

Análise Espectral de Ruído Sísmico Ambiental de Bacias Sedimentares do Nordeste do Brasil

Lessandro S.S.V., UNIPAMPA; Marcus V.A.G.L., UNIPAMPA.

Copyright 2022, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Curitiba, 04 a 06 de outubro de 2022. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IX SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Um número crescente de pesquisa sísmica de baixa frequência em campos produtores de petróleo e gás tem evidenciado a presença de anomalias no espectro entre 1 – 6 Hz. Esses sinais são conhecidos como microtremores de hidrocarbonetos (MH). O método de Sísmica Passiva foi aplicado no nordeste do Brasil sobre as bacias sedimentares do Potiguar, Jatobá e Tucano. Utilizando dados de 28 estações sismográficas foi feita a análise espectral por meio dos atributos espectrais. Através dos resultados, percebeu-se a ausência da anomalia gerada pelos MH fora das bacias. Para as estações A037 e 9FFC os atributos indicaram um alto potencial petrolífero.

Introdução

Na sísmica passiva são utilizados, principalmente, registros de ruído ambiental empregando técnicas de análise espectral e de interferometria para a obtenção ou caracterização de ambientes geológicos em diversas escalas (DRAGANOV *et al.*, 2007). Nesse contexto, nos últimos anos, patrocinado pela indústria de óleo e gás, verificou-se um crescimento acelerado no número de aplicações que correlacionam os ruídos ambientais com a presença de hidrocarbonetos em bacias sedimentares. O estudo de microtremores induzidos por reservatórios de óleo e gás, quer por análise de anomalias espectrais observadas no sinal sísmico ou por monitoramento da sismicidade causada pela estimulação do reservatório durante drenagem, injeção de água ou operação de fraturamento hidráulico, tornou-se uma ferramenta importante para os operadores de campo que buscam gerenciar a produção de modo sustentável e seguro (SAENGER *et al.*, 2009). Além disso, estes estudos apontam para uma correlação empírica entre anomalias espectrais originadas de microtremores na faixa de frequências de 1 – 6 Hz, com pico em torno de 3 Hz, e a existência de hidrocarbonetos (DANGEL *et al.*, 2003). Dessa forma, propõe-se investigar a aplicabilidade de métodos de análise espectral na prospecção de hidrocarbonetos utilizando dados de ruído ambiental coletados em regiões de bacias sedimentares de diferentes potenciais petrolíferos. Portanto, o atual estudo consiste na análise de dados de sísmica passiva adquiridos por um arranjo de estações sismográficas distribuídas ao longo de um perfil linear que atravessou três bacias sedimentares no Nordeste do Brasil. Pretende-se, então, testar a metodologia no banco de

dados de 28 estações sismográficas composto por sensores de período curto contendo registros de até 10 dias de duração, instaladas nas bacias Potiguar, Jatobá e Tucano.

A área de estudo está localizada no nordeste do Brasil abrangendo os estados de Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas e Bahia, cruzando áreas com diferentes potenciais de petróleo, como mostrado na Figura 1. Nesta figura, as estações sismográficas de período curto são representadas por triângulos vermelhos. Inicialmente, neste estudo foram utilizados os dados das estações em destaque. Os 3 polígonos sombreados são representações das bacias sedimentares: Potiguar, Jatobá e Tucano. Os círculos amarelo e laranja correspondem a localização dos poços de exploração e produção respectivamente.

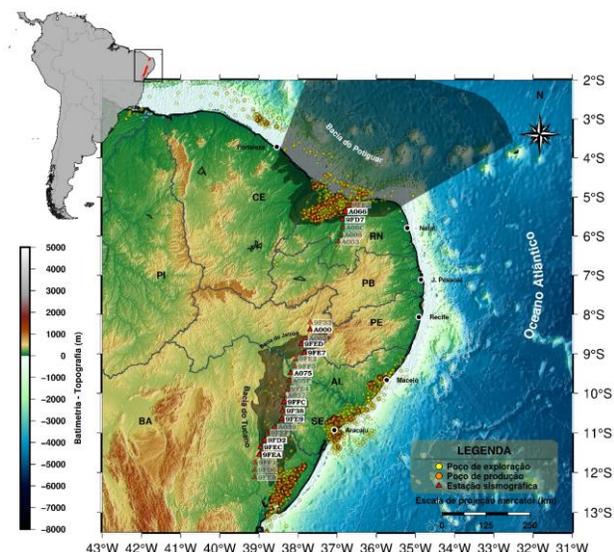


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Metodologia/ Problema Investigado

O método de sísmica passiva, consiste basicamente em medir o ruído sísmico registrado por uma ou mais estações utilizando densidade espectral de potência, ou como é conhecida *Power Spectral Density (PSD)*. O grande desenvolvimento da sísmica passiva ocorreu após a descoberta da relação entre uma anomalia sísmica na banda de 3 Hz, com reservatórios de hidrocarbonetos (DANGEL *et al.*, 2003). Pesquisas aplicando o método de sísmica passiva sobre reservatórios de petróleo, comprovaram, por meio de

análises espectrais das vibrações sísmicas ambientais, a existência de uma anomalia positiva nas frequências próximas a banda de 3 Hz (Figura 2). Portanto, para que seja realizada uma análise mais detalhada sobre os espectros de hidrocarbonetos e a anomalia de 3 Hz, com o objetivo de encontrar áreas que possam produzir petróleo, alguns artifícios matemáticos conhecidos como atributos espectrais, são calculados. Estes, são conhecidos como: *Power Spectral Density* da componente vertical (PSD-Z), Razão Espectral da componente vertical sobre as componentes horizontais (Razão V/H) e Polarização.

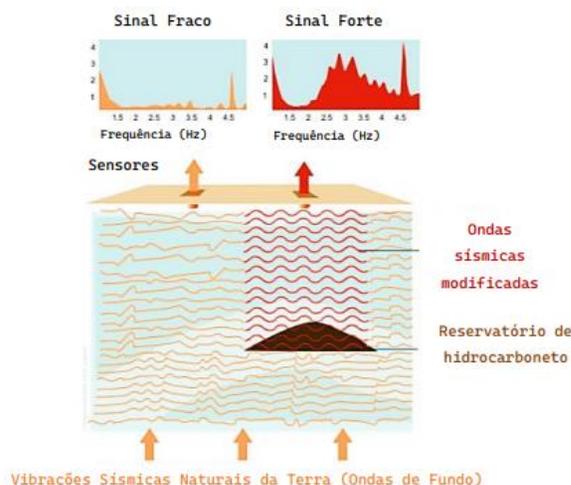


Figura 2: Ilustração simplificada sobre o método de análise de anomalia espectral das vibrações sísmicas ambientais para se identificar reservatórios de hidrocarbonetos.

Pesquisas realizadas em campos de petróleo na cidade de Voitsdorf na Áustria, comprovaram a correlação da razão V/H com a presença de hidrocarbonetos (LAMBERT, 2009), onde amplitudes de V/H acima de 1 na banda aproximada de 3 Hz indicavam a presença de petróleo nos reservatórios. Em contrapartida, amplitudes menores que 1 indicavam ausência de petróleo na área analisada. O atributo espectral de polarização analisa as principais componentes do movimento da partícula em função do tempo (JURKEVICS, 1988). Este atributo é realizado calculando três parâmetros: retilinearidade, mergulho e azimute. Segundo Saenger et al., (2009) esses atributos de polarização indicam se o reservatório analisado possui um baixo ou alto potencial de hidrocarboneto. Isso porque a interação entre a partícula da onda com fluido, que nesse caso é o petróleo, possui certas características descritas na Tabela 1.

Atributos	Baixo Potencial de Hidrocarboneto	Alto Potencial de Hidrocarboneto
Mergulho (ϕ)	Estável $\cong 20^\circ$	Estável $\geq 80^\circ$
Retilinearidade (L)	Baixa ($< 0,6$)	Alta e Estável ($> 0,6$)
Azimute (θ)	Estável	Varia Fortemente

Tabela 1: Atributos de polarização em áreas com baixo e alto potencial petrolífero.

Resultados

A priori, os resultados obtidos foram analisados para as estações em destaque, como mostrado na Figura 1. Isso foi feito com algumas estações fora das bacias sedimentares, para comprovar que não há a presença da anomalia nestes locais e, sobre as bacias, com o objetivo de encontrar a anomalia proveniente dos microtremores de hidrocarboneto. As quais possam indicar por meio dos atributos espectrais se há um baixo, ou alto potencial petrolífero na bacia analisada. As estações A075 e 9FE2, localizadas entre as bacias do Jatobá e do Tucano tiveram problemas nos cálculos das componentes horizontais, dessa forma, optou-se por não aplicar os atributos espectrais aos dados adquiridos nestas estações. Na Tabela 2, os resultados dessas duas estações foram representados por uma faixa vermelha, indicando que não foram analisadas neste trabalho. Analisando as 28 estações, praticamente todas tiveram uma variação no potencial petrolífero de baixo a médio. No entanto, as estações A037 e 9FFC localizadas sobre a bacia do Tucano indicaram um alto potencial de hidrocarbonetos. De acordo com PSD-Z da estação 9FFC (Figura 3) é evidente a presença de uma anomalia com frequência de pico em torno de 2,72 Hz (Tabela 2). Segundo Dangel *et al.* (2003) curvas PSD-Z com essas características, estão associadas a campos de petróleo, pois este tipo de anomalia é gerado a partir da interação de ruídos sísmicos com o petróleo contido na bacia. A curva espectral V/H desta estação (Figura 3) tem um máximo em torno de 1,03 e, possui grande parte de sua amplitude acima de 1, tendo sua frequência de pico em torno de 5,83 Hz (Tabela 2). Esse comportamento espectral provavelmente está relacionado com a presença de petróleo no local. O V/H indica também um tamanho considerável da espessura do reservatório, além de convergir com o PSD-Z desta estação para um IDH na área. Na Figura 3, as áreas sombreadas em vermelho destacam a faixa de frequência de interesse. A estrela em azul destaca o ponto máximo da curva espectral

PSD-Z numa faixa de 2 – 4 Hz e Razão V/H na faixa de 2 – 6 Hz.

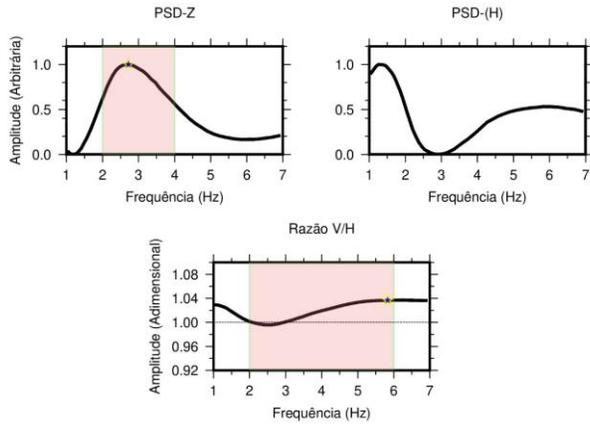


Figura 3: Atributos espectrais PSD-Z e Razão V/H da estação 9FFC.

Os parâmetros de polarização indicaram nesta estação a retilinearidade relativamente baixa, azimute instável entre 5° e 180° , possuindo mergulho médio estável em torno de $89,23^\circ$ (Figura 4). Com isso, a retilinearidade indica ausência de petróleo e os dois últimos parâmetros indicam o oposto, havendo uma divergência entre os parâmetros. Porém, analisando os parâmetros de polarização com os espectros PSD-Z e V/H, praticamente todos indicam a presença de hidrocarboneto no local. Sendo assim, este é um local promissor para produção de petróleo.

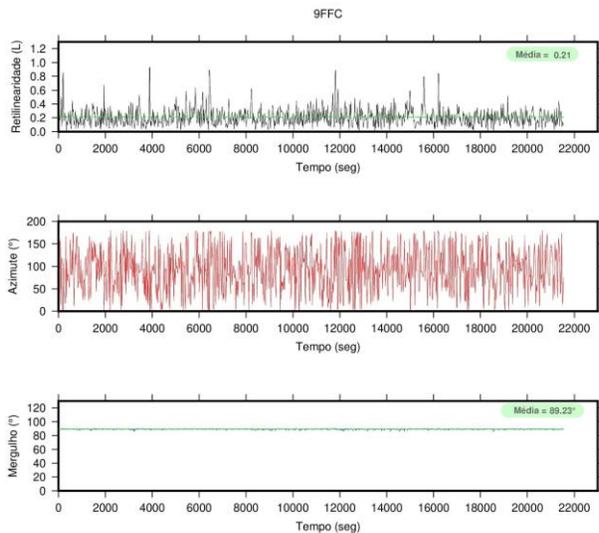


Figura 4: Atributo de polarização da estação 9FFC. Os parâmetros de Retilinearidade (L), Azimute (θ) e Mergulho (ϕ) variam de acordo com o tempo. A reta verde pontilhada indica o valor médio dos dados.

Para uma melhor visualização dos resultados dos atributos espectrais PSD-Z e V/H foram registrados de acordo com o pico da amplitude do espectro e a frequência que esse pico é dado (frequência de pico – Hz). Junto a isso, o resultado do atributo de polarização é apresentado a partir de cada parâmetro (retilinearidade, azimute e mergulho). Estes resultados são apresentados na Tabela 2. Por fim, foi feita a análise da Tabela 2 juntamente com o comportamento das curvas espectrais do PSD-Z e V/H, para que assim, pudéssemos indicar qual a possibilidade de petróleo no local das bacias. Deste modo, as estações que se encontram sobre as bacias tiveram seus atributos espectrais classificados de duas formas (Tabela 3) para atributos que indicam presença de petróleo o valor é igual a 1 e, para atributos que indicam ausência o valor é igual a 0. A partir disso, foi feita uma análise conjunta dos valores de cada atributo da Tabela 3, para identificarmos se a possibilidade de ocorrência de hidrocarboneto é muito baixa, baixa, média ou alta na área analisada.

Bacia	Estação	V/H	PSD-Z	Polarização	Possibilidade
Potiguar	9FF3	1	1	0	Média
	A066	0	1	1	Média
	9FD7	1	0	0	Baixa
Jatobá	A062	0	0	0	Muito baixa
	9FED	0	1	0	Baixa
	9FE7	0	0	0	Muito baixa
Tucano	A05F	1	1	0	Média
	9FE4	0	1	0	Baixa
	A037	1	1	1	Alta
	9FFC	1	1	1	Alta
	9F38	1	1	0	Média
	9FE9	1	0	0	Baixa
	A039	1	0	0	Baixa
	9FEF	1	0	0	Baixa
	9FD2	1	1	0	Média
9FEC	1	0	1	Média	

Tabela 3: Possibilidades de potencial de hidrocarbonetos a partir dos atributos espectrais.

Conclusões

A aplicação do método de Sísmica Passiva neste trabalho torna-se satisfatória, o método mostrou-se muito útil na exploração de hidrocarbonetos. A partir dos resultados obtidos, percebe-se uma ausência da anomalia em 3 Hz fora das bacias sedimentares. Contudo, no atributo PSD-Z está anomalia aparece sobre ambas as bacias. Portanto, provavelmente deve estar

relacionada com as características geológicas das próprias bacias. Dessa forma, os atributos V/H e de polarização foram de suma importância para entender o comportamento desse sinal anômalo quando há hidrocarboneto no local. As estações 9FF3, A066 e 9FD7 localizadas sobre a bacia do Potiguar tiveram seus atributos divergentes. Isso provavelmente está correlacionado com o longo tempo de extração de hidrocarbonetos na área, aumentando o nível de água nos reservatórios. Esta característica acaba sendo indicada pelos atributos espectrais como possibilidades média e baixa para ocorrência de hidrocarboneto (Tabela 3). As estações A062, 9FED e 9FE7 situadas sobre a bacia do Jatobá foram privadas de anomalias de hidrocarbonetos. Isso indica que esta área tem um baixo potencial de hidrocarboneto. Este fato, pode ser corroborado também pelo número de poços sobre a bacia, sendo apenas dois de exploração. Na Bacia do Tucano, em grande parte das estações analisadas quase todos os atributos de azimute e mergulho apontaram para presença de petróleo no local, sendo a retilinearidade a única divergente entre elas. O V/H dessas estações foram todas acima de 1, no entanto, não tão expressivos. As estações A037 e 9FFC destacaram-se por obter todos os atributos favoráveis a presença de petróleo no local. Dessa forma, foi possível mapear o comportamento anômalo ao longo das estações, sendo notado a diminuição da anomalia em algumas áreas da Bacia. Isso, pode estar relacionado com a espessura do reservatório. Por fim, o método de Sísmica Passiva utilizado neste trabalho mostrou-se uma alternativa barata e eficiente na exploração de petróleo. Podendo ajudar não só a encontrar possíveis áreas com hidrocarboneto, bem como, caracterizá-las, indicando os locais mais promissores para aplicação de poços.

passive seismic survey over a gas field: Analysis of low-frequency anomalies. *Geophysics*. v. 4, n. 2.

Referências

DRAGONOV, D. et al., 2007. Retrieval of reflections from seismic background-noise measurements. *Geophysical Research Letters*, v. 34, n. 4.

DANGEL, S.; Schaepman, M.E.; Stoll, E.P.; Carniel, R.; Barzandji, O.; Rode, E.D. & Singer, J.M., 2003. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. v. 128, p. 135-158.

JURKEVICS, A., 1988. Polarization analysis of three-component array data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78(5), p. 1725-1743.

LAMBERT, M. A.; Schmalholz, S. M.; Saenger, E. H. & Stainer, B., 2009. Low-frequency microtremor anomalies at an oil and gas field in Voitsdorf, Austria. *Geophysical Prospecting*, v. 57, n. 3, p. 393-411.

SAENGER, E. H., Schmalholz, S.M.; Lambert, M.; Nguyen, T.T.; Torres, A.; Metzger, S.; Habiger, R.M.; Müller, T.; Rentsch, S. & Méndez-Hernández, E., 2009. A

Bacia	Estação	Frequência de Pico PSD-Z (Hz)	Pico PSD-Z	Frequência de Pico V/H (Hz)	Pico V/H	Retililinearidade L	Azimute θ	Mergulho ϕ
A SUL DO POTIGUAR	9FF3	3,90	0,74	2,02	1,08	Relativamente baixa	Instável entre 0 e 175	72,44
	A066	2,49	1,00	5,92	0,98	Relativamente baixa	Instável entre 50 e 150	83,79
	9FD7	3,98	0,44	5,25	1,06	Baixa	Instável entre 5 e 175	20,42
A SUL DO POTIGUAR	A06C	2,45	1,00	5,83	0,98	Baixa	Instável entre 20 e 150	33,55
	A008	2,53	0,57	2,06	0,97	Relativamente alta	Instável entre 10 e 150	68,31
	A003	2,06	0,54	2,06	0,99	Baixa	Relativamente estável	55,36
A NORTE JATOBÁ	9F33	2,53	1,00	5,83	1,01	Relativamente baixa	Instável entre 5 e 160	82,98
	A000	2,28	1,00	2,06	0,99	Relativamente baixa	Instável entre 5 e 175	79,29
JATOBÁ	A062	2,06	0,49	2,06	1,01	Baixa	Instável entre 5 e 175	73,13
	9FED	3,23	0,52	5,83	1,01	Baixa	Relativamente instável entre 40 e 175	67,75
	9FE7	2,13	0,61	2,06	0,99	Relativamente alta	Relativamente instável entre 40 e 165	76
JATOBÁ - TUCANO	9FE2							
	9FF5	3,98	0,94	2,06	2,52	Relativamente baixa	Relativamente instável entre 5 e 170	80,92
	A075							
TUCANO	A05F	3,71	0,75	5,83	1,01	Baixa	Instável entre 10 e 180	71,94
	9FE4	3,98	0,76	4,73	1,04	Baixa	Instável entre 10 e 170	79,88
	A037	2,91	0,82	4,73	1,03	Baixa	Relativamente estável em 145	82,52
	9FFC	2,72	1,00	5,83	1,03	Baixa	Instável entre 5 e 180	89,23
	9F38	2,62	1,00	3,58	1,04	Baixa	Instável entre 5 e 180	71,75
	9FE9	3,23	1,00	5,83	1,01	Relativamente baixa	Relativamente instável entre 5 e 180	33,03
	A039	3,46	0,83	2,06	1,00	Baixa	Instável entre 10 e 170	73,82
	9FEF	3,12	1,00	5,83	1,04	Baixa	Relativamente instável entre 40 e 135	55,75
	9FD2	2,72	1,00	5,83	1,06	Baixa	Relativamente instável entre 20 e 150	62,36
	9FEC	2,72	1,00	4,26	1,04	Baixa	Relativamente instável entre 40 e 140	84,81
	A SUL DO TUCANO	9FEA	2,91	0,92	5,83	1,00	Baixa	Instável entre 0 e 175
9FF1		2,45	1,00	5,83	0,99	Baixa	Relativamente instável entre 0 e 150	64,21
9FD6		2,53	1,00	5,83	0,99	Baixa	Instável entre 0 e 160	62,40
9FEB		2,53	1,00	5,83	0,99	Baixa	Relativamente instável entre 10 e 160	51,03

Tabela 2: Resultados dos atributos espectrais para cada estação.