao artigo mais citado. A partir do 57º artigo (em ordem de citação), as citações totais são inferiores à 10 por artigo, sendo que estes trabalhos foram publicados entre os anos de 2005 a 2010.

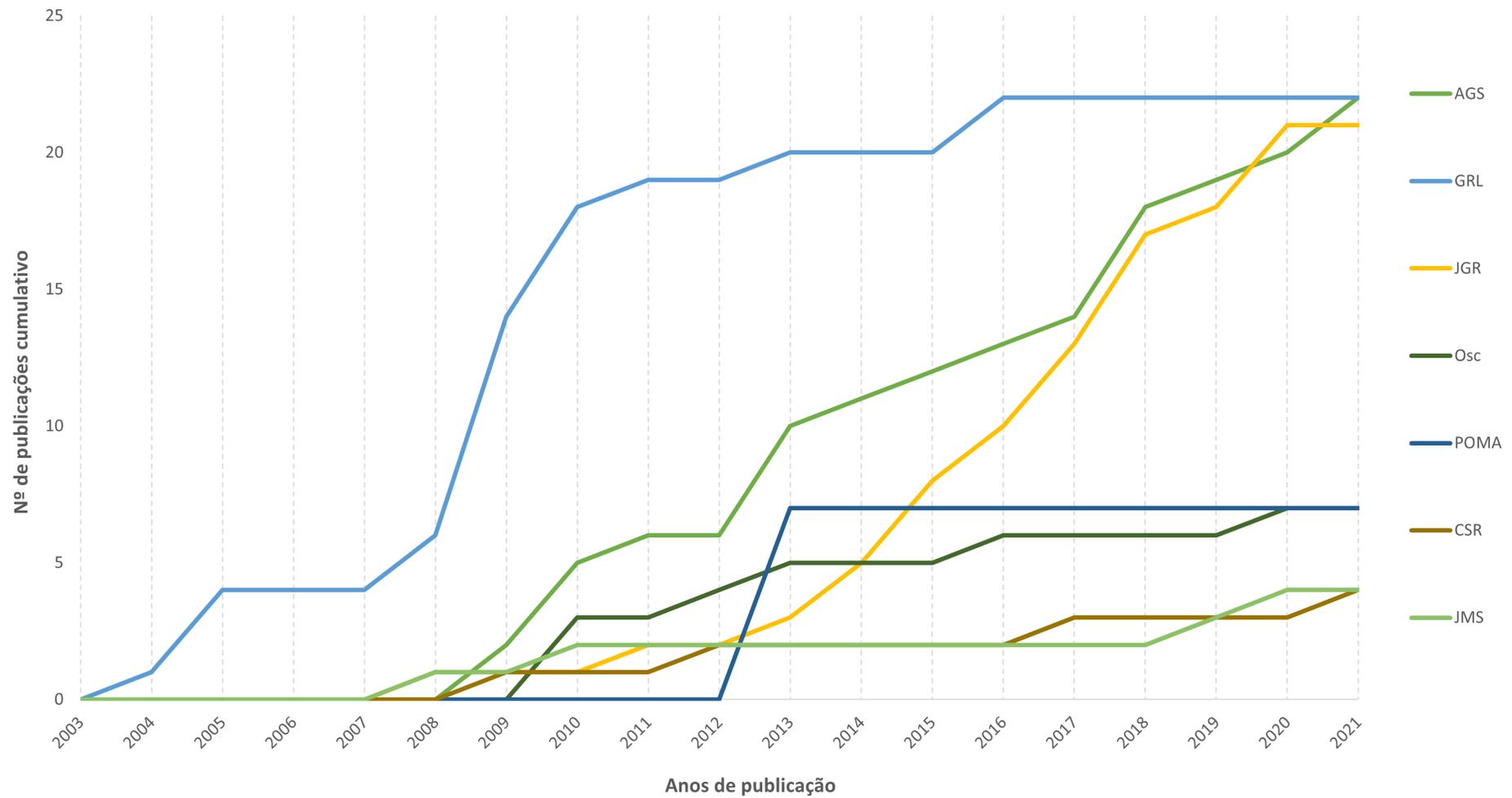


Figura 6 – Publicações cumulativas nas sete revistas com maior número de periódicos publicados ao decorrer dos anos, sendo 2003 considerado o ponto inicial, a partir do trabalho de Holbrook et al. (2003).

Com exceção do artigo de Holbrook et al. (2003), publicado na revista *Science*, os 20 artigos mais citados da base de dados são todas publicações de revistas de menores Fator de Impacto, mas com direcionamento mais específico da área de geofísica e oceanografia, como o caso da revista GRL com 7,7, e a revista JGR com 5,8. A revista AGS apresentou um elevado número de publicações principalmente devido ao grande número de autores de afiliações chinesas (pouco mais de 23% dos autores). Porém, esta revista, disponibiliza os artigos, em sua quase totalidade, apenas em chinês, não publicando versões em inglês (com exceção do título e resumo), o que restringe o acesso e leitura dos estudos publicados, fator que pode explicar o baixo número de citações destes trabalhos.

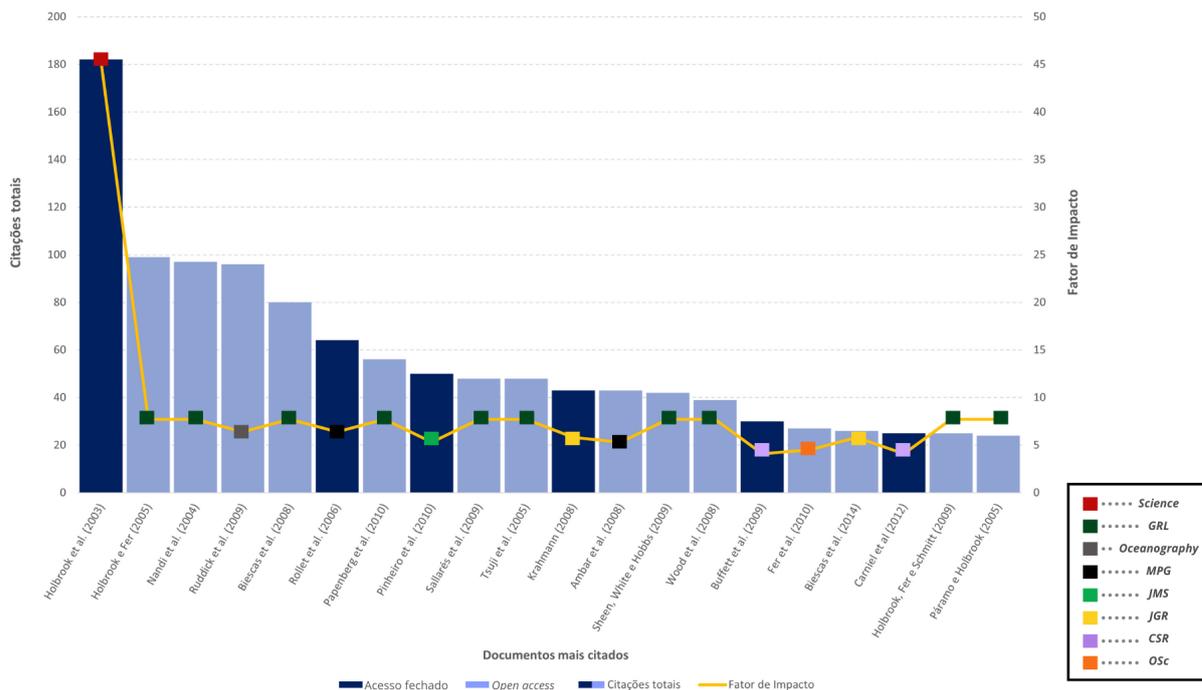


Figura 7 – Vinte primeiros trabalhos em número de citação com fator de impacto das fontes de publicações, juntamente à seus nomes/acrônimos.

Analisando, então, os resultados apresentados na Figura 8, dentre todos os documentos, 58 (38,41%) apresentam foco em processamento e/ou inversão sísmica, 49 (32,45%) estão na categoria de simulação numérica e/ou modelos sintéticos, e 93 (61,59%) são focados em estruturas oceanográficas. Nesta categorização proposta é permitida que um mesmo trabalho pertença a mais de uma categoria, como por exemplo: realizar uma inversão de parâmetros físicos oceanográficos (i.e. velocidade do som, temperatura e salinidade) aplicado a uma estrutura oceânica imageada por meio da sísmica de multi-canal (DAGNINO et al., 2016), sendo considerado parte das categorias (1) e (3). Apenas um dos documentos se encaixou simultaneamente nas três categorias: o trabalho de Vsemirnova, Hobbs e Hosegood (2012) que apresenta como objetivo principal observações de reflexões de dados sísmicos, produzindo um modelo para correlacionar os mesmos, além de realizar inversão para estimar a concentração de sedimentos em suspensão de uma camada turbulenta.

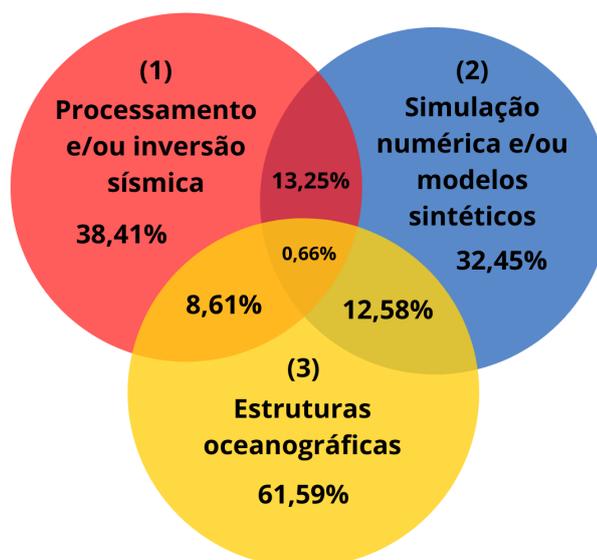


Figura 8 – Divisão dos trabalhos em três categorias principais: (1) Processamento e/ou inversão; (2) Simulações numéricas e/ou modelos sintéticos e (3) Estruturas oceanográficas.

3.3 Autores e Redes colaborativas

A Figura 9 traz a relação da contribuição de autores por país (afiliação). A China é atualmente o país com maior número de autores na área, seguido pelos Estados Unidos, Espanha e Reino Unido. Entretanto, se analisados apenas os 30 autores com maior volume de publicações, verifica-se que Espanha e Reino Unido ocupam posições melhores que os Estados Unidos, indicando que o volume de produção por autor na Espanha e Reino Unido, pode ser superior. Na Figura 10 são indicados os países de afiliação de 30 autores (com maior número de publicações). Nestes resultados existe uma sobreposição de autores, ou seja, um mesmo artigo com 4 diferentes pesquisadores é contabilizado 4 vezes. Analizando este gráfico, observa-se que dentre os 30 autores que mais publicam, 44.8% das publicações são realizadas por autores da China, 17.9% por autores da Espanha e 13.1% por autores do Reino Unido, o que representa pouco mais de 75% das publicações totais.

Já na Figura 11, é apresentado o histórico de publicação dos cinco primeiros autores em número de publicação (independente do país de origem), juntamente com outros sete autores escolhidos pelas suas contribuições em revistas de maior Fator de Impacto (*Science* e *Nature Geoscience*). Os autores são ranqueados aqui com base no número total de publicações, sendo Song, H. o colaborador com maior número (32) Aqui a colocação dos autores se dá devido ao número de artigos publicados, e assim, quando dois ou mais autores apresentam a mesma quantidade de trabalhos publicados, estes ocupam a mesma posição (como Bai, Y. e Biescas, B. na 4ª posição). A seguinte posição é a de número 6, do autor Holbrook, W.S., devido ao empate na 4ª e 5ª posições.

Neste gráfico, aparecem os autores Páramo, P., Pearse, S. e Schmitt, R.W., pelo fato

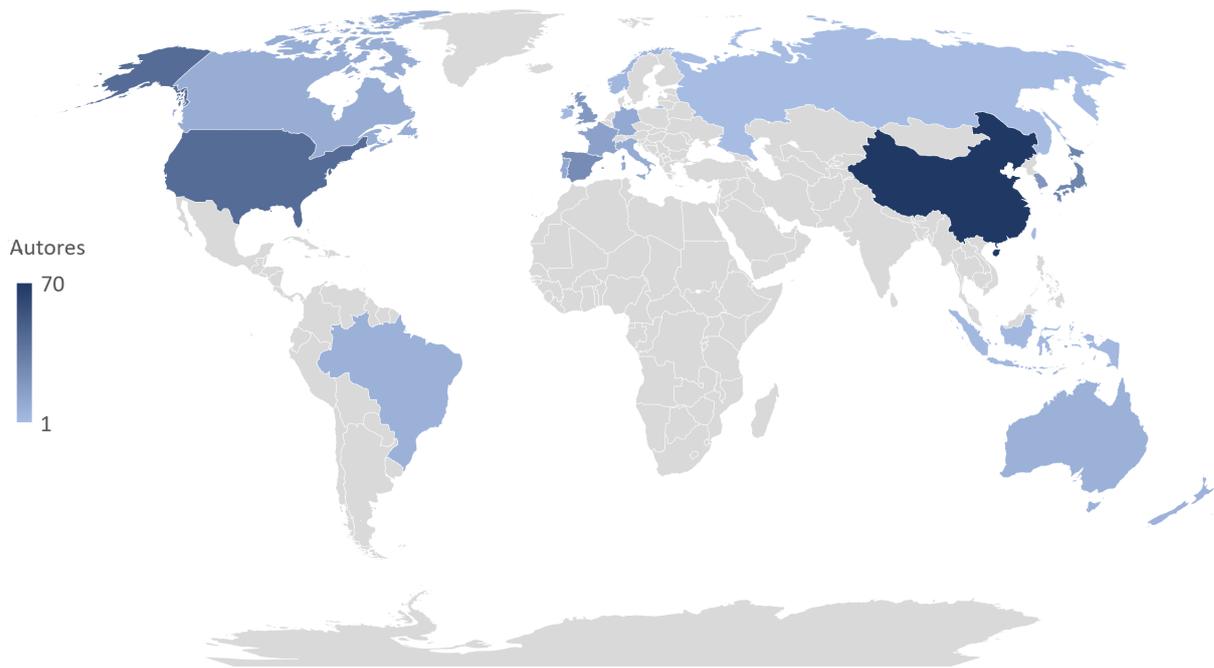


Figura 9 – Distribuição mundial dos locais de afiliação dos autores da oceanografia sísmica. Maior densidade de autores representada por tom mais escuro de azul, sendo a China o país com maior número de autores.

destes serem coautores do trabalho publicado na revista *Science*, (HOLBROOK et al., 2003). Já os autores White, N.J., Caulfield, C.P., e Hobbs, R.W. são coautores do trabalho de Sheen et al. (2012) , publicado na *Nature Geoscience*.

O índice H é uma métrica que busca avaliar tanto a produtividade acadêmica, quanto o impacto científico de trabalhos publicados, considerando o número de publicações, sendo inicialmente proposto por Hirsch (2005). O valor deste índice remete ao número de artigos publicados por um determinado autor, que foram citados ao menos o mesmo número de vezes. Em termos matemáticos, considerando o índice H uma função (f) organizada em ordem decrescente, do maior valor de citações totais (i) de um trabalho até o menor, o valor de f pode ser expresso conforme a Equação (3.2):

$$f = \max\{i \in \mathbb{N} : f(i) \leq i\}, \quad (3.2)$$

sendo i pertencente aos números naturais. Por exemplo, o índice $H = 45$ de S. W. Holbrook indica que ele publicou 45 artigos que foram citados ao menos 45 vezes (Figura 12). Na Figura 13 o índice é avaliado para os 20 autores com maior número de publicações. Vale destacar aqui uma diferença entre o índice H calculado com o *bibliometrix*, que considera apenas os artigos da base de dados, com aquele obtido diretamente da plataforma do *Scopus*, que considera todos os artigos já publicados por cada um dos autores.



Figura 10 – Primeiros 30 autores com maior número de publicações, associados aos respectivos países de afiliação e quantidade total de publicações feitas. O número ao lado do nome de cada autor representa a quantidade de trabalhos. Já a porcentagem de cada país está relacionada à totalidade dos mesmos, produzidos por estes autores.

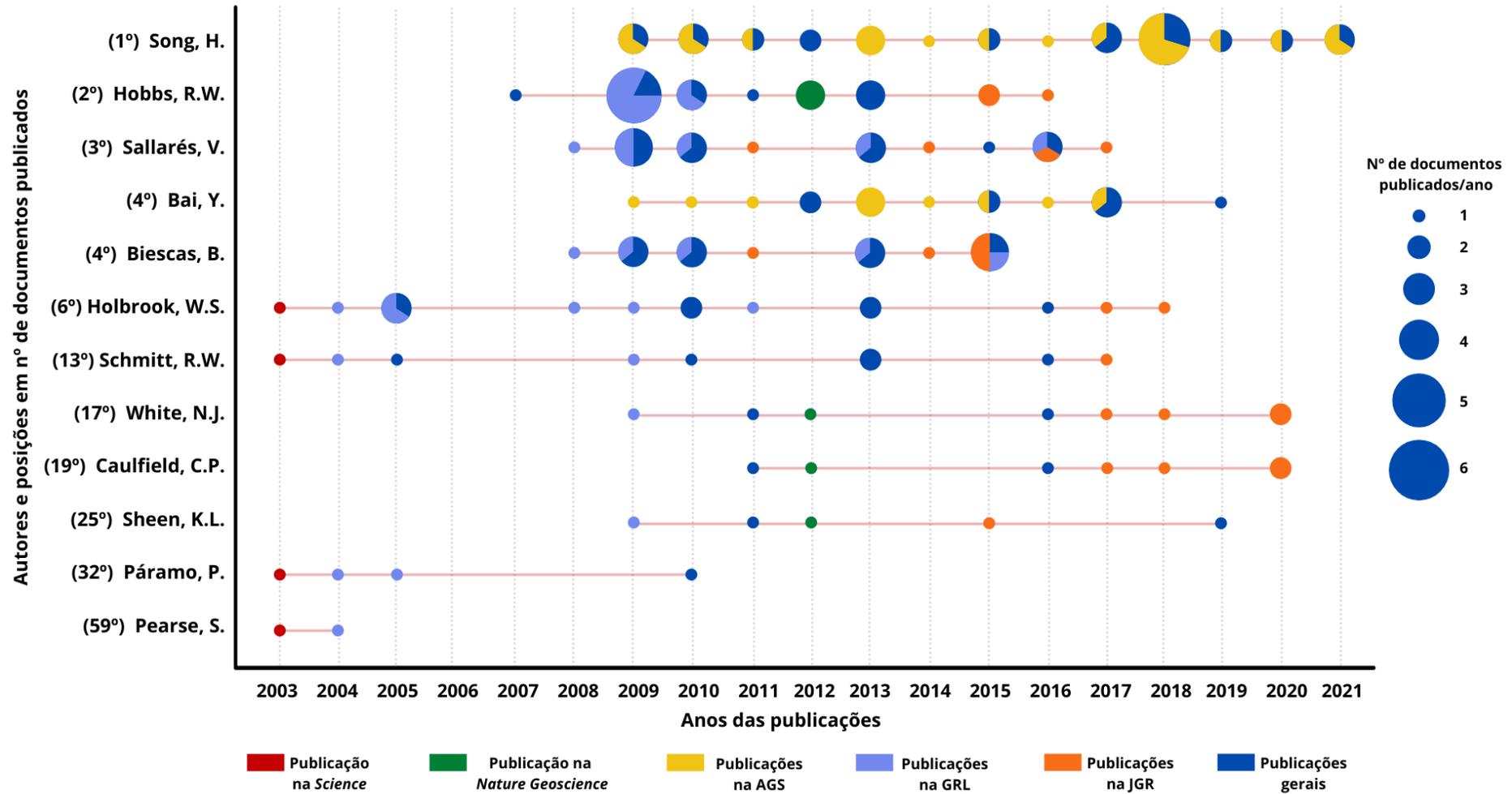


Figura 11 – Produção científica de doze dos autores da base de dados. Quantidade de artigos publicados por cada autor ao ano, desde 2003 a 2021. Considerados os cinco autores com maior número de publicação na oceanografia sísmica juntamente aos autores que publicaram artigos nas duas revistas de maior fator de impacto e quantidade de publicações feitas por ano. As diferentes cores são referentes às duas revistas de maior FI (*Science* e *Nature Geoscience*) e às três revistas com maior número de publicações: AGS, GRL e JGR.

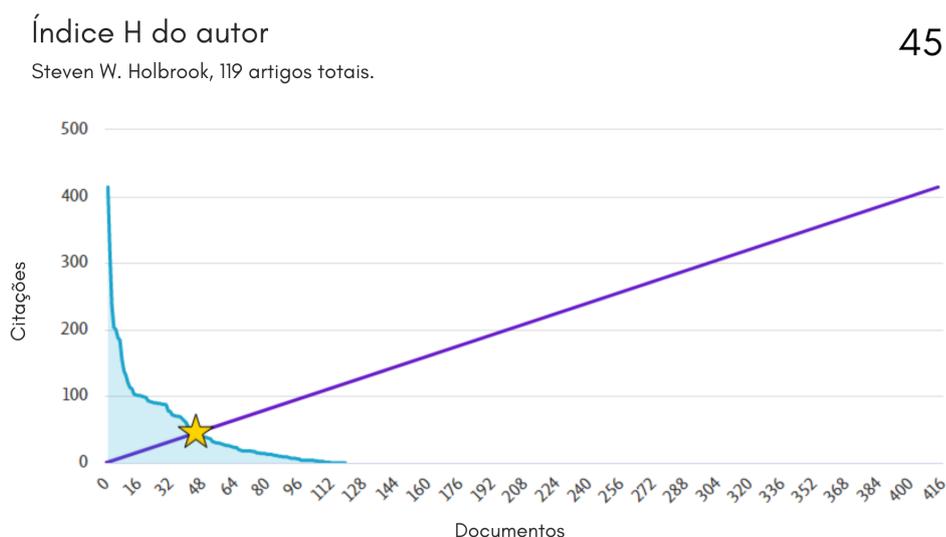


Figura 12 – Gráfico resultante do cálculo do índice H para o autor Steven W. Holbrook pela base de dados Scopus (acessado em 01 de maio de 2021).

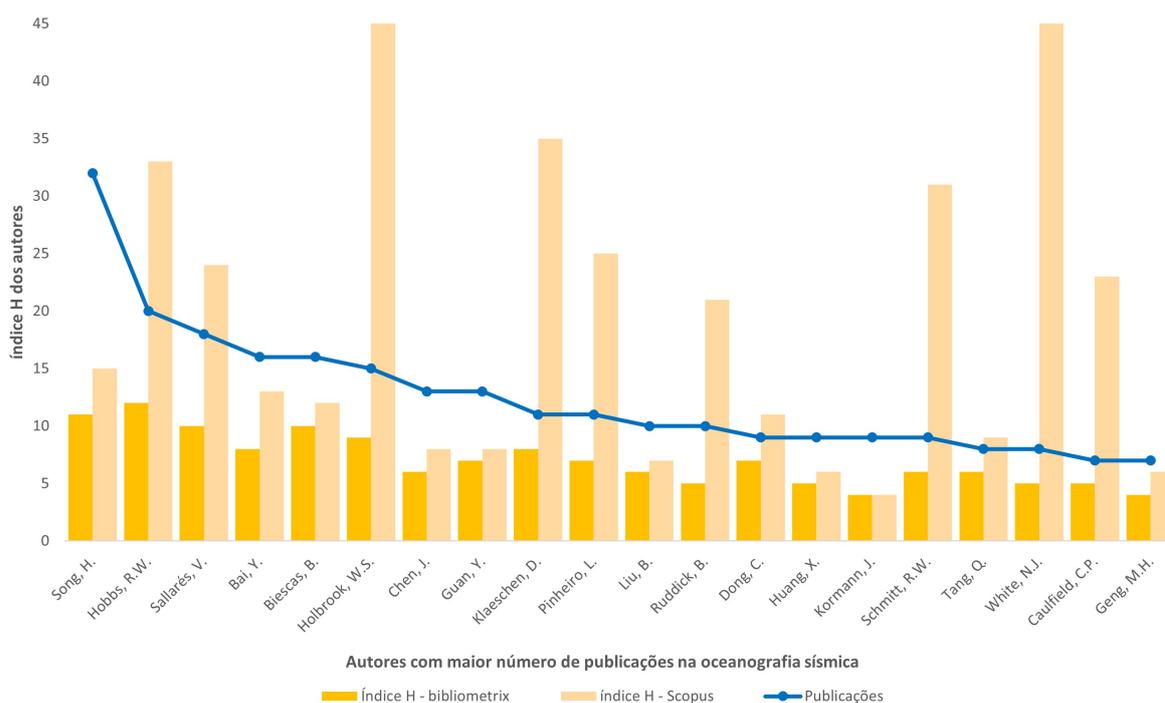


Figura 13 – Autores com maior número de documentos publicados e seus respectivos índices H calculados a partir da base de metadados (*bibliometria*) e valores do repositório (*Scopus*).

Comparando estes dois índices H, percebe-se uma proximidade nos valores obtidos para Song, H., Biescas, B., Chen, J., Guan, Y., Liu, B., Dong, C., Huang, X., Kormann, J., Tang, Q. e Geng, M.H., sugerindo que o maior foco destes autores provavelmente envolve a área de Oceanografia Sísmica. Por outro lado, a maior discrepância entre estes dois índices, aparenta indicar um direcionamento científico também em outras áreas.

A Figura 14 apresenta as redes de colaborações dos principais autores da base de dados (considerados os 58 primeiros autores com maior número de publicações, que publicaram ao menos 3 trabalhos). O agrupamento de cores representa um *cluster* no qual os colaboradores interagem mais entre si, sendo a espessura das linhas um indicativo da quantidade de trabalhos feitos entre os diferentes autores. O tamanho das elipses representa a quantidade de artigos publicados por cada autor.

Os grupos em vermelho, laranja, rosa e verde claro, estão associados a afiliações da China, com a única exceção de Pinheiro, L. que é afiliado à uma instituição portuguesa (Universidade de Aveiro). Em cinza, autores com afiliações brasileiras (Universidade Federal de Santa Catarina). Em azul os autores são da Espanha (10) e Canadá (2). Em roxo, os autores do Reino Unido (5), Alemanha (3) e EUA (3), e Itália (1). Em verde, com exceção de Fer, I., todos os autores são dos Estados Unidos. Os autores Thomas, Y. e Jun, H., França e Coréia do Sul, respectivamente, apresentam colaborações com outros autores não contabilizados na lista selecionada devido ao menor número de artigos publicados.

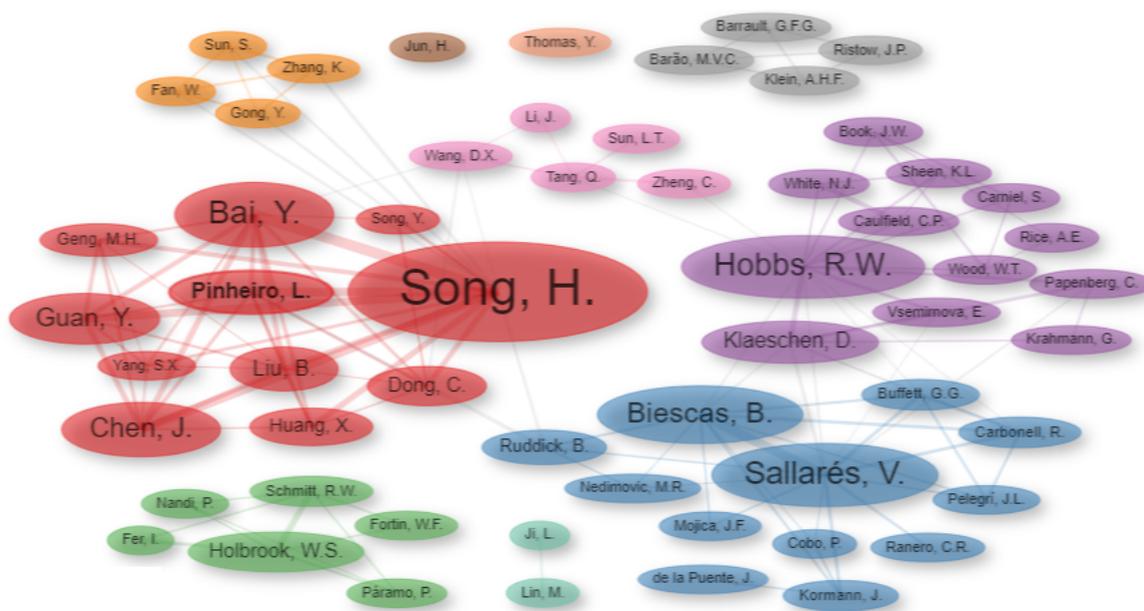


Figura 14 – Rede de colaboração entre os principais autores. As cores agrupam pesquisadores com maior interação. O tamanho das elipses representa quantidade de artigos. A espessura das linhas indica quantidade de trabalhos colaborativos entre os diferentes autores.

O autor, de afiliação alemã, Klaeschen, D. colabora com os grupos azul e roxo, principalmente por ser uma das pessoas responsáveis pelo processamento de dados em diversos trabalhos (BIESCAS et al., 2008; BIESCAS et al., 2010; SHEEN; WHITE; HOBBS, 2009; SHEEN et al., 2011; KORMANN et al., 2010; QUENTEL et al., 2010), sendo a maioria deles derivados do *GO Project*.

Apesar dos autores da China estarem divididos em quatro grupos de cores distintas, todos os autores do grupo laranja interagem com Song, H.; o autor Wang, D.X. interage não apenas

com Song, H., mas também com Bai, Y. e Dong, C., do cluster vermelho. Ainda assim, é possível constatar com base na Figura 14 que os autores chineses têm mais colaborações nacionais, e a internacionalização das pesquisas chinesas ocorre por meio de poucos agentes (Song, H.; Dong, C.; Tang, Q. e Zheng, C.), assim como com a colaboração do autor Pinheiro, L.

3.4 Projetos, Eventos e Instituições

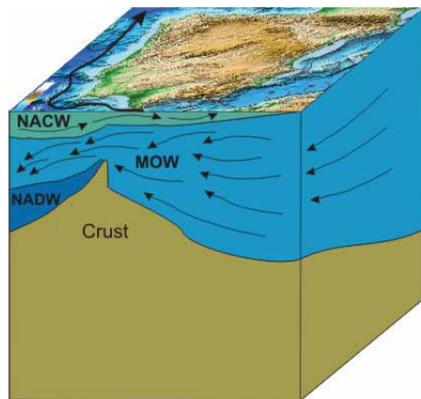
O comportamento do número de publicações ao longo do tempo é apresentado na Figura 4. Alguns picos identificados no gráfico podem ser associados a situações particulares ocorridas durante o desenvolvimento científico de área de Oceanografia Sísmica; como por exemplo, a execução do *GO project* entre 2006 e 2009, posteriormente promovendo o alto fluxo de publicações em 2009 e 2010, retomadas em 2013, com o 19º volume da *Proceedings of Meetings on Acoustics* (POMA). Neste mesmo ano, surge a entrada de trabalhos dos autores da China, sendo grande parte estudos realizados no Mar da China (*South China Sea*). A maior parte das publicações chinesas são financiadas pelas entidades *National Natural Science Foundation of China* (NSFC) e pelo *China's National Key R&D Programmes* (NKPs).

GO Project

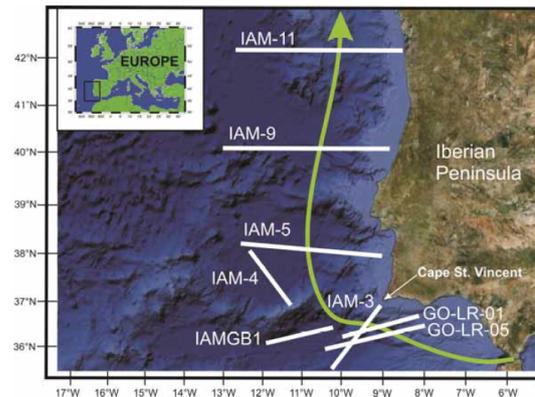
Em 2006, a oceanografia sísmica como técnica de imageamento de estruturas oceânicas iniciou seu processo de consolidação, tendo seu próprio simpósio, no *Ocean Sciences Meeting* (SMILLIE, 2013). Uma variedade de estruturas foram identificadas, incluindo *Meddy* (vórtice - *eddy* - formado como um resultado do fluxo de água do Mar Mediterrâneo para o Oceano Atlântico pelo estreito de Gibraltar, fluxo mostrado na Figura 15a) (PINHEIRO et al., 2006), escadas termohalinas (ou *termohaline staircases*) (NANDI; SCHMITT; HOLBROOK, 2006), anéis de núcleo quente (SEYMOUR; HOLBROOK; SCHMITT, 2006), e limites entre massas d'água (HUTHNANCE; HOBBS; GARABATO, 2006). A falta de medições quantitativas, entretanto, levantou questões quanto à verdadeira relação entre as imagens encontradas com as variações reais das propriedades físicas e processos oceanográficos (SMILLIE, 2013).

Na tentativa de responder estas questões, o GO (*Geophysical Oceanography*) *project* foi realizado, sendo iniciado em fevereiro de 2006. Uma aquisição foi conduzida no Golfo de Cádiz (Figura 15b), com a proposta de investigar novas técnicas de imageamento sísmico e desenvolver métodos de analisa-los, para então conectar estes resultados com dados de oceanografia física. Além disto, foi também investigado o comportamento de ondas internas em função das suas interações com a plataforma continental, onde uma maior mistura entre massas d'água é esperada. Levou-se em consideração a importancia das trocas térmicas entre distintas estruturas oceânicas para a circulação oceânica e regulação do clima global, sabendo que as técnicas oceanográficas padrão que são utilizadas tornam difíceis o mapeamento dessas estruturas com resolução espacial

suficientemente grande. Utilizou-se, ainda, a geofísica para criar novas oportunidades de pesquisa e assim entender os processos de mistura oceânica (PROJECT, 2009).



(a) Diagrama mostrando o fluxo da água do Mar Mediterrâneo para o Oceano Atlântico, chamado *Mediterranean Outflow Water* (MOW) e a Subcorrente do Mediterrâneo (*Mediterranean Undercurrent*).



(b) Linhas de dados da *Iberian Atlantic Margin (IAM) survey* realizado em agosto e setembro de 1993 e linhas do *GO Project* (intituladas 'GO'), aquisitadas em abril e maio de 2007.

Figura 15 – (a) Fluxo da água do Mar Mediterrâneo para o Oceano Atlântico. (b) Área de estudo do *IAM survey* e *GO Project*. Fonte: Buffett et al. (2011)

O projeto foi financiado em sua maior parte (65%) pela União Europeia, tendo um custo total de 2.587.253 €, e contou com a participação de oito instituições de seis países distintos: Espanha, Itália, Portugal, França, Alemanha e Inglaterra, com a *University of Durham* (Reino Unido) sendo a instituição coordenadora (PROJECT, 2009). As contribuições científicas do projeto foram publicados principalmente em duas edições da revista *GRL* (Tabela 4). Algumas colaborações realizadas com outros autores, de instituições e países não participantes do *GO Project*, resultaram em publicações em outras revistas, como os trabalhos de Song et al. (2010), Azevedo et al. (2018) e Biescas et al. (2014) que além do suporte de outras instituições também receberam apoio (dados) do *GO Project*.

Exploratory Workshop on Seismic Oceanography (SOW)

Além do *GO Project*, a Fundação Europeia de Ciência (*European Science Foundation - ESF*) organizou um *Workshop* Exploratório de Oceanografia Sísmica (SOW), sediado em Begur - Girona, na Espanha. Este ocorreu em novembro de 2008 e atraiu um amplo interesse internacional, incluindo pesquisadores dos EUA, Canadá, Japão e China, bem como os participantes da União Europeia. Uma grande parte da discussão foi sobre as descobertas iniciais do projeto GO. O SOW também incentivou o diálogo entre sismólogos e oceanógrafos físicos, anteriormente mínimo (SMILLIE, 2013).

Tabela 4 – Artigos publicados nos volumes 36 e 37 da revista *Geophysical Research Letters*, em decorrência dos levantamentos sísmicos do *GO Project*.

Autor/Ano	Título
Vsemirnova et al. (2009)	Estimating internal wave spectra using constrained models of the dynamic ocean
Sallarès et al. (2009)	Relative contribution of temperature and salinity to ocean acoustic reflectivity
Menesguen et al. (2009)	Effect of bandwidth on seismic imaging of rotating stratified turbulence surrounding an anticyclonic eddy from field data and numerical simulations
Krahmann et al. (2009)	Evaluation of seismic reflector slopes with a Yoyo-CTD
Klaeschen et al. (2009)	Estimating movement of reflectors in the water column using seismic oceanography
Hobbs et al. (2009)	Effect of seismic source bandwidth on reflection sections to image water structure
Geli et al. (2009)	High resolution seismic imaging of the ocean structure using a small volume airgun source array in the Gulf of Cadiz
Kormann et al. (2010)	Synthetic modelling of acoustical propagation applied to seismic oceanography experiments
Papenberg et al. (2010)	Ocean temperature and salinity inverted from combined hydrographic and seismic data
Quentel et al. (2010)	Detecting and characterizing mesoscale and submesoscale structures of Mediterranean water from joint seismic and hydrographic measurements in the Gulf of Cadiz

Um dos pesquisadores presentes no SOW, Barry Ruddick, foi o autor de um artigo publicado na revista *Oceanography* no início de 2009 (RUDDICK et al., 2009), que apresentou a ideia de perfis sísmicos como mapas do gradiente de temperatura, do ponto de vista de um oceanógrafo. A publicação mitigou algumas dúvidas em relação ao que poderia ser associado de fato às reflexões encontradas na coluna d'água (SMILLIE, 2013).

International Congress on Acoustics in Montreal (ICA)

Entre os dias 2 e 7 de junho de 2013, no Congresso Internacional de Acústica em Montreal, foram realizados uma sessão especial e um *mini-workshop* sobre oceanografia sísmica, 10 anos após o artigo da *Science* (HOLBROOK et al., 2003). No workshop, os participantes discutiram os sucessos e desafios enfrentados pela oceanografia sísmica como uma ferramenta de observação oceanográfica, indicando passos futuros (RICE; RUDDICK; BIESCAS, 2013). Dentre os 8 artigos (Tabela 5), um deles teve publicação dupla, sendo contabilizado apenas uma vez na base de dados. Assim, o artigo de Rice, Ruddick e Biescas (2013) consta como publicação

da revista *EoS*, mas também foi uma das publicações resultantes do ICA na POMA¹.

Tabela 5 – Artigos publicados em 2013 na *Proceedings of Meetings on Acoustics*, vol. 19, em decorrência do *International Congress on Acoustics in Montreal*.

<i>Proceedings of Meetings on Acoustics</i>	
Autor/Ano	Título
Fabre e Wood (2013)	Uncertainty of transmission loss due to small scale fluctuations of sound speed in two environments
Book et al. (2013)	Seismic oceanography imaging of thermal intrusions in strong frontal regions
Rice et al. (2013)	Current-eddy interaction in the Agulhas Return Current region from the seismic oceanography perspective
Bergamasco et al. (2013)	Exploring the shelf-slope dynamics in the Adriatic Sea using numerical models and Seismic Oceanography (SO)
Biescas, Ruddick e Sallares (2013)	Inversion of density in the ocean from seismic reflection data
Fortin et al. (2013)	Mapping non-local turbulent breakdown of oceanic lee waves offshore Costa Rica through Seismic Oceanography
Vsemirnova e Hobbs (2013)	Mapping turbidity layers using a combination of high resolution seismic oceanographic and physical oceanographic data
Rice, Ruddick e Biescas (2013)	The current trajectory of seismic oceanography

National Natural Science Foundation of China (NSFC)

A Fundação Nacional de Ciências Naturais da China (NSFC) foi criada em 14 de fevereiro de 1986. Após sua criação, a NSFC se tornou uma instituição sob a jurisdição direta do Conselho do Estado, encarregada da administração do Fundo Nacional para as Ciências Naturais do Governo Central. Em 2018, passou a ser administrada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MOST), mas manteve sua devida independência em funcionamento (NSFC, 2017).

Alguns exemplos de trabalhos financiados pela instituição são Bai et al. (2017), Fan et al. (2021b), Geng et al. (2019) nos quais os autores avaliam ondas internas solitárias; Jiang-Xin et al. (2016) observando reflexões sísmicas para analisar estruturas oceanográficas próximas ao substrato marinho; Huang et al. (2011) analisando dados do *GO Project*, e ainda Huang et al. (2012), estudando variações do movimento da água do mar a partir de refletores. Outros

¹ A POMA é uma publicação da *American Society of Acoustics*, e corresponde a coletânea de trabalhos apresentados em eventos realizados ou co-realizados pela *American Society of Acoustics*. Como o ICA em Montreal foi realizado pela *International Commission on Acoustics* em colaboração com a *American Society of Acoustics*, esta última disponibilizou os trabalhos apresentados no 19º volume da POMA

trabalhos ainda que podem ser citados como financiados pelo NSFC são: Song et al. (2011), Song et al. (2010), Tang et al. (2015) e Tang et al. (2020).

China's National Key R&D Programmes (NKPs)

Em 2014 foi realizada uma reforma ao sistema de financiamento Chines, onde inúmeros programas pré-existentes como os programas do “MOST”, *863 Program* para pesquisa e desenvolvimento (R&D, em inglês) e *973 Program* para pesquisas de base, o programa *Key Technologies R&D Programme*, assim como programas de cooperação internacional (*International S&T Cooperation Programme*) entre outras instituições financiadoras, foram incorporadas ao atual *China's National Key R&D Programmes (NKPs)* (FUNDING, 2018).

As pesquisas e desenvolvimento (P&D) conduzidas pelos *China's National Key R&D Programmes* apoiam P&D em áreas de bem-estar social das pessoas, como agricultura, energia e recursos, meio ambiente e saúde. São focados em tecnologias chave e estratégicas, apresentando vários objetivos bem direcionados e definidos, indicando resultados a serem alcançados em um período que varia de 3 a 5 anos, e refletindo um projeto de cooperação de cima para baixo entre indústria-universidade-pesquisa que integra o básico: pesquisa, aplicação de tecnologia, demonstração e comercialização.

Muitos dos trabalhos conduzidos ao longo dos anos trazem como fonte de financiamento outros projetos, anteriormente independentes, mas que hoje são parte dos NKPs. A exemplo disto, pesquisas conduzidas nos trabalhos de Ji e Lin (2013), Ji, Lin e Hao (2013), Li-Li e Mian (2013) foram financiadas pelo *Program 973* (assim como pelo NSFC); já os trabalhos de Fan et al. (2021b) e Liu et al. (2013) além de obter financiamento do NSFC também foi financiado pelo *National Key R&D Program of China*.

3.5 Áreas de estudo e Estruturas oceânicas

Na Figura 16, são exibidos os locais geográficos onde foram conduzidos estudos e levantamentos de sísmica oceanográfica. Em destaque, o Golfo de Cádiz e Mar da China, com um total de 28 trabalhos conduzidos sobre um deles, sendo que dois destes artigos realizaram estudo de caso em ambas localidades (DONG et al., 2013; BAI et al., 2015). Existe uma elevada quantidade de trabalhos relacionados a Oceanografia Sísmica no Golfo de Cádiz devido principalmente ao *GO Project*, que mesmo após sua conclusão, continuou sendo estudado em trabalhos posteriores a partir dos dados aquisitados. Já o Mar da China, começou a ser estudado mais recentemente, com foco em outras estruturas e principalmente por grupos de pesquisa da China.

Além disso, 6 trabalhos foram ainda conduzidos com dados do Mar do Caribe, observando ondas internas - solitárias e *lee* - (EAKIN; HOLBROOK; FER, 2011; FORTIN et al., 2013;

FORTIN; HOLBROOK; SCHMITT, 2016; FAN et al., 2021a; FAN et al., 2021b) e ainda anomalias (coluna d'água e substrato) de um poço de petróleo fechado (HILDEBRAND; ARMI; HENKART, 2012). Também, 5 trabalhos foram realizados no Mar da Noruega, entre os anos de 2004 e 2009 (NANDI et al., 2004; HOLBROOK; FER, 2005; PÁRAMO; HOLBROOK, 2005; WOOD et al., 2008; HOLBROOK; FER; SCHMITT, 2009) e outros 5 na corrente de Kurushio entre 2005 e 2020 (TSUJI et al., 2005; YAMASHITA et al., 2011; TANG; ZHENG, 2011; CHEN; VIA, 2017; CHHUN; TSUJI, 2020). Vários trabalhos foram ainda realizados em outras diversas regiões do mundo, configurando apenas um ou dois artigos publicados em cada uma delas.

Analisando com maior enfoque a categoria 3 da Figura 8, é possível definir quais as estruturas oceanográficas mais estudadas e pesquisadas (Figura 17). Assim, nesta seção, foi criado um “catálogo” no qual se faz possível consultar o que foi estudado na área de Oceanografia Sísmica.

Nos trabalhos sobre ondas internas (26 no total), são considerados aqueles sobre ondas internas (11), *solitons* (10), ondas lee (3) e marés (2) internas. Já os trabalhos que abordam plumas (total de 9 artigos), dois deles tratam da detecção de *cold seeps* (2), outros se referem à plumas de bolhas associadas à vazamentos de gás (4), simulação de pluma em uma coluna d'água (1), e ainda a fluidos de diferentes densidades, principalmente por diferença de temperatura (2), associados ao fundo marinho. Além destes, também são estudados *Meddy* (10 trabalhos) e vórtices (7).

Em “Outras Estruturas” foram agrupados os trabalhos que tem como objeto de estudo estruturas não identificadas, em que nos trabalhos são apenas referidas como *termohaline structures* (12), massas d'água (5), *termohaline finestructures* (4), *termohaline staircases* (4), *nepheloid layers* (1), termoclina (1) e até mesmo vórtices e ondas internas em conjunto com *termohaline staircases*, como é o caso do trabalho de Buffett et al. (2017). Foram agrupadas, também, taxa de mistura e/ou turbulência (5), correntes oceânicas (3) e mistura turbulenta em vórtice (2).

Com base nestes trabalhos, e nas características do esquema de aquisição da Oceanografia Sísmica, é possível fazer uma indicação aproximada sobre a faixa espaço-temporal dos processos oceânicos investigados pela Oceanografia Sísmica. Isto é mostrado na Figura 18, pelo retângulo vermelho, que leva em consideração os tempos usuais de uma aquisição sísmica (minutos até meses, repetidos em diferentes anos), e tamanho das linhas sísmicas (desde o espaçamento entre hidrofones, na ordem de metros, até centenas de quilômetros). A seguir, um maior detalhamento das principais estruturas oceânicas identificadas é realizado.

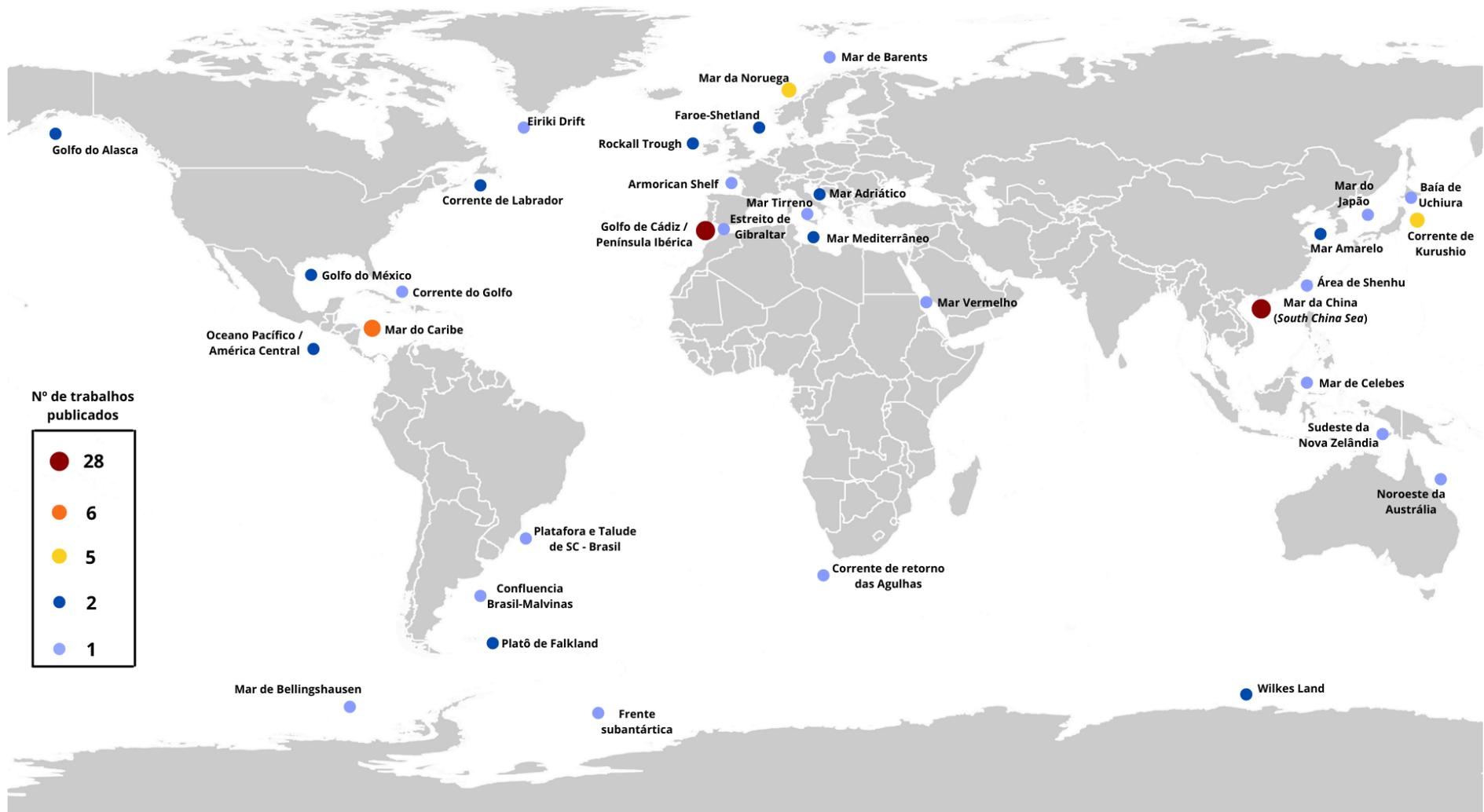


Figura 16 – Locais de estudo, imageamento de estruturas e projetos. Desde os locais com maior número de produção científica dentro da oceanografia sísmica até àqueles com apenas uma publicação realizada. Os nomes atribuídos a cada local são relativos aos locais de estudo citados nos textos dos artigos. Aqui, as cores são utilizadas para melhor identificação dos locais com mais ou menos trabalhos.

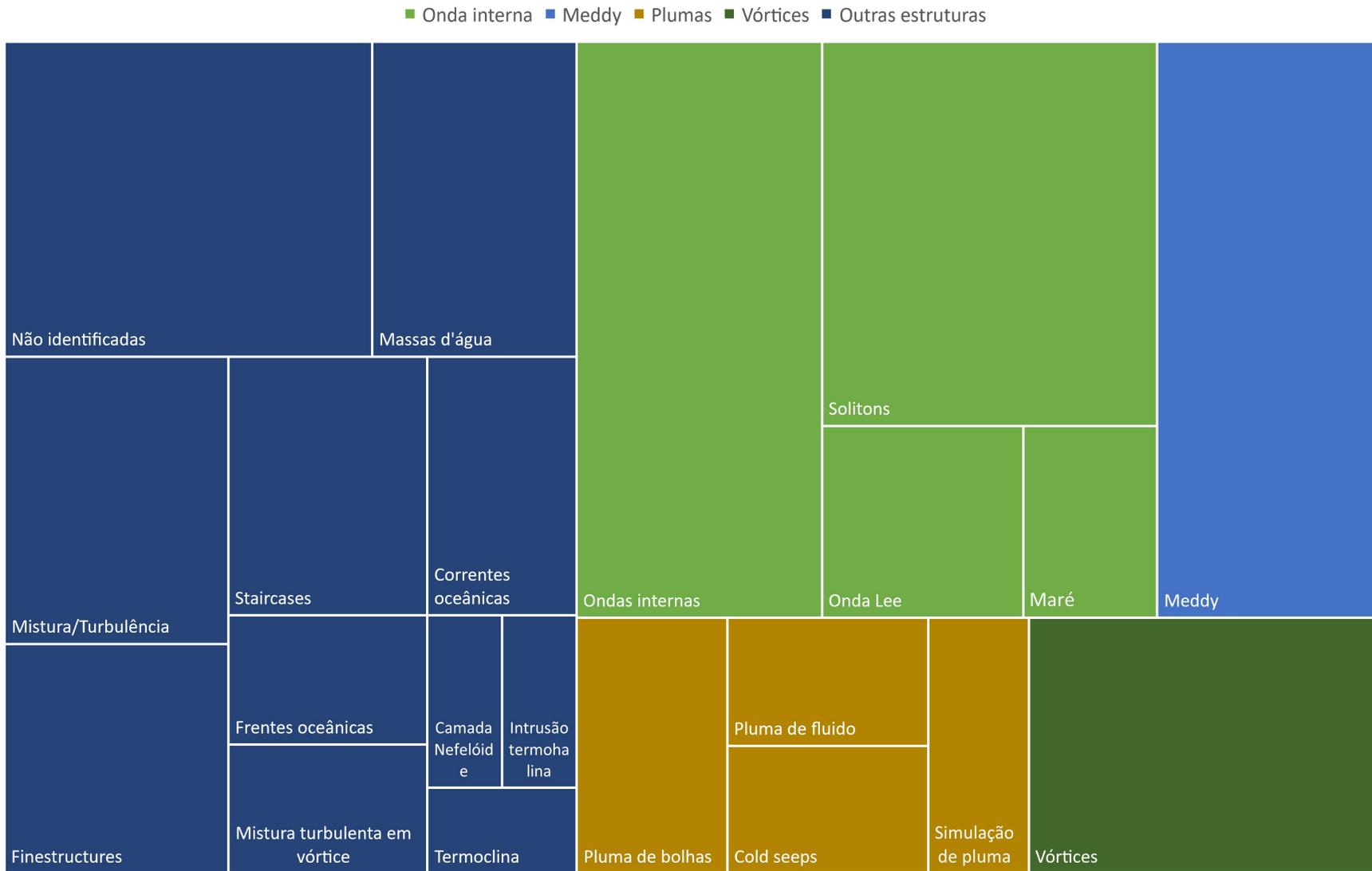


Figura 17 – Estruturas de estudo dos trabalhos publicados dentro da oceanografia sísmica, separados por categorias.

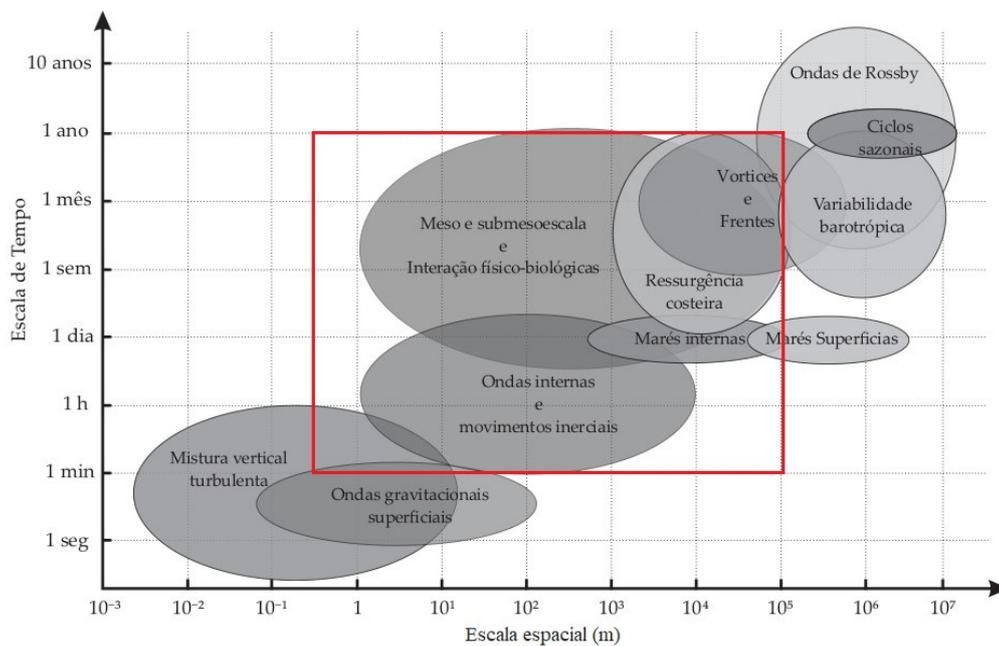


Figura 18 – Escala temporal e espacial de processos oceanográficos. Em destaque (retângulo vermelho) as estruturas que são imageadas por meio da oceanografia sísmica. Adaptada de Barão et al. (2017).

Ondas Internas

Do total de 26 trabalhos relacionados à categoria indicada como ondas internas, 3 são de marés internas e 2 de ondas Lee. Dos 21 trabalhos restantes, quase a metade deles (10) tem como objeto de estudo as *internal solitary waves* ou ondas internas solitárias (ou ainda *solitons*).

As ondas que se propagam no oceano levam seus nomes de acordo com a força do equilíbrio energético (restauradora) que atua nelas (para o cessamento do movimento oscilatório), e reestabelecimento do nível do mar. As mais conhecidas são as chamadas ondas de gravidade, observadas nas praias, mas que também podem ser geradas em quaisquer interfaces que divida duas, ou mais, camadas de água com propriedades distintas. Normalmente, estas interfaces marinhas ocorrem onde há um rápido aumento de densidade com a profundidade, i.e. um gradiente de densidade íngreme ou **picnoclina** (WRIGHT; COLLING; PARK, 1999).

Uma vez que a diferença de densidade entre duas camadas de água (massas d'água) é relativamente menor do que as diferenças entre a água e o ar, menos energia é requerida para a perturbação da interface do seu estado de equilíbrio inicial, e as oscilações provocadas são mais facilmente estabelecidas em interfaces internas do que na superfície (interface ar-mar). Também por este motivo, as ondas internas se propagam consideravelmente mais devagar do que a maior parte das ondas de superfície (WRIGHT; COLLING; PARK, 1999).

Na oceanografia, estas chamadas ondas internas podem ainda receber uma variedade de outros nomes, dependendo da estratificação do fluido, mecanismo de geração, amplitude,

e influência de forças externas. Alguns exemplos disto são: as ondas de superfície, ondas de maré, solitons, ondas de Lee (Figura 19). As correntes de baixa frequência no oceano profundo, geralmente muito mais fracas que correntes de maré, mas em áreas onde são significativas, podem criar as quase-estáveis “ondas Lee”, ou ondas internas “em pé” formadas a partir deste fluxo sobre características topográficas/batimétricas (como ocorre na atmosfera). Estas podem se propagar para cima no oceano (GARRETT, 2009). Essas ondas foram observadas, a partir de reflexões sísmicas, no Mar do Caribe, região *offshore* da Costa Rica (EAKIN; HOLBROOK; FER, 2011; FORTIN et al., 2013; FORTIN; HOLBROOK; SCHMITT, 2016).

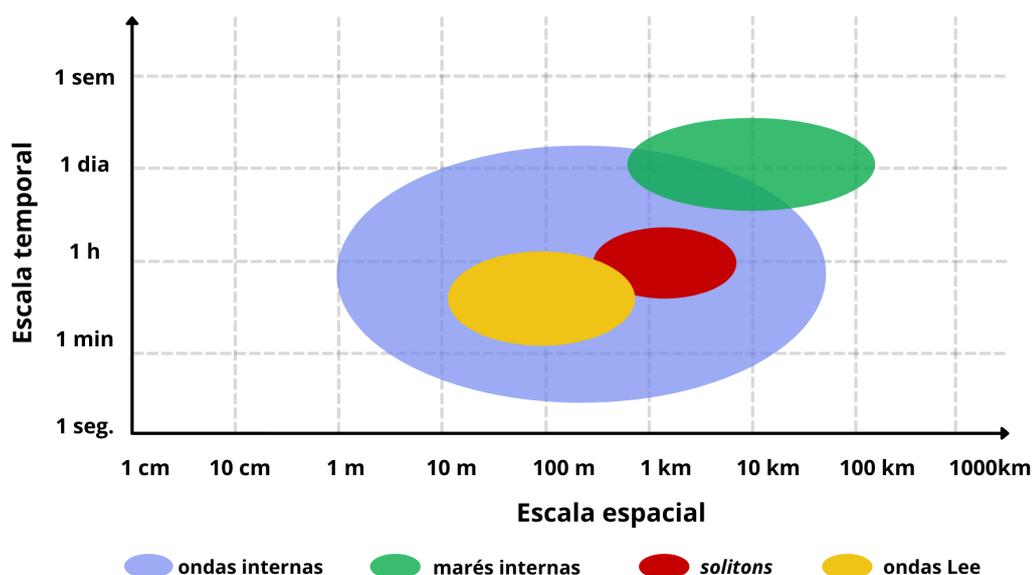


Figura 19 – Categorização de ondas internas. Escalas temporais e espaciais de cada um dos tipos apresentados.

Marés internas oceânicas são ondas internas com periodicidade de maré. Elas são onipresentes em todo o oceano, apesar de serem geralmente mais pronunciadas próximo às variações batimétricas como cordilheiras mesoceanicas e taludes continentais. O deslocamento interno vertical de partículas (amplitude) associado à essas ondas pode ser extremamente grande; próximo a algumas quebras de plataforma onde as marés superficiais são mais fortes, o deslocamento interno (e.g. de uma superfície isoterma) pode exceder 200 m (THORPE, 2009). Dentro da oceanografia sísmica, estas estruturas foram imageadas na plataforma continental Norueguesa (HOLBROOK; FER; SCHMITT, 2009) e talude da Ilha de Aogashima no Japão (FUKAO et al., 2019).

A teoria por trás do deslocamento de ondas dispersivas² (chamadas ainda de ondas de água profunda ou ondas curtas) exige que a amplitude das ondas seja pequena e que seu comprimento de onda seja longo, ambos em comparação com as espessuras das camadas. Muitas ondas interfaciais observadas violam esta suposição. Por outro lado, um comprimento de onda não muito longo, comparado com pelo menos a espessura da camada mais fina, leva à dispersão,

² Ondas dispersivas apresentam velocidade constante dependendo apenas do seu comprimento de onda, $h \ll L/2$, sendo h a profundidade e L o comprimento de onda.

à quebra de uma perturbação em ondas de diferentes comprimentos (L) viajando a diferentes velocidades.

Curiosamente, estes efeitos podem se anular, levando ao surgimento de “ondas solitárias internas” (*solitons*), que se propagam como ondas de forma permanente e sobrevivem às interações com outros *solitons* com apenas uma mudança de fase, podendo ocorrer isoladamente ou em grupos (THORPE, 2009). A geração dos pacotes de ondas solitárias internas, ou trens de ondas com propriedades similares, ocorre predominantemente em certas regiões de topografia de fundo irregular. As ondas solitárias internas tipicamente têm períodos de dezenas de minutos (THORPE, 2009).

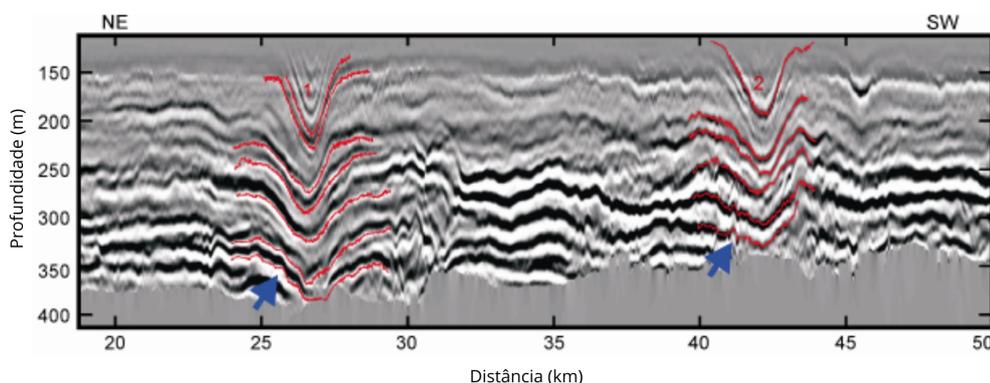


Figura 20 – Resultado filtrado da seção sísmica original (BAI et al., 2015). As linhas vermelhas denotam os horizontes escolhidos para as ondas internas solitárias. A coluna de água apontada por setas azuis indica que há mais ondas curtas perto do fundo do mar do que na parte rasa, refletindo o efeito de “fricção” do fundo do mar para os ISWs.

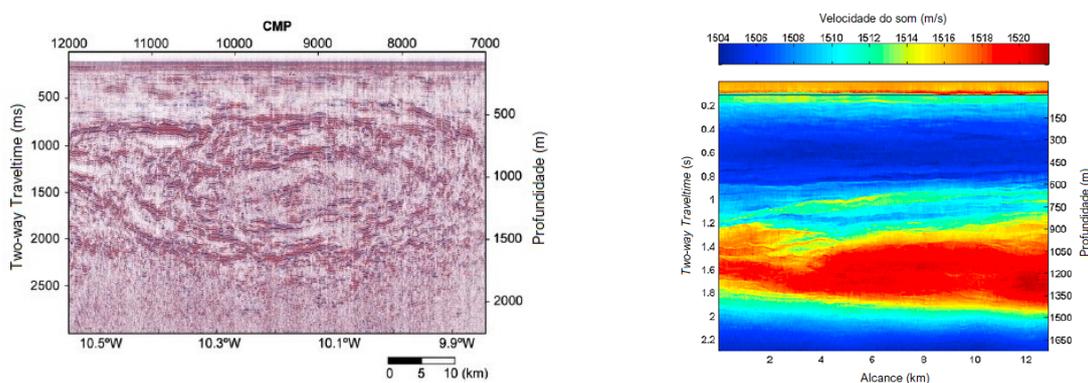
Estas estruturas foram imageadas recentemente no oceano Pacífico, região da América Central (FAN et al., 2021a; FAN et al., 2021b), mas também próximo ao Estreito de Gibraltar (SUN; ZHANG; SONG, 2019). Porém, o maior número de estudos visando ondas internas solitárias (Figura 20) foram conduzidos no Mar da China (TANG et al., 2014; TANG et al., 2015; BAI et al., 2015; BAI et al., 2017; TANG et al., 2018; GENG et al., 2019; FAN et al., 2020; KUANG et al., 2021). Além destes, ainda existem estudos que buscaram estudar energia de propagação de ondas internas (HOLBROOK; FER, 2005; VSEMIRNOVA et al., 2009) entre outros. É importante lembrar que Gonella e Michon (1988) realizaram um dos trabalhos pioneiros na OS, tendo como objeto de estudo ondas internas formadas próximas ao estreito de Gibraltar (*Gorringe Ridge*).

Meddy

Todas as massas de água formadas em corpos d’água semi-fechados (como o caso do Mar Mediterrâneo) dispõem de características físicas reconhecíveis (i.g. temperatura e salinidade). As águas de fundo que deixam o Mar Mediterrâneo através do Estreito de Gibraltar apresentam salinidade extremamente elevada e essa água se forma no inverno no Mediterrâneo noroeste

(COLLING, 2001). O resfriamento intenso, associado particularmente com o vento frio e seco de Mistral (também chamados de “ventos de outono”) e a evaporação superior ao normal, aumenta a densidade da água superficial de tal maneira que há mistura vertical (convecção) até o fundo do mar, a mais de 2.000 m de profundidade. A então massa d’água formada tem uma salinidade superior a 38,4 e uma temperatura de aproximadamente 12,8°C (COLLING, 2001). Ao deixar o Estreito de Gibraltar, ocorre uma intensa mistura na interface com a água do Atlântico que entra e tanto sua salinidade quanto sua temperatura são de alguma forma reduzidas (COLLING, 2001).

A camada menos misturada de água do Mar Mediterrâneo no oceano Atlântico adjacente tem uma salinidade de 36,5 e uma temperatura de 11°C. Por causa de sua relativamente alta densidade, ela afunda até cerca de 1000 m de profundidade onde se torna neutralmente flutuante, e se espalha neste “nível” (Figura 21). Embora seja continuamente modificada por mistura, a água proveniente do Mediterrâneo pode ser reconhecida no Oceano Atlântico por sua assinatura distintiva de alta temperatura combinada com alta salinidade (COLLING, 2001).



(a) *Meddy* imageado no trabalho de Pinheiro et al. (2010). (b) Mapa de velocidade do som (m/s). Fonte: Kormann et al. (2010)

Figura 21 – (a) *Meddy* não imageado anteriormente, adaptado de Pinheiro et al. (2010); (b) Modelo de velocidade do *Meddy*, a partir de dados de inversão, imageado durante levantamento do *GO Project*, adaptado de Kormann et al. (2010)

O *Meddy* é então formado pelo fluxo de águas do Mar Mediterrâneo, chamado *Mediterranean Outflow (MOW)*, para o Oceano Atlântico, com temperatura e salinidade mais elevadas que as águas circundantes. Imagens do *Meddy* dos trabalhos de Pinheiro et al. (2010) e Kormann et al. (2010) são mostradas nas Figuras 21a e 21b, respectivamente.

O principal impulsionador do estudo desta estrutura foi o *GO Project*, no qual dentro dos artigos publicados na GRL, vol. 36 e 37 (Tabela 4), quatro deles tinham como objetivo o estudo do *Meddy* (MENESGUEN et al., 2009; KRAHMANN et al., 2009; PAPENBERG et al., 2010; KORMANN et al., 2010; QUENTEL et al., 2010). Alguns trabalhos desenvolvidos no *GO Project* foram publicados em revistas distintas como *Ocean Science (OSc)*, *Journal of Marine Systems (JMS)* e *Acta Geophysica Sinica* (BUFFETT et al., 2010; PINHEIRO et al., 2010; CHEN et al., 2013). Outros artigos foram resultantes de projetos distintos, mas que acabaram por usar

dados do *GO* (BIESCAS et al., 2008; HUANG et al., 2011). No trabalho de Buffett et al. (2010) a estrutura também é referida por **lente de sal** de águas do Mediterrâneo.

Plumas

As plumas formadas no oceano podem ser de diversas naturezas, desde plumas estuarinas, formadas por frentes entre estuário e oceano, devido ao elevado fluxo de água doce para os oceanos, que produz um grande aporte de nutrientes e matéria orgânica, por outros processos físicos como correntes de degelo que carregam sedimentos normalmente mais finos (CASTELLO; KRUG, 2015), ou ainda outras correntes, que ressuspendem sedimentos finos e material particulado, os quais permanecem em suspensão na água. No entanto, as plumas podem ainda ser formadas por outros fluidos que vazam de rochas substrato para o oceano, como aquele imageado no trabalho de Tsuru et al. (2020), bolhas de gases, como metano, e ainda de áreas de exudação, quentes (*hot vents*) ou frias (*cold seeps*). Simulações destas estruturas foram realizadas por Chen et al. (2020), observadas na Figura 22.

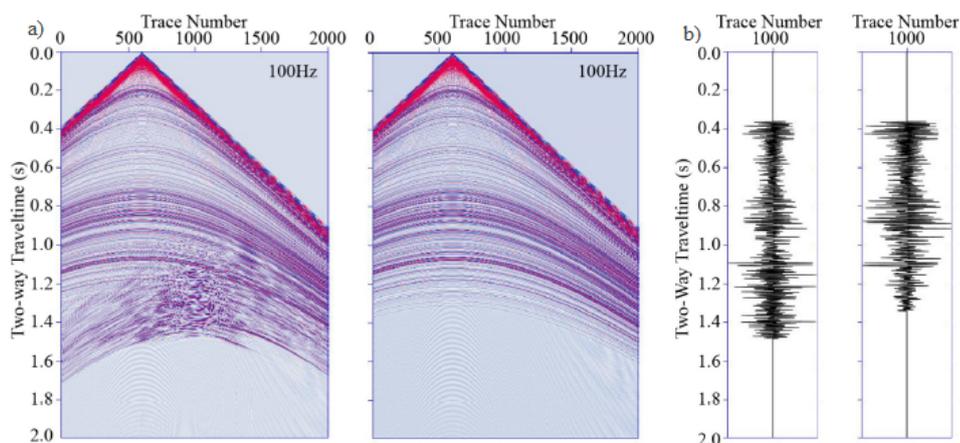


Figura 22 – (a) Registro de tiro sintético com frequência dominante de 100 Hz produzido a partir do modelo de pluma de bolha submarina (Fig. 2a e b) e do modelo de fundo de água do mar. (b) Registro de traço único extraído do traço número 1000, das figuras à esquerda e à direita, respectivamente.

Rollet et al. (2006) utilizaram dados geofísicos para imagear uma infiltração de hidrocarbonetos na plataforma de Yampi, Austrália, a qual foi evidenciada por vazamento de bolhas que formaram plumas na coluna d'água. Na mesma linha, no Mar da China foram identificadas plumas de bolhas associadas à *pockmarks*, que são depressões geológicas no fundo oceânico (CHEN et al., 2018), e *cold seeps* (CHEN et al., 2017; LI et al., 2018); reservatório de hidratos na área de Shenhu, próximo ao Mar da China (XU et al., 2012); além de simulações de pluma de bolhas submarinas (LI; GOU; YOU, 2017; CHEN et al., 2020). Hildebrand, Armi e Henkart (2012) realizaram um trabalho com a detecção de pluma de bolhas utilizando métodos de oceanografia sísmica no Mar do Caribe antes e logo após o fechamento de um poço de exploração de óleo e gás, na sonda petrolífera *Deepwater Horizon*.

Vórtices

Vórtices são anéis que giram em torno de si mesmos (com eixo vertical), aprisionando águas com características de salinidade e temperatura diferentes (CASTELLO; KRUG, 2015) das águas circundantes. Estes anéis podem carregar águas quentes ou frias em seu interior, dependendo onde ocorrem. Geralmente, a formação destas estruturas se dá devido aos meandros existentes em correntes oceânicas, e estes podem ser de curvatura tão pronunciada a ponto de se desprenderem da própria corrente (CASTELLO; KRUG, 2015). Yamashita et al. (2011) imagearam um vórtice de 250km de diâmetro, um anel de núcleo quente gerado pela extensão da corrente de Kurushio. Já na região de Yakutat, no Golfo do Alasca, Tang, Gulick e Sun (2014) estudaram *thermohaline finestructures* de um vórtice anticiclônico de superfície.

Uma região do Atlântico Sul com alta incidência de vórtices é a região da retroflexão das Agulhas. A Corrente das Agulhas (CA) é a corrente de contorno oeste do Oceano Índico, e flui para o extremo sul do continente africano entrando no Oceano Atlântico Sul. É um dos sistemas mais energéticos dos oceanos mundiais e representa um mecanismo de troca interoceânica para os oceanos Índico e Atlântico (MATANO; BEIER, 2003; GUERRA, 2011). Nesse trajeto, são formados vários vórtices que aprisionam águas do Oceano Índico, que são mais quentes e de salinidade mais elevada que águas do Oceano Atlântico. São vórtices responsáveis por um transporte de calor e sal para o Atlântico (CASTELLO; KRUG, 2015). Este fenômeno de carregamento de águas mais quentes do Oceano Índico para o Atlântico, pela retroflexão da CA, leva o nome de **Vazamento das Agulhas** (Figura 23). São estruturas que cruzam o oceano Atlântico, apresentando variações de velocidade influenciadas pelo relevo submarino, dos quais parte chega ao meridiano 35°W, onde então interage com a Corrente do Brasil e são absorvidos (GUERRA, 2011). O trabalho de Rice et al. (2013) utilizou da alta resolução lateral (10 m) de observações sísmicas, o que permitiu o rastreamento lateral com alta resolução de intrusões térmicas turbulentas (*fine-scale*), as quais corroboraram com dados simultâneos de XBT, nos vórtices da retroflexão das Agulhas.

Vórtices de mesoescala também foram imageados no Mar da China (JI; LIN; HAO, 2013; HUANG et al., 2013; SONG et al., 2009), e Ji e Lin (2013) mostraram por meio de experimentos numéricos que variações de velocidade causadas por um vórtice podem levar a distúrbios no tempo de propagação das ondas sísmicas (devido a estas perturbações do vórtice, foram observadas velocidades de duas ordens de grandeza menor do que nas camadas abaixo).

Outras estruturas

Dentre os 37 trabalhos agrupados como outras estruturas (Figura 17), estão aqueles em que as estruturas são intituladas de “estruturas não identificadas”³ (12), massas d’água (5),

³ apenas chamadas de *thermohaline structures* nos trabalhos.

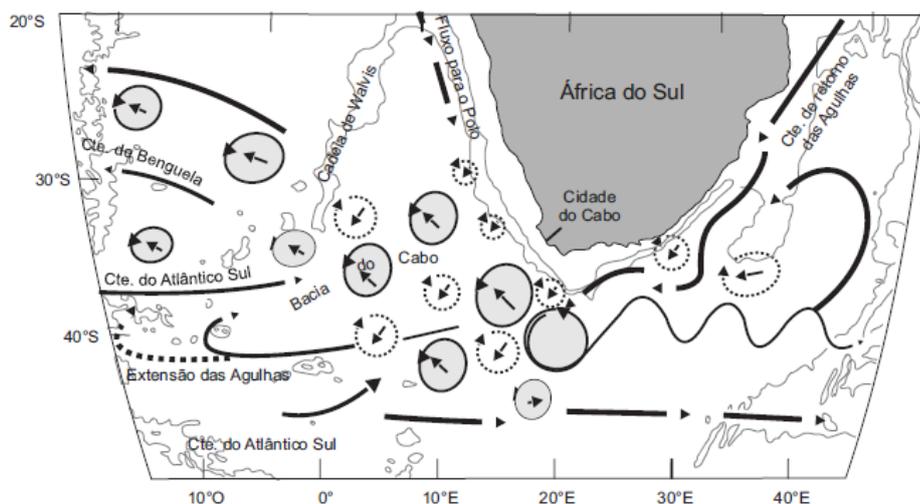


Figura 23 – Retroflexão da Corrente das Agulhas, e formação de vórtices de núcleo quente que transportam águas mais quentes e salgadas do Oceano Índico para o Oceano Pacífico. Fonte: Castello e Krug (2015).

finestructures (4), *staircases* (4), *nepheloid layers* (1), termoclina (1) e vórtices e ondas internas em conjunto com *staircases* (1). Foram agrupadas, também, taxa de mistura e/ou turbulência (5), correntes oceânicas (3) e mistura turbulenta em vórtice (2).

Massas d'água são estruturas termohalinas “primárias”, e pode-se definir uma massa de água como um volume de água identificável por combinações particulares de propriedades físicas e químicas, e as propriedades mais frequentemente usadas para identificá-las são temperatura e salinidade (COLLING, 2001). O amplo uso de temperatura e salinidade para identificação de massas d'água se deve ao fato de serem propriedades conservativas, i.e. propriedades que só são alteradas através de mistura entre diferentes massas d'água e por processos que ocorrem nos limites do oceano, como precipitação, evaporação, entrada de água doce, entre outros (COLLING, 2001). São exemplos de trabalhos que visam imagear estas estruturas Tang e Zheng (2011) que utilizam a reflexão sísmica para imagear três camadas de massas d'água: superior, intermediária e profunda (Figura 24); ou ainda Zheng e Yan (2010) que observam movimentos e processos físicos em diferentes massas d'água, como a ausência de intrusão óbvia de outra massa d'água e presença de ondas internas em uma camada média.

As estruturas termohalinas de pequena-escala (*finestructures*) agrupam diversas estruturas tais como as *staircases* (Figura 25), intrusões laterais que ocorrem em frentes entre grandes massas d'água (HOLBROOK et al., 2003). São estruturas importantes porque representam processos de mistura no oceano, além de terem sido objeto de estudo no artigo com maior número de citações da Oceanografia Sísmica, trabalho de Holbrook et al. (2003), neste trabalho foram imageadas as *termohaline finestructures* na frente oceânica entre as correntes do Labrador (CL) e Norte-Atlântica (CNA), Figura 26. Mas ao longo do desenvolvimento de outros trabalhos, novas estruturas desta mesma natureza foram imageadas: ao longo da Corrente de Kurushio

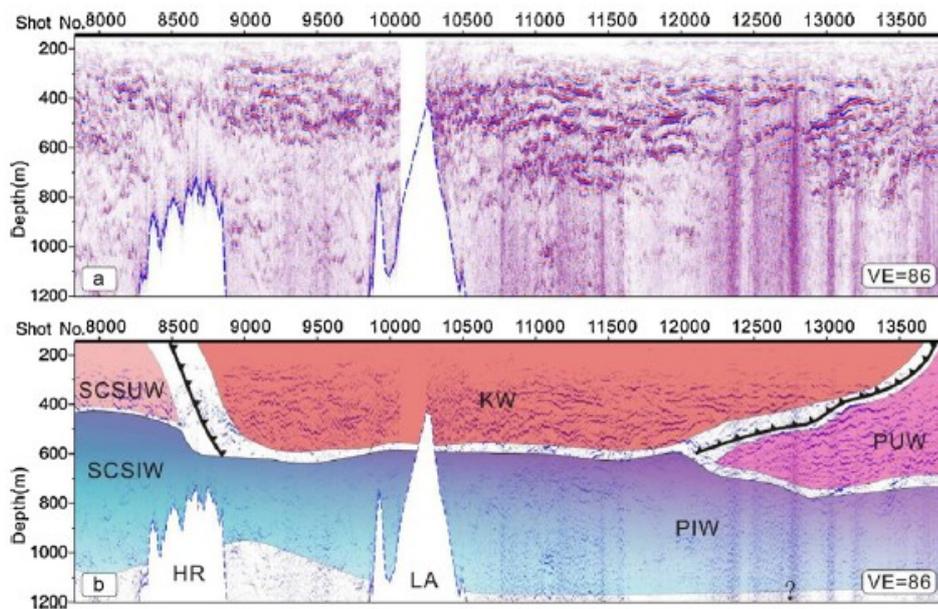


Figura 24 – Camadas de massas de água imageadas no trabalho de Tang e Zheng (2011) a partir de reflexões sísmicas. HR e LA denotam *Hengchun Ridge* e *Luzon Arc*, respectivamente. As massas d’água identificadas foram: KW - Água de Kurushio, SCSUW - Água Superior do *South China Sea* (Mar da China), PUW - Água de Superfície do Pacífico, SCSIW - Água Intermediária do Mar da China e PIW - Água Intermediária do Pacífico.

(TSUJI et al., 2005; CHHUN; TSUJI, 2020); em frentes que apresentam mais de uma estrutura (SHEEN et al., 2012; GUNN; WHITE; CAULFIELD, 2020); *offshore* da Península Ibérica, noroeste da Espanha, na Subcorrente do Mediterrâneo (SCM) (BUFFETT et al., 2012); na Subcorrente de Contorno Oeste (SCCO) em Eirik Drift, que carrega água que sai do estreito da Dinamarca, entre Islândia e Groenlândia (MÜLLER-MICHAELIS; UENZELMANN-NEBEN, 2015); ou ainda dentro do *Meddy* (BIESCAS et al., 2008).

Uma característica notável da coluna d’água nas partes mais profundas do Oceano Mundial é um grande aumento na dispersão de luz e atenuação conferida pela presença de maiores quantidades de material particulado, e à essa camada é atribuído o nome camada nefelóide⁴ de fundo (*bottom nepheloid layer*). Outra classe de camada nefelóide é especialmente encontrada nas margens continentais, e são chamadas de camadas nefelóide intermediárias (*intermediate nepheloid layers*) (MCCAVE, 2009). Esse tipo de estrutura foi imageado por Geng et al. (2018) na margem continental superior do Mar da China. Neste local, acredita-se que a constituição destas camadas se dê pela formação e consequente dissipação de energia de onda interna, que provocam correntes bastante grandes induzidas por ondas, as quais erodem o leito marinho e ressuspendem partículas para gerar e manter essas camadas (GENG et al., 2018).

Por fim, dentre as estruturas termohalinas listadas, foi imageada a termoclina sazonal que se forma na costa Atlântica da França, na plataforma de Armorican (*Armorican Shelf*). A

⁴ Apresenta forma de nuvem.

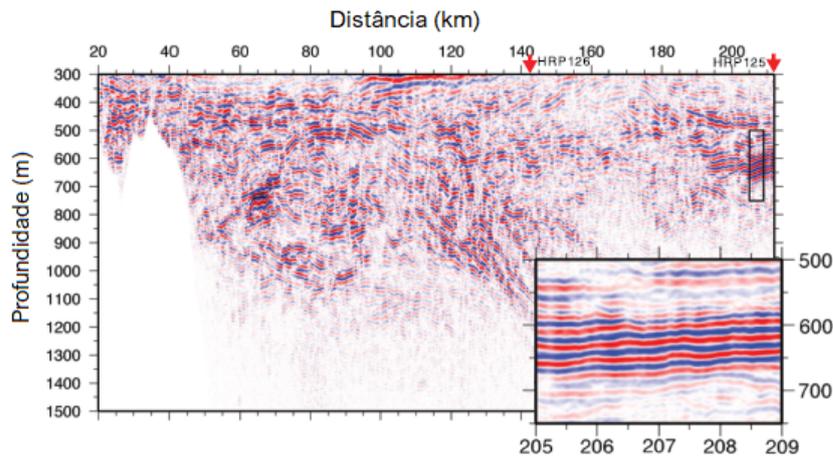


Figura 25 – A escada termohalina (*termohaline staircase*) é o pacote refletor de alta amplitude (*inset*) visível de cerca de 190-212 km em profundidades entre 550 e 700 m. Estas camadas regulares, uniformemente espaçadas e com faixas são exclusivas desta parte da seção.

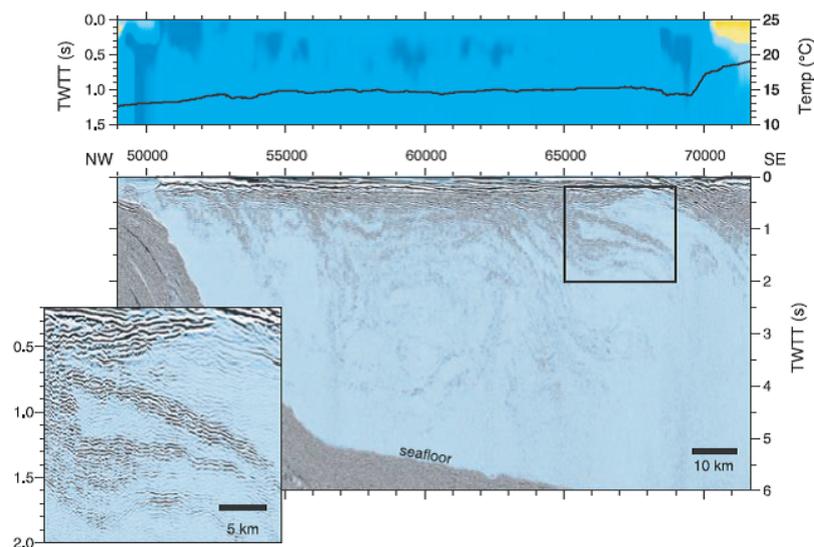


Figura 26 – Imagem de estruturas termohalinas. O gráfico superior ilustra as variações de temperatura com a linha preta (eixo direito) e as cores mostram o tempo duplo de propagação da onda sonora. A imagem gerada abaixo ilustra as *thermohaline fine structures* no oceano. Fonte: Holbrook *et al.*, 2003.

termoclina indica uma alteração acentuada da temperatura com a profundidade (CASTELLO; KRUG, 2015), sendo que as sazonais são formadas e desfeitas de acordo com as variações climáticas anuais, seguindo as estações. Ker *et al.* (2015) observaram reflexões sísmicas da termoclina sazonal de *Armorican Shelf*.

Além disso, também foram considerados desta categoria os processos de mistura e/ou turbulentos, correntes oceânicas e mistura turbulenta em vórtice. Dentro da Oceanografia Sísmica, foram realizados trabalhos observando taxas de mistura entre diferentes massas d'água (SHEEN; WHITE; HOBBS, 2009; SARKAR *et al.*, 2015), assim como mecanismos de mistura dentro do

Meddy (SONG et al., 2011), que se observa virtualmente ausente dentro do núcleo, mas alta em toda a região circundante da estrutura.

Uma outra estrutura agrupada nesta categoria foi a SCM (BUFFETT et al., 2009) na Península Ibérica, utilizando as linhas IAM-3, 5, 9 e 11, representadas na Figura 15b; já no Mar da China, Holbrook et al. (2013) identificaram a dissipação de turbulência através de imagens sísmicas. Também foi imageada uma camada turbulenta apresentando ressuspensão de sedimentos no Canal de Faroe Shetland (VSEMIRNOVA; HOBBS; HOSEGOOD, 2012) e o imageamento da Corrente de Kurushio (CK) utilizando ruídos sísmicos (CHEN; VIA, 2017)

3.6 Principais Tendências

A Tabela 6 apresenta todos os 18 artigos da base de dados que foram publicados entre os anos de 2019 ao início de 2021 (data final da atualização da base de metadados aqui utilizada). Nela, são trazidos os locais e estruturas/objeto de estudo para cada um dos artigos publicados.

Tabela 6 – Trabalhos publicados na área entre os anos de 2019 e início de 2021 (março de 2021). Principais tendências de estudos.

Estado da arte		
Autor(es)	Local	Objeto de estudo
Geng et al. (2019)	Mar da China	Onda interna
Sun, Zhang e Song (2019)	Estreito de Gibraltar	Onda interna
Fan et al. (2020)	Mar da China	Onda interna
Jun, Cho e Noh (2019)	<i>Yellow sea</i>	Inversão sísmica
Tang et al. (2020)	Golfo do Alasca	Mistura turbulenta em um vórtice
Fan et al. (2021a)	América Central	Onda interna
Fukao et al. (2019)	Japão	Maré interna
Kuang et al. (2021)	Mar da China	Onda interna
Fan et al. (2021b)	América Central	Onda interna
An, Zhang e Xing (2020)	—	Inversão de parâmetros
Tsuru et al. (2020)	Baía de Uchiura, Japão	Pluma de fluido
Jun et al. (2020)	—	Atenuação de ruído com machine learning
Chhun e Tsuji (2020)	Corrente de Kurushio	<i>Thermohaline finestructure</i>
Chen et al. (2020)	—	Pluma de bolhas
Dickinson, White e Caulfield (2020)	Canal Faroe-Shetland	Reflexões sísmicas 3D
Rad e Macelloni (2020)	—	Processamento
Gunn, White e Caulfield (2020)	Confluência Brasil-Malvinas	Frentes oceanicas
Sheen (2019)	—	Oceanografia sísmica

Dentre os 18 artigos mais recentes, a estrutura de maior interesse de estudo são as **ondas internas** (7 artigos), principalmente no Mar da China (GENG et al., 2019; FAN et al., 2020; KUANG et al., 2021), mas também no oceano Pacífico, região da América Central (FAN et al., 2021a; FAN et al., 2021b), na região da saída do estreito de Gibraltar (SUN; ZHANG; SONG, 2019) e próximo à ilha de Aogashima no Japão (FUKAO et al., 2019).

Além das ondas internas, foram estudadas recentemente *termohaline finestructure* (CHHUN; TSUJI, 2020) para análise da velocidade do som; frentes oceânicas na região da confluência Brasil-Malvinas (GUNN; WHITE; CAULFIELD, 2020); pluma de fluidos associadas à falhas no leito oceânico (TSURU et al., 2020); estrutura de submesoescala e mistura turbulenta em um vórtice no Golfo do Alasca (TANG et al., 2020). Além de estruturas, ferramentas também são focos de estudo dentro das últimas publicações da área, como inversão sísmica com base em dados aquisitados no Mar Amarelo (JUN; CHO; NOH, 2019) e reflexões 3D no canal de Faroe-Shetland (DICKINSON; WHITE; CAULFIELD, 2020).

Alguns dos trabalhos ainda ficaram no campo dos modelos e simulações e não foram conduzidos em nenhum local do mundo especificamente, como o caso de An, Zhang e Xing (2020) que realizaram inversão de parâmetros oceânicos utilizando dados sísmicos, coletados no Mar da China, com base em redes neurais convolucionais, ou ainda a atenuação de ruído com o uso de machine learning (JUN et al., 2020), simulações de plumas de bolhas (CHEN et al., 2020) e processamento sísmico (RAD; MACELLONI, 2020). Sheen (2019) abordou o tema “oceanografia sísmica” numa conferência realizada em Londres.

4 Conclusões

Neste trabalho foi realizada uma análise de metadados da área de pesquisa conhecida como Oceanografia Sísmica, a partir de artigos indexados na base de dados Scopus, com o objetivo de caracterizar algumas das particularidades desta área e o estado-da-arte de alguns tópicos de interesse. Para isto, foram utilizadas ferramentas bibliométricas, principalmente o *bibliometrix*, após um tratamento extensivo na base de metadados, buscando garantir uma padronização adequada das informações.

Quanto as principais características das publicações científicas identificadas na área de Oceanografia Sísmica, ao longo de aproximadamente 18 anos (2003 - 2021) de desenvolvimentos mais estimulados no assunto, observou-se em geral um fluxo irregular dos trabalhos, com poucos documentos sendo publicados de ano a ano. De fato, os maiores fluxos de publicações podem ser associados a eventos isolados, como resultados do *GO project*, congressos internacionais, e o recentemente interesse de grupos chineses no assunto na região do Mar da China. Com relação as fontes científicas, no geral percebe-se uma maior predominância dos trabalhos em 3 revistas (AGS, GRL, JGRO), sendo que alguns trabalhos aparecem também em revistas de elevado fator de impacto, como *Science* e *Nature*. Precebeu-se, então, uma preferência por revistas de menor fator de impacto, porém com maior enfoque em assuntos geofísicos.

Do total de 151 trabalhos identificados, uma categorização destes trabalhos foi proposta, dividindo este conjunto em três grandes grupos (permitindo sobreposição): dos trabalhos que buscam estudar estruturas oceanográficas (61,59%), trabalhos direcionados ao desenvolvimento de simulações numéricas e/ou modelos sintéticos (32,45%), e trabalhos envolvendo inversão e/ou processamento de dados sísmicos (38,41%). Neste trabalho um enfoque maior foi dado ao primeiro grupo, buscando a caracterização do estado-da-arte das principais estruturas oceânicas e locais de estudo já investigados em Oceanografia Sísmica.

De modo a identificar os maiores contribuidores no assunto, foram analisados os índices H dos autores, considerando tanto valores retornados do Scopus (global) como também aqueles calculados dentro da própria base de metadados (local). Comparando ambos percebe-se que alguns autores apresentam uma diferença grande nos valores, o que possivelmente indica uma maior diversificação da área de interesse. Um aspecto também avaliado foi a rede colaborativa, identificando os principais agentes colaboradores e seus vínculos internacionais.

Em decorrência do *GO Project*, muitos dos estudos foram conduzidos no Golfo de Cádiz. Os dados das linhas aquisitadas entre 2007 e 2009, foram utilizados tanto em publicações da GRL (entre 2009 e 2010), como em estudos subsequentes (até o ano de 2016). A partir de 2009, muitas pesquisas foram conduzidas no Mar da China, o que fez com que a quantidade de estudos realizados nestas duas áreas sejam hoje equiparáveis. De acordo com a área de estudo,

as estruturas mais imageadas variam, como por exemplo: *Meddy*, imageado apenas no Golfo de Cádiz; ondas internas, sendo mais predominantes no Mar da China; estruturas termohalinas, imageadas em regiões com frentes oceânicas (i.e. corrente de Kurushio), entre outros.

Nos últimos dois anos, parece haver uma maior tendência de estudo em ondas internas, assim como desenvolvimento de técnicas de inversão e processamento.

Referências

AMBAR, I. et al. Observations of the mediterranean undercurrent and eddies in the gulf of cadiz during 2001. **Journal of Marine Systems**, Elsevier, v. 71, n. 1-2, p. 195–220, 2008.

AN, Z.; ZHANG, J.; XING, L. Inversion of oceanic parameters represented by ctd utilizing seismic multi-attributes based on convolutional neural network. **Journal of Ocean University of China**, Springer, v. 19, n. 6, p. 1283–1291, 2020.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An r-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, Elsevier, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.

AZEVEDO, L. et al. Geostatistical inversion of seismic oceanography data for ocean salinity and temperature models. **Mathematical Geosciences**, Springer, v. 50, n. 4, p. 477–489, 2018.

BAI, Y. et al. Nonlinear internal solitary waves in the northeast south china sea near dongsha atoll using seismic oceanography. **Chinese Science Bulletin**, Science China Press, v. 60, n. 10, p. 944–951, 2015.

BAI, Y. et al. Estimating depth of polarity conversion of shoaling internal solitary waves in the northeastern south china sea. **Continental Shelf Research**, Elsevier, v. 143, p. 9–17, 2017.

BAI, Y. et al. Extraction of mixing parameters by seismic oceanography and applications: Case study of the internal waves in south china sea and mediterranean eddy. *Chinese Journal of Geophysics - Chinese Edition*, 2015.

BANDA, E.; TORNE, M.; GROUP, I. A. M. Iberian atlantic margins group investigates deep structure of ocean margins. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Wiley Online Library, v. 76, n. 3, p. 25–29, 1995.

BARÃO, M. V. C. et al. Desenvolvimento do procedimento metodológico da oceanografia sísmica em dados da indústria do petróleo. 2017.

BERGAMASCO, A. et al. Exploring the shelf-slope dynamics in the adriatic sea using numerical models and seismic oceanography (so). In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005011.

BIESCAS, B. et al. Seismic imaging of staircase layers below the mediterranean undercurrent. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Elsevier, v. 57, n. 10, p. 1345–1353, 2010.

BIESCAS, B. et al. Recovery of temperature, salinity, and potential density from ocean reflectivity. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 119, n. 5, p. 3171–3184, 2014.

BIESCAS, B.; RUDDICK, B. R.; SALLARES, V. Inversion of density in the ocean from seismic reflection data. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005009.

BIESCAS, B. et al. Imaging meddy finestructure using multichannel seismic reflection data. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 35, n. 11, 2008.

- BOHÉMIER, K. A. Analysis for science librarians of the 2018 nobel prize in physics: Using light as a tool for new discoveries. **Science & Technology Libraries**, Taylor & Francis, v. 38, n. 1, p. 30–50, 2019.
- BOOK, J. W. et al. Seismic oceanography imaging of thermal intrusions in strong frontal regions. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005010.
- BOYACK, K. W.; KLAVANS, R.; BÖRNER, K. Mapping the backbone of science. **Scientometrics**, Akadémiai Kiadó, co-published with Springer Science+ Business Media BV ..., v. 64, n. 3, p. 351–374, 2005.
- BRINER, R. B.; DENYER, D. Systematic review and evidence synthesis as a practice and scholarship tool. **Handbook of evidence-based management: Companies, classrooms and research**, p. 112–129, 2012.
- BUFFETT, G. G. et al. Seismic reflection along the path of the mediterranean undercurrent. **Continental Shelf Research**, Elsevier, v. 29, n. 15, p. 1848–1860, 2009.
- BUFFETT, G. G. et al. Stochastic heterogeneity mapping around a mediterranean salt lens. **Ocean Science**, Copernicus GmbH, v. 6, n. 1, p. 423–429, 2010.
- BUFFETT, G. G. et al. Seismic oceanography in the tyrrhenian sea: thermohaline staircases, eddies, and internal waves. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 122, n. 11, p. 8503–8523, 2017.
- BUFFETT, G. G. et al. **Seismic Oceanography: a new tool to characterize physical oceanographic structures and processes**. [S.l.]: Universitat de Barcelona, 2011.
- BUFFETT, G. G. et al. Real time visualization of thermohaline finestructure using seismic offset groups. **Methods in Oceanography**, Elsevier, v. 3, p. 1–13, 2012.
- CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. **Introdução às ciências do mar**. [S.l.]: Editora Textos, 2015.
- CHEN, H.-W.; VIA, R. Seismic oceanography imaging of ocean current and methane hydrate in offshore taiwan. In: IEEE. **OCEANS 2017-Aberdeen**. [S.l.], 2017. p. 1–6.
- CHEN, J. et al. The vertical structure and physical properties of the mediterranean eddy. **Acta Geophysica Sinica**, 2013.
- CHEN, J. et al. A preliminary study of submarine cold seeps applying seismic oceanography techniques. **Chinese Journal of Geophysics**, v. 60, n. 2, p. 604–616, 2017.
- CHEN, J. et al. Geological and oceanographic controls on seabed fluid escape structures in the northern zhongjiannan basin, south china sea. **Journal of Asian Earth Sciences**, Elsevier, v. 168, p. 38–47, 2018.
- CHEN, J. et al. Modelling and detection of submarine bubble plumes using seismic oceanography. **Journal of Marine Systems**, Elsevier, v. 209, p. 103375, 2020.
- CHHUN, C.; TSUJI, T. Sound speed of thermohaline fine structure in the kuroshio current inferred from automatic sound speed analysis. **Exploration Geophysics**, Taylor & Francis, v. 51, n. 5, p. 581–590, 2020.

- COBO, M. J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for information Science and Technology**, Wiley Online Library, v. 62, n. 7, p. 1382–1402, 2011.
- COLLING, A. **Ocean circulation**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2001. v. 3.
- COSTA, S.; CALDEIRA, R. Bibliometric analysis of ocean literacy: An underrated term in the scientific literature. **Marine policy**, Elsevier, v. 87, p. 149–157, 2018.
- DAGNINO, D. et al. Fine-scale thermohaline ocean structure retrieved with 2-d prestack full-waveform inversion of multichannel seismic data: Application to the gulf of cadiz (sw iberia). **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 121, n. 8, p. 5452–5469, 2016.
- DICKINSON, A.; WHITE, N.; CAULFIELD, C. Time-lapse acoustic imaging of mesoscale and fine-scale variability within the faroe-shetland channel. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 125, n. 8, p. e2019JC015861, 2020.
- DONG, C.-Z. et al. Studying of oceanic internal wave spectra in the northeast south china sea from seismic reflections. **Chin. J. Geophys**, v. 52, n. 20, p. 2050–2055, 2009.
- DONG, C.-Z. et al. Relative contribution of seawater physical property to seismic reflection coefficient. **Chinese Journal of Geophysics - Chinese edition**, Science press, v. 56, n. 6, p. 2123–2132, 2013.
- EAKIN, D.; HOLBROOK, W. S.; FER, I. Seismic reflection imaging of large-amplitude lee waves in the caribbean sea. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 38, n. 21, 2011.
- ETTER, P. C.; HAAS, C. H.; RAMANI, D. V. Evolving trends and challenges in applied underwater acoustic modeling. In: IEEE. **OCEANS 2015-MTS/IEEE Washington**. [S.l.], 2015. p. 1–10.
- FABRE, J. P.; WOOD, W. T. Uncertainty of transmission loss due to small scale fluctuations of sound speed in two environments. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005008.
- FAN, W. et al. Seismic oceanography study of mode-2 internal solitary waves offshore central america. **Chinese Journal of Geophysics**, Science press 16 North St, Beijing 100717, v. 64, n. 1, p. 195–208, 2021a.
- FAN, W. et al. The shoaling mode-2 internal solitary waves in the pacific coast of central america investigated by marine seismic survey data. **Continental Shelf Research**, Elsevier, v. 212, p. 104318, 2021b.
- FAN, W. et al. Seismic oceanography study of internal solitary waves in the northeastern south china sea basin. **Chinese Journal of Geophysics**, Beijing Zhongke Journal Publising Co. Ltd., v. 63, n. 7, p. 2644–2657, 2020.
- FORTIN, W. F.; HOLBROOK, W. S. Sound speed requirements for optimal imaging of seismic oceanography data. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.

- FORTIN, W. F. et al. Mapping non-local turbulent breakdown of oceanic lee waves offshore costa rica through seismic oceanography. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005014.
- FORTIN, W. F.; HOLBROOK, W. S.; SCHMITT, R. W. Mapping turbulent diffusivity associated with oceanic internal lee waves offshore costa rica. **Ocean Science**, Copernicus GmbH, v. 12, n. 2, p. 601–612, 2016.
- FUKAO, Y. et al. Detection of ocean internal tide source oscillations on the slope of aogashima island, japan. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 124, n. 7, p. 4918–4933, 2019.
- FUNDING, C. I. **National Key R&D; Programmes**. 2018. (<http://chinainnovationfunding.eu/national-key-rd-programmes/>).
- GARRETT, C. Internal waves. **Elements of physical oceanography: A derivative of the encyclopedia of ocean sciences**, Elsevier London, p. 349–357, 2009.
- GELI, L. et al. High resolution seismic imaging of the ocean structure using a small volume airgun source array in the gulf of cadiz. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- GENG, M. et al. Research on the distribution and characteristics of the nepheloid layers in the northern south china sea by use of seismic oceanography method. **Chinese Journal of Geophysics - Chinese edition**, Science press, v. 61, n. 2, p. 636–648, 2018.
- GENG, M. et al. Analyzing amplitudes of internal solitary waves in the northern south china sea by use of seismic oceanography data. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, Elsevier, v. 146, p. 1–10, 2019.
- GONELLA, J.; MICHON, D. Deep internal waves measured by seismic-reflection within the eastern atlantic water mass. **Comptes Rendus de l Academie Des Sciences Serie II**, GAUTHIER-VILLARS SPE S-JOURNAL DEPT, 120 BD ST GERMAIN, F-75006 PARIS, FRANCE, v. 306, n. 12, p. 781–787, 1988.
- GUERRA, L. A. d. A. **Vortices das Agulhas colidem com a Corrente do Brasil?** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2011.
- GUNN, K. L.; WHITE, N.; CAULFIELD, C.-c. P. Time-lapse seismic imaging of oceanic fronts and transient lenses within south atlantic ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 125, n. 7, p. e2020JC016293, 2020.
- HAUSTEIN, S. **Multidimensional journal evaluation: Analyzing scientific periodicals beyond the impact factor**. [S.l.]: Walter de Gruyter, 2012.
- HILDEBRAND, J. A.; ARMI, L.; HENKART, P. C. Seismic imaging of the water-column deep layer associated with the deepwater horizon oil spill. **Geophysics**, Society of Exploration Geophysicists, v. 77, n. 2, p. EN11–EN16, 2012.
- HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings of the National academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 102, n. 46, p. 16569–16572, 2005.

- HOBBS, R. W. et al. Effect of seismic source bandwidth on reflection sections to image water structure. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- HOLBROOK, W. S.; FER, I. Ocean internal wave spectra inferred from seismic reflection transects. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 32, n. 15, 2005.
- HOLBROOK, W. S.; FER, I.; SCHMITT, R. W. Images of internal tides near the norwegian continental slope. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- HOLBROOK, W. S. et al. Estimating oceanic turbulence dissipation from seismic images. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 30, n. 8, p. 1767–1788, 2013.
- HOLBROOK, W. S. et al. Thermohaline fine structure in an oceanographic front from seismic reflection profiling. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 301, n. 5634, p. 821–824, 2003.
- HUANG, X. et al. Estimation of seawater movement based on reflectors from a seismic profile. **Acta Oceanologica Sinica**, Springer, v. 31, n. 5, p. 46–53, 2012.
- HUANG, X.-H. et al. Estimation of geostrophic velocity from seismic images of mesoscale eddy in the south china sea. **Diqiu Wuli Xuebao**, Kexue Chubanshe, 16 Donghuangchenggen North Street Beijing 100717, v. 56, n. 1, p. 181–187, 2013.
- HUANG, X.-H. et al. Ocean temperature and salinity distributions inverted from combined reflection seismic and xbt data. **Chinese Journal of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 54, n. 3, p. 307–314, 2011.
- HUNT, J. M. et al. Red sea: detailed survey of hot-brine areas. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 156, n. 3774, p. 514–516, 1967.
- HUTHNANCE, J.; HOBBS, R.; GARABATO, A. N. Imaging the time dependence of water boundaries in the faroe-shetland channel. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, v. 87, n. 36 (Supplement), p. OS13I–06, 2006.
- IMASATO, T.; PERLIN, M. S.; BORENSTEIN, D. Análise do perfil dos acadêmicos e de suas publicações científicas em administração. **Revista de administração contemporânea**, SciELO Brasil, v. 21, n. 1, p. 62–83, 2017.
- Jl, L.; LIN, M. Numerical analysis of the effect of mesoscale eddies on seismic imaging. **Pure and Applied Geophysics**, Springer, v. 170, n. 3, p. 259–270, 2013.
- Jl, L.; LIN, M.; HAO, T. The effect of inhomogeneous water on seismic imaging in deepwater areas of the south china sea. **Chinese Science Bulletin**, Springer, v. 58, n. 35, p. 4443–4449, 2013.
- JIANG-XIN, C. et al. Geophysical analysis of abnormal seismic (oceanography) reflection characteristics of oceanic bottom boundary layer. **Chinese Journal of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 59, n. 5, p. 573–586, 2016.
- JUN, H.; CHO, Y.; NOH, J. Trans-dimensional markov chain monte carlo inversion of sound speed and temperature: Application to yellow sea multichannel seismic data. **Journal of Marine Systems**, Elsevier, v. 197, p. 103180, 2019.

- JUN, H. et al. Random noise attenuation of sparker seismic oceanography data with machine learning. **Ocean Science**, Copernicus GmbH, v. 16, n. 6, p. 1367–1383, 2020.
- KER, S. et al. Multiscale seismic reflectivity of shallow thermoclines. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 120, n. 3, p. 1872–1886, 2015.
- KLAESCHEN, D. et al. Estimating movement of reflectors in the water column using seismic oceanography. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- KORMANN, J. et al. Synthetic modelling of acoustical propagation applied to seismic oceanography experiments. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 37, n. 6, 2010.
- KORMANN, J.; COBO, P.; GUERRA, C. R. Underwater acoustic propagation model to simulate seismic oceanography experiments. International Institute of Acoustics and Vibration, 2007.
- KRAHMANN, G. et al. Mid-depth internal wave energy off the iberian peninsula estimated from seismic reflection data. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 113, n. C12, 2008.
- KRAHMANN, G. et al. Evaluation of seismic reflector slopes with a yoyo-ctd. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- KUANG, Y. et al. Study of internal solitary wave packets in the northeastern south china sea based on seismic oceanography and remote sensing. **Chinese Journal of Geophysics - Chinese edition**, Science press, v. 64, n. 2, p. 597–611, 2021.
- LARIVIÈRE, V.; HAUSTEIN, S.; MONGEON, P. The oligopoly of academic publishers in the digital era. **PloS one**, Public Library of Science, v. 10, n. 6, p. e0127502, 2015.
- LEE, G. S.; CHO, H. Y.; HAN, J. R. Text mining analysis on the research field of the coastal and ocean engineering based on the scopus bibliographic information. **Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers**, Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, v. 30, n. 1, p. 19–28, 2018.
- LI, C.; GOU, L.; YOU, J. Numerical simulation of bubble plumes and an analysis of their seismic attributes. **Journal of Ocean University of China**, Springer, v. 16, n. 2, p. 223–232, 2017.
- LI-LI, J.; MIAN, L. The distortion of seismic imaging in the presence of mesoscale eddies and analysis of influencing factors. **Chinese Journal of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 56, n. 1, p. 15–26, 2013.
- LI, Y. et al. Characteristics of active cold seepages in qiongdongnan sea area of the northern south china sea. **Chinese Journal of Geophysics - Chinese edition**, Science press, v. 61, n. 7, p. 2905–2914, 2018.
- LIU, H. et al. Shallow water body data processing based on the seismic oceanography. **Journal of Ocean University of China**, Springer, v. 12, n. 3, p. 319–326, 2013.
- MARTÍN-MARTÍN, A. et al. Google scholar, web of science, and scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories. **Journal of informetrics**, Elsevier, v. 12, n. 4, p. 1160–1177, 2018.

- MATANO, R.; BEIER, E. A kinematic analysis of the indian/atlantic interocean exchange. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, Elsevier, v. 50, n. 1, p. 229–249, 2003.
- MATOS, F. et al. Canyons pride and prejudice: Exploring the submarine canyon research landscape, a history of geographic and thematic bias. **Progress in Oceanography**, Elsevier, v. 169, p. 6–19, 2018.
- MCCAIVE, I. Nepheloid layers. **Elements of physical oceanography: A derivative of the encyclopedia of ocean sciences**, Elsevier London, p. 484–495, 2009.
- MENESGUEN, C. et al. Effect of bandwidth on seismic imaging of rotating stratified turbulence surrounding an anticyclonic eddy from field data and numerical simulations. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- MÜLLER-MICHAELIS, A.; UENZELMANN-NEBEN, G. Using seismic reflection data to reveal high-resolution structure and pathway of the upper western boundary undercurrent core at eirik drift. **Marine Geophysical Research**, Springer, v. 36, n. 4, p. 343–353, 2015.
- NAKAMURA, Y. et al. Simultaneous seismic reflection and physical oceanographic observations of oceanic fine structure in the kuroshio extension front. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 33, n. 23, 2006.
- NANDI, P. et al. Seismic reflection imaging of water mass boundaries in the norwegian sea. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 31, n. 23, 2004.
- NANDI, P.; SCHMITT, R.; HOLBROOK, W. Seismic imaging of a thermohaline staircase in the western tropical atlantic. **Eos Trans. AGU**, v. 87, n. 36 (Supplement), 2006.
- NSFC. **National Natural Science Poundation of China: NSFC at a Glance**. 2017. http://www.nsf.gov.cn/english/site_1/about/6.html.
- OLDHAM, P.; HALL, S.; BURTON, G. Synthetic biology: mapping the scientific landscape. **PLoS One**, Public Library of Science, v. 7, n. 4, p. e34368, 2012.
- OLDHAM, P. et al. Mapping the landscape of climate engineering. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, The Royal Society Publishing, v. 372, n. 2031, p. 20140065, 2014.
- OLIVEIRA, C. M. D. et al. Rfid nos cuidados com a saúde: Uma revisão de mapeamento sistemático. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 9, n. 1, p. 48–61, 2018.
- PAPENBERG, C. et al. Ocean temperature and salinity inverted from combined hydrographic and seismic data. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 37, n. 4, 2010.
- PÁRAMO, P.; HOLBROOK, W. S. Temperature contrasts in the water column inferred from amplitude-versus-offset analysis of acoustic reflections. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 32, n. 24, 2005.
- PHILLIPS, J.; DEAN, D. Multichannel acoustic reflection profiling of ocean watermass temperature/salinity interfaces. In: **Ocean Variability & Acoustic Propagation**. [S.l.]: Springer, 1991. p. 199–214.

PINHEIRO, L. M. et al. Detailed 2-d imaging of the mediterranean outflow and meddies off iberia from multichannel seismic data. **Eos Trans. AGU**, v. 84, n. 36 (Supplement), 2006.

PINHEIRO, L. M. et al. Detailed 2-d imaging of the mediterranean outflow and meddies off iberia from multichannel seismic data. **Journal of Marine Systems**, Elsevier, v. 79, n. 1-2, p. 89–100, 2010.

PRICE, D. J. d. S. **Little science, big science**. [S.l.]: Columbia University Press, 1963.

PROJECT, G. **Geophysical Oceanography - a new tool to understand the thermal structure and dynamics of oceans**. 2009. <<https://cordis.europa.eu/project/id/15603>>.

QUENTEL, E. et al. Detecting and characterizing mesoscale and submesoscale structures of mediterranean water from joint seismic and hydrographic measurements in the gulf of cadiz. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 37, n. 6, 2010.

RAD, P. B.; MACELLONI, L. Improving 3d water column seismic imaging using the common reflection surface method. **Journal of Applied Geophysics**, Elsevier, v. 179, p. 104072, 2020.

RICE, A. E. et al. Current-eddy interaction in the agulhas return current region from the seismic oceanography perspective. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005015.

RICE, A. E.; RUDDICK, B. R.; BIESCAS, B. **The Current Trajectory of Seismic Oceanography: Mini-Workshop on Seismic Oceanography; Montreal, Canada, 5 June 2013**. [S.l.]: Wiley Online Library, 2013.

ROLLET, N. et al. Characterisation and correlation of active hydrocarbon seepage using geophysical data sets: an example from the tropical, carbonate yampi shelf, northwest australia. **Marine and Petroleum Geology**, Elsevier, v. 23, n. 2, p. 145–164, 2006.

ROUSSEAU, D. M. **The Oxford handbook of evidence-based management**. [S.l.]: Oxford University Press, 2012.

RUDDICK, B. Sounding out ocean fine structure. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 301, n. 5634, p. 772–773, 2003.

RUDDICK, B. Seismic oceanography's failure to flourish: A possible solution. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 123, n. 1, p. 4–7, 2018.

RUDDICK, B. et al. Water column seismic images as maps of temperature gradient. **Oceanography**, JSTOR, v. 22, n. 1, p. 192–205, 2009.

SALLARÈS, V. et al. Relative contribution of temperature and salinity to ocean acoustic reflectivity. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.

SARKAR, S. et al. Seismic reflection imaging of mixing processes in fram strait. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 120, n. 10, p. 6884–6896, 2015.

SCHMITT, R. et al. Acoustic detection of thermohaline staircases in the ocean and laboratory. In: IEEE. **Proceedings of OCEANS 2005 MTS/IEEE**. [S.l.], 2005. p. 1052–1055.

SEYMOUR, J.; HOLBROOK, W.; SCHMITT, R. Velocity structure of a loop current eddy using the gradient-current method on a seismic section from the gulf of mexico. **Eos Trans. AGU**, v. 87, n. 36, 2006.

- SHEEN, K. New wave seismics. In: EUROPEAN ASSOCIATION OF GEOSCIENTISTS & ENGINEERS. **81st EAGE Conference and Exhibition 2019 Workshop Programme**. [S.l.], 2019. v. 2019, n. 1, p. 1–2.
- SHEEN, K. et al. Seismic imaging of a large horizontal vortex at abyssal depths beneath the sub-antarctic front. **Nature Geoscience**, Nature Publishing Group, v. 5, n. 8, p. 542–546, 2012.
- SHEEN, K.; WHITE, N.; HOBBS, R. Estimating mixing rates from seismic images of oceanic structure. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- SHEEN, K. L. et al. Estimating geostrophic shear from seismic images of oceanic structure. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 28, n. 9, p. 1149–1154, 2011.
- SMILLIE, M. W. **Seismic oceanographical imaging of the ocean SE of NZ**. Tese (Doutorado) — University of Otago, 2013.
- SONG, H. et al. Analysis of ocean internal waves imaged by multichannel reflection seismics, using ensemble empirical mode decomposition. **Journal of Geophysics and Engineering**, Oxford University Press, v. 9, n. 3, p. 302–311, 2012.
- SONG, H. et al. **Seismic oceanography**. [S.l.]: Elsevier, 2017.
- SONG, H. et al. Meddy, spiral arms, and mixing mechanisms viewed by seismic imaging in the tagus abyssal plain (sw iberia). **Journal of Marine Research**, Sears Foundation for Marine Research, v. 69, n. 4-5, p. 827–842, 2011.
- SONG, H.-B. et al. A preliminary study of application of empirical mode decomposition method in understanding the features of internal waves in the northeastern south china sea. **Chinese Journal of Geophysics**, v. 53, n. 2, p. 393–400, 2010.
- SONG, H.-B. et al. Seismic images of ocean meso-scale eddies and internal waves. **Chinese Journal of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 52, n. 6, p. 1251–1257, 2009.
- SONG, Y. et al. Sea water thermohaline structure inversion from seismic data. **Chinese Journal of Geophysics**, Wiley Online Library, v. 53, n. 6, p. 989–996, 2010.
- SUN, S.; ZHANG, K.; SONG, H. Geophysical characteristics of internal solitary waves near the strait of gibraltar in the mediterranean sea. **Chinese Journal of Geophysics-Chinese Edition**, Science press, v. 62, n. 7, p. 2622–2632, 2019.
- TANG, Q.; GULICK, S.; SUN, L. Seismic observations from a yakutat eddy in the northern gulf of alaska. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 119, n. 6, p. 3535–3547, 2014.
- TANG, Q. et al. Submesoscale features and turbulent mixing of an oblique anticyclonic eddy in the gulf of alaska investigated by marine seismic survey data. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 125, n. 1, p. e2019JC015393, 2020.
- TANG, Q. et al. Marine seismic observation of internal solitary wave packets in the northeast south china sea. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 120, n. 12, p. 8487–8503, 2015.
- TANG, Q. et al. Seismic, satellite, and site observations of internal solitary waves in the ne south china sea. **Scientific reports**, Nature Publishing Group, v. 4, p. 5374, 2014.

- TANG, Q. et al. A locally generated high-mode nonlinear internal wave detected on the shelf of the northern south china sea from marine seismic observations. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Wiley Online Library, v. 123, n. 2, p. 1142–1155, 2018.
- TANG, Q.; ZHENG, C. Thermohaline structures across the luzon strait from seismic reflection data. **Dynamics of atmospheres and oceans**, Elsevier, v. 51, n. 3, p. 94–108, 2011.
- TENOPIR, C.; KING, D. W. The growth of journals publishing. In: **The future of the academic journal**. [S.l.]: Elsevier, 2014. p. 159–178.
- THORPE, S. A. **Elements of Physical Oceanography: A Derivative of Encyclopedia of Ocean Sciences**. [S.l.]: Elsevier, 2009.
- TSUJI, T. et al. Two-dimensional mapping of fine structures in the kuroshio current using seismic reflection data. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 32, n. 14, 2005.
- TSURU, T. et al. Possible fluid discharge associated with faults observed by a high-resolution dense-2d seismic reflection survey in uchiura bay off numazu, japan. **Earth, Planets and Space**, SpringerOpen, v. 72, n. 1, p. 1–15, 2020.
- VSEMIRNOVA, E.; HOBBS, R.; HOSEGOOD, P. Mapping turbidity layers using seismic oceanography methods. **Ocean Science**, Copernicus GmbH, v. 8, n. 1, p. 11–18, 2012.
- VSEMIRNOVA, E. et al. Estimating internal wave spectra using constrained models of the dynamic ocean. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 36, n. 24, 2009.
- VSEMIRNOVA, E. A.; HOBBS, R. W. Mapping turbidity layers using a combination of high resolution seismic oceanographic and physical oceanographic data. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. **Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013**. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 005012.
- WOOD, W. T. et al. Full waveform inversion of reflection seismic data for ocean temperature profiles. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 35, n. 4, 2008.
- WRIGHT, J.; COLLING, A.; PARK, D. **Waves, tides and shallow-water processes**. [S.l.]: Gulf Professional Publishing, 1999. v. 4.
- XU, H.-N. et al. Detecting seepage hydrate reservoir using multi-channel seismic reflecting data in shenhu area. **Earth Science/Diqiu Kexue**, China University of Geosciences, v. 37, 2012.
- YAMASHITA, M. et al. Seismic reflection imaging of a warm core ring south of hokkaido. **Exploration Geophysics**, Taylor & Francis, v. 42, n. 1, p. 18–24, 2011.
- YILMAZ, Ö. **Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data**. [S.l.]: Society of exploration geophysicists, 2008.
- ZHENG, H.-B.; YAN, P. The application of seismic oceanography to studying ocean water mass structure in the northeastern south china sea. 2010.
- ZUCKERMAN, H.; MERTON, R. K. Patterns of evaluation in science: Institutionalisation, structure and functions of the referee system. **Minerva**, JSTOR, p. 66–100, 1971.