

Atributos e meta-atributos sísmicos em dados de reflexão a partir do uso de software especialista

Seismic attributes and meta-attributes in reflection data using expert software

José Anchieta Rodrigues de Melo Júnior¹; Carlos César Nascimento da Silva²; Debora do Carmo Sousa³; Emanuel Ferraz Jardim de Sá⁴; Valéria Centurion Córdoba⁵; Alexandre de Castro Medeiros⁶

¹ CPGeo, Natal/RN, Brasil. Email: joseanc.melo@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5441-3457>

² UFRN, DGEF, Natal/RN, Brasil. Email: cesar.nascimento@ufrn.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8271-4574>

³ UFRN, DG, Natal/RN, Brasil. Email: debora.sousa@ufrn.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1079-5938>

⁴ UFRN, DG, Natal/RN, Brasil. Email: emmanuel.sa@ufrn.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2612-0864>

⁵ DG, DG, Natal/RN, Brasil. Email: valeria.cordoba@ufrn.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1836-4967>

⁶ Petrobras, Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Email: alex.medeiros@petrobras.com.br
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2452-6651>

Resumo: O presente trabalho apresenta a análise de duas seções sísmicas distintas processadas com o intuito de gerar atributos e meta-atributos eficientes ao realce de feições geológicas correlatas aos elementos e processos do sistema petrolífero, estes diretamente ligados a acumulações de hidrocarbonetos. A partir do software de interpretação sísmica OpendTect, foram gerados três atributos e três meta-atributos segundo fluxo de trabalho pré-determinado. Com a interpretação sísmica dos dados, foi possível identificar uma série de feições, tanto de cunho estrutural quanto estratigráfico, que podem servir como armadilhas geológicas ou rotas de migração, além de discordâncias geológicas marcantes. De forma comparativa, os meta-atributos se apresentaram mais úteis do que os atributos por permitir o realce, em uma mesma imagem, de feições que antes eram visualizadas em imagens separadas. A execução destes processos de forma supervisionada, tecnicamente embasada, permite gerar imagens que auxiliam na minimização do risco exploratório na pesquisa de hidrocarbonetos.

Palavras-chave: atributos; meta-atributos; sísmica de reflexão

Abstract: This study presents the analysis of two distinct seismic sections processed with the objective of generating attributes and meta-attributes capable of effectively enhancing geological features associated with elements and processes of the oil system, which are directly linked to hydrocarbon accumulations. Using the seismic interpretation software OpendTect, three attributes and three meta-attributes were generated following a predefined workflow. Seismic interpretation of the data enabled the identification of various features of both structural and stratigraphic nature, which may serve as geological traps or migration pathways, as well as prominent geological unconformities. Comparatively, meta-attributes proved more effective than individual attributes by allowing the enhancement of multiple features within a single image that previously required separate visualizations. The supervised and technically grounded application of these processes facilitates the generation of images that support the reduction of exploratory risk in hydrocarbon prospecting.

Keywords: attributes; meta-attributes; reflection seismic

Recebido: 05/06/2025; Aceito: 28/08/2025; Publicado: 29/08/2025.

1. Introdução

Na sociedade atual, a indústria de exploração e produção de hidrocarbonetos atua como um dos grandes motores dos desenvolvimentos tecnológico e econômico mundiais. Este setor engloba diversas faces do conhecimento científico em áreas que vão desde a exploração desse recurso mineral até a fabricação de refinados utilizados no dia a dia nos mais diferentes campos de atuação. Devido ao fato de as reservas de hidrocarbonetos estarem localizadas em subsuperfície, se faz necessária a utilização de métodos investigativos capazes de encontrá-las de forma eficiente e financeiramente viável. Esta etapa em específico, conhecida como fase exploratória, conta com a participação de áreas das geociências como a geofísica e a geologia.

Dentre estas, a geofísica voltada para exploração é uma ciência que utiliza métodos de investigação indiretos, por vezes com sensores dispostos na subsuperfície, buscando o imageamento de reservatórios naturais de forma não invasiva. Geralmente, os métodos incluem medidas de propriedades físicas, tais como a resistividade elétrica, o magnetismo, a gravidade, a impedância acústica, *etc.* No que diz respeito à exploração de hidrocarbonetos, o método mais utilizado é a sísmica de reflexão, por fornecer uma alta definição de estruturas geológicas em subsuperfície que são favoráveis à acumulação de hidrocarbonetos com boa razão custo-benefício no que diz respeito à profundidade de investigação e às resoluções sísmicas horizontal e vertical (Thomas, 2001). Esse método pode ser dividido em três etapas que devem ser integradas entre si e correlacionadas com o conhecimento geológico da área, denominadas: aquisição, processamento e interpretação. O presente trabalho tem foco nas etapas de processamento (especificamente na fase pós-empilhamento) e de interpretação, atuando na análise do sinal sísmico objetivando a geração de atributos e meta-atributos diversos, com base na análise de duas seções sísmicas marítimas.

De forma geral, os atributos sísmicos têm a função de realçar feições geofísico-geológicas de interesse e podem ser descritos como “toda informação obtida em dados sísmicos, tanto por medidas diretas quanto por razões lógicas ou experiência” (Taner, 2001). Meta-atributo, por sua vez, refere-se à combinação de dois ou mais atributos. O principal objetivo deste estudo foi realçar determinadas feições com o uso do software especialista focado em interpretação sísmica, de licença *open source*, chamado OpendTect (da Empresa dGB Earth Sciences), determinando fluxos de trabalho na geração de atributos e de meta-atributos aptos à ênfase de feições geofísico-geológicas que indiquem características dos elementos e/ou processos do sistema petrolífero. Estas informações denotam características importantes para, por exemplo, mitigar o risco exploratório na pesquisa de hidrocarbonetos.

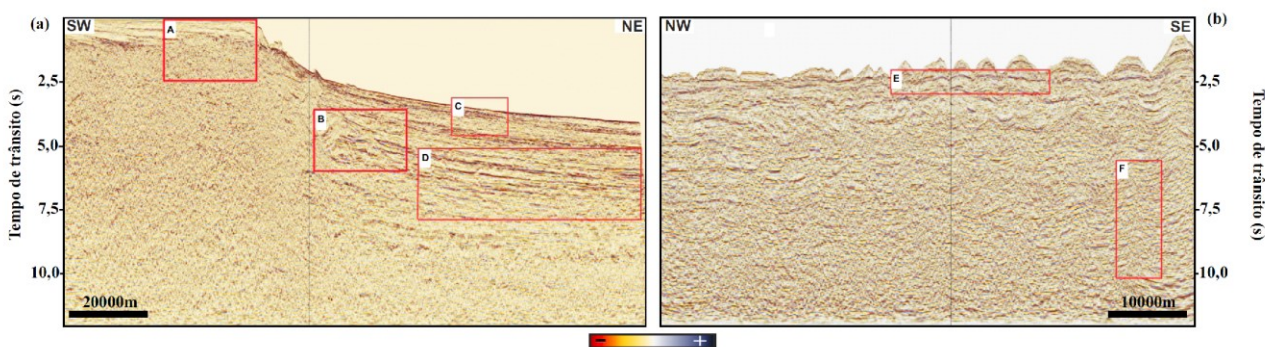


Figura 1 – Dado em amplitude das seções sísmicas marítimas 1 (a) e 2 (b) com detalhes das áreas, A, B, C, D, E e F, nas quais foram identificadas feições geológicas de interesse (interpretadas em figuras subsequentes). Maiores detalhes no texto.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

2. Metodologia

O método sísmico de reflexão consiste na investigação da subsuperfície por meio da propagação de ondas sísmicas geradas artificialmente, as quais podem ser geradas por fontes explosivas ou por *vibroseis*, em aquisições terrestres, ou ainda por *air guns*, nas aquisições marítimas. Na sísmica de reflexão, as ondas geradas pelas fontes se propagam pelo

substrato geológico e sofrem reflexão ao entrar em contato com interfaces que separam camadas com impedâncias contrastantes. A impedância é uma propriedade de camada determinada pelo produto da densidade do meio com a velocidade de propagação da onda compressional no mesmo, em nosso caso, tratado como impedância acústica. Quanto maior for o contraste de impedância, maior será o módulo da propriedade de interface denominada de coeficiente de reflexão e, proporcionalmente, maior será a energia refletida. As ondas refletidas são captadas por receptores chamados de geofones, quando em terra, e hidrofones, quando em mar. Esses receptores ficam posicionados na superfície (ou próximos a ela) e registram as respostas sísmicas, as quais são armazenadas na forma de amplitudes de ondas ao longo de intervalos de tempo pré-definidos por equipamentos denominados sismógrafos.

O processamento sísmico visa a transformação do dado adquirido em campo numa imagem o mais fidedigna possível da realidade geológica local. Para tanto, é feito o uso de diversos algoritmos matemáticos que visam, dentre outros aspectos, melhorar a razão sinal/ruído e aumentar as resoluções vertical e horizontal do dado, destacando, desta forma, feições geológicas de interesse. O fluxo de processamento sísmico pode ser organizado de acordo com o contexto geológico no qual o dado foi obtido, havendo diferenças no fluxograma para dados terrestres e marítimos, além de variações nas parametrizações das etapas de processamento de acordo com as próprias especificidades do dado. O dado sísmico denominado de “empilhado” (e migrado) já é útil ao trabalho interpretativo. Adicionalmente, ao final, processos podem ser executados para melhorar ainda mais a imagem sísmica resultante.

A interpretação é a etapa onde busca-se correlacionar os dados sísmicos processados com o próprio arcabouço geológico existente, a fim de tentar construir um modelo representativo para a área de estudo. A interpretação com a conotação sísmica pode ser dividida, por exemplo, em estrutural e estratigráfica. A interpretação estrutural visa a identificação de estruturas geológicas que representem a geometria de falhas, dobras, fraturas, dentre outros elementos estruturais. A estratigráfica, por sua vez, relaciona-se ao entendimento do processo deposicional dos estratos e suas relações genéticas e cronológicas ao longo do tempo geológico. A interpretação sísmica muitas vezes se apresenta como um processo de alta complexidade uma vez que a experiência do profissional (a exemplo do que ocorre na aquisição e no processamento) pode representar ambiguidades, segundo as quais diferentes respostas interpretativas podem ser representativas ou condizentes ao mesmo dado. Sendo assim, é importante sempre atentar-se a dados adicionais à interpretação sísmica, tais como informações advindas de poços ou estudos pré-existentes na área trabalhada, a fim de obter uma maior confiabilidade de informação e minimizar o risco exploratório.

Taner (2001) descreve atributos sísmicos como sendo “quaisquer informações obtidas em dados sísmicos”. Os atributos sísmicos podem ser descritos como medidas quantitativas das características sísmicas que podem ser relacionadas a feições geológicas de interesse, sendo estes amplamente utilizados na indústria de óleo & gás para identificação e caracterização de reservatórios de hidrocarbonetos, por exemplo.

Ao longo do tempo, foram feitas diversas classificações de atributos sísmicos. Este trabalho irá utilizar a classificação proposta por Brown (2004), a qual classifica os atributos, de forma geral, com base nas informações do tempo, da frequência, da amplitude e da atenuação, dividindo cada classificação em pré e pós-empilhamento, logo após, seguido por diversas outras classes mais específicas de atributos. Segundo Brown (2011), atributos derivados do dado sísmico podem fornecer informações de cunho estrutural em subsuperfície, enquanto os de amplitude podem ser utilizados para obter informações estratigráficas e mais específicas de reservatórios; atributos de frequência e de atenuação podem fornecer informações estratigráficas e de permeabilidade, respectivamente.

No contexto dos atributos sísmicos aqui utilizados, podem ser citados:

- (a) similaridade: como o próprio nome sugere, retorna as similaridades entre os traços sísmicos em uma janela de tempo pré-estabelecida. Este atributo expressa o quão parecido um traço é dos demais, sendo representado em uma escala de 0 a 1, onde 1 indica total similaridade entre os traços e 0 indica uma não similaridade (Brouwer e Huck, 2011). O atributo fornece um ótimo realce em feições estruturais no dado sísmico, como falhas e fraturas, além de ser útil para identificar mudanças de geometria relacionadas à estratigrafia. Segundo Fontes (2018), na similaridade, as amostras dos traços podem ser consideradas componentes de um vetor em um hiperespaço, podendo ser definida de acordo com as suas próprias distâncias;
- (b) energia: calcula a soma quadrática de valores de amostras em uma janela de tempo pré-estabelecida, a qual é dividida pelo número de amostras nessa janela. Dessa forma, o atributo de energia é uma medida proporcional à refletividade, de modo que quanto maior a energia, maior a amplitude (ALBUQUERQUE, 2018). Tal atributo pode fornecer informações sobre variações laterais nos eventos sísmicos, detecção de chaminés de gás, caracterização das propriedades acústicas das rochas e identificação de espessura de camadas;
- (c) Pseudo relevo: originalmente descrito como “Técnica de Volume de Amplitude (TecVA)” (BULHÕES & AMORIM, 2005), esse atributo faz um cálculo da média quadrática em uma janela que se move no tempo.

Segundo Bulhões & Amorim (2005), para calcular este atributo é necessário utilizar o conceito de sismocamada elementar, que é a camada com menor espessura que o dado sísmico consegue identificar, de forma que a definição de topo e base dessa sismocamada é o que compõe a janela de tempo que será utilizada para definir o número de amostras para calcular a média móvel para o traço sísmico. O atributo é formado a partir de duas operações, sendo a primeira, o cálculo da amplitude RMS, ou valor do traço absoluto, para obtenção da amplitude instantânea, tomando por base a janela definida por dois tempos definidos pelo conceito da sismocamada elementar. A segunda operação envolve a aplicação da transformada de Hilbert com o objetivo de rotacionar a fase do traço de amplitude RMS;

Foram realizados diversos testes com diferentes atributos utilizando o software OpendTect, comparando a cada interação os dados de entrada e de saída, selecionando aqueles mais adequados a cada caso. Dentre os atributos, foram escolhidos três (energia, pseudo relevo e Similaridade), além de gerar três meta-atributos a partir da ponderação e da combinação entre estes e o próprio dado de amplitude original. Esse processo foi executado utilizando a função *mathematics* no OpendTect, ponderando via algoritmo a união dos mesmos de forma a criar equações representativas que forneciam uma melhoria nos próprios pontos fortes dos atributos isolados. Todos os parâmetros utilizados na definição dos atributos foram computados através de uma série de testes que envolvem tanto ponderações com intenções específicas quanto ponderações através da estratégia de “tentativa e erro”. As ponderações que apresentaram melhores resultados, tanto na utilização de atributos quanto na geração de meta-atributos, podem ser observadas na tabela 1:

Tabela 1 – Parâmetros utilizados nos atributos simples e equações utilizadas nos meta-atributos.

| ATRIBUTOS | | | | | |
|-----------------|--|--------------------|-------------------|---------|----------|
| Nome | Janela De Tempo (Ms) | Computar Gradiente | Extensão | Stepout | Steering |
| Amplitude | - 4 : + 4 | -- | -- | -- | -- |
| Energia | - 8 : + 8 | Sim | -- | -- | -- |
| Similaridade | - 8 : + 8 | -- | Todas as direções | 4 | Não |
| Pseudo relevo | - 1 : + 1 | -- | -- | -- | -- |
| META-ATRIBUTOS | | | | | |
| Meta-atributo 1 | Meta 1 = Amplitude + sqrt(Pseudo relevo) | | | | |
| Meta-atributo 2 | Meta 2 = Amplitude^Energia | | | | |
| Meta-atributo 3 | Meta 3 = Amplitude/(Similaridade^3) | | | | |

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3. Resultados

Os resultados da pesquisa envolvem as supracitadas fases de geração de atributos e, posteriormente, a combinação e ponderação na produção dos meta-atributos. Desta forma:

3.1 – Dado de amplitude

Neste atributo (Figura 1), as seções sísmicas foram divididas em áreas nas quais foram identificadas feições geológicas de interesse. Neste contexto, a seção 1 (Figura 1a) possui quatro áreas denominadas de A, B, C e D. A área A (figuras 2a e 2a'), contém uma sequência de falhas com rejeito normal próximas à quebra do talude. A área B, figuras 2b e 2b', contém três feições de interesse denominadas de 1, 2 e 3, sendo elas uma falha reversa, uma falha de rejeito normal e um acunhamento de camada (ou *pinch-out*), respectivamente. A área C (figuras 2c e 2c'), também apresenta um acunhamento de camada e a área D (figuras 2d e 2d'), apresenta uma série de refletores plano-paralelos, podendo ser observados nas figuras 16 e 18, respectivamente. Já na seção 2 (vide Figura 1b) são destacadas duas áreas denominadas de E e F. Por

apresentar baixa razão sinal-ruído, não foi possível identificar muitas feições geológicas com bom caráter sísmico. Porém, na área E, podem ser visualizados refletores sinuosos, os quais são realçados através dos atributos e meta-atributos gerados, descritos mais adiante. Além disso, na área F é possível notar diversas hipérboles que também foram realçadas por um meta-atributo. Estas hipérboles podem ser importantes no contexto geológico tanto como sinal, por ventura associando-as a feições de interesse, mas também podem ser fruto de um processamento sísmico inadequado ou não tão eficiente, sendo consideradas, neste caso, como ruído. Desta forma, a identificação destas feições e o seu realce são importantes do ponto de vista de ambiguidade interpretativa.

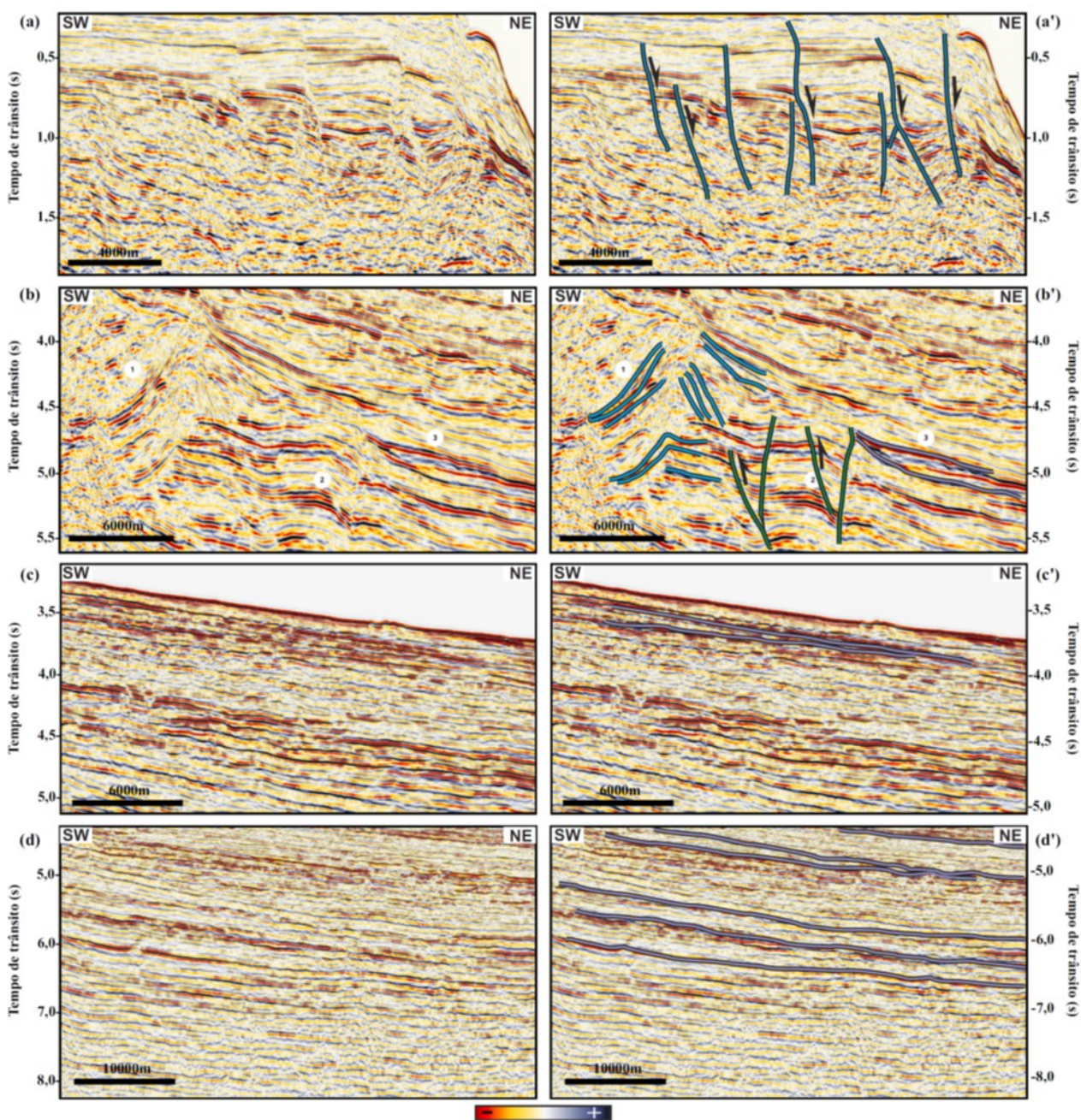


Figura 2 – Detalhe dos retângulos A, B, C e D destacados na seção 1 (Figura 1a), respectivamente aos pares “(a)/(a’), (b/b’), (c/c’) e (d/d’), indicando as seções não interpretada (coluna esquerda) e interpretada (coluna direita). Números 1, 2 e 3 em (b)/(b’) indicam feições de interesse descritas no texto. Traços azuis em (a’) e (b’) representam falhas normais; traço verde em (b’) indica falha reversa/inversa; traços lilás, em (c’) e (d’) indicam feições de acunhamento. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2 – Pseudo relevo e Meta-atributo 1

Os destaques ao atributo de pseudo relevo e ao meta-atributo 1 estão no realce das feições presentes nos detalhes B e C, da seção 1, bem como nos refletores sinuosos da seção 2, que podem ser observados nas figuras 3 e 4. É possível observar que refletores de alta energia já são bem enfatizados no atributo de pseudo relevo, o que permite que feições como os acunhamentos das áreas B e C fiquem mais proeminentes, facilitando a sua visualização. Porém, como é possível observar na Figura 3, feições como as falhas reversa (1) e normal (2) são esmaecidas. De maneira satisfatória, ao comparar o atributo de pseudo relevo com o meta-atributo 1 ($\text{amplitude} + \sqrt{\text{pseudo relevo}}$), percebe-se que esta deficiência é corrigida, pois o meta-atributo consegue recuperar informação dos refletores adjacentes, tornando possível tanto o realce das feições estratigráficas, quanto as feições de cunho estrutural. Da mesma forma que no detalhe da área C (figuras 3c, 3c’, 3d e 3d’), a melhoria da continuidade de refletores proporcionada pelo meta-atributo 1 permite definir melhor o adelgaçamento dos refletores que caracterizam o acunhamento.

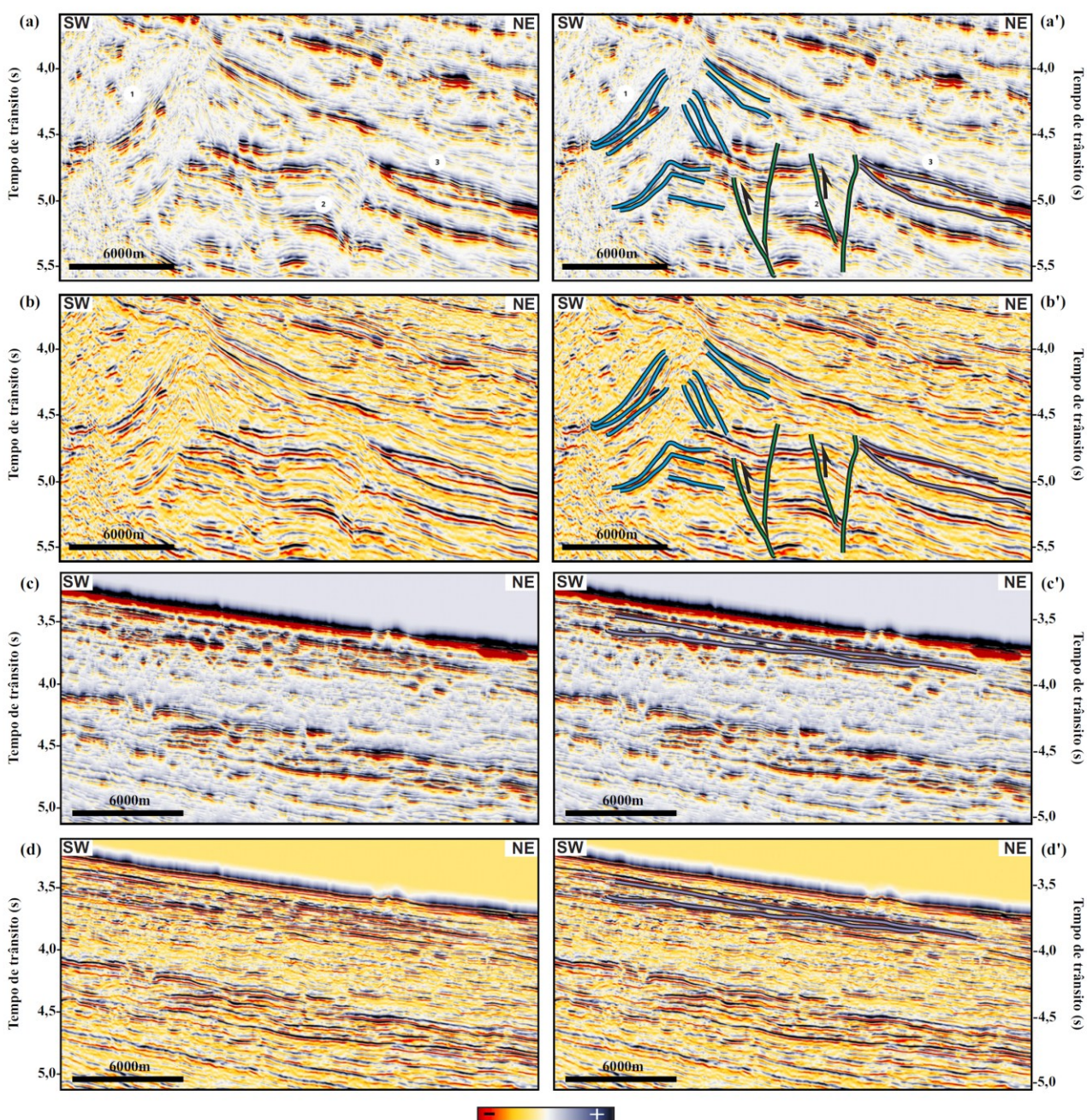


Figura 3 – Detalhe dos retângulos B e C destacados na seção 1 (vide dado em amplitude Figura 1a). (a')/(a') e (b)/(b') ilustram, respectivamente, o atributo de pseudo relevo e o meta-atributo 1 ao quadro B. Da mesma forma, pares (c)/(c') e (d)/(d'), ilustram a aplicação destes atributos, porém ao retângulo C. Coluna da esquerda representam dados não interpretados; coluna da direita, com ('), indicam seções interpretadas. Traços azuis em (a') e (b') representam falhas normais; traço verde em (b') indica falha reversa/inversa; traços lilás, em (c') e (d') indicam feições de acunhamento.
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No que diz respeito à seção 2 (vide Figura 1b), o atributo de pseudo relevo (figuras 4a e 4a') foi efetivo para realçar os refletores sinuosos da área E, bem como o meta-atributo 1 conseguiu não só realçar um pouco mais estas feições, mas

também definir melhor os “sorrisos” de hipérboles definidos como ruído (área F) presentes no dado, como pode ser observado na Figura 4.

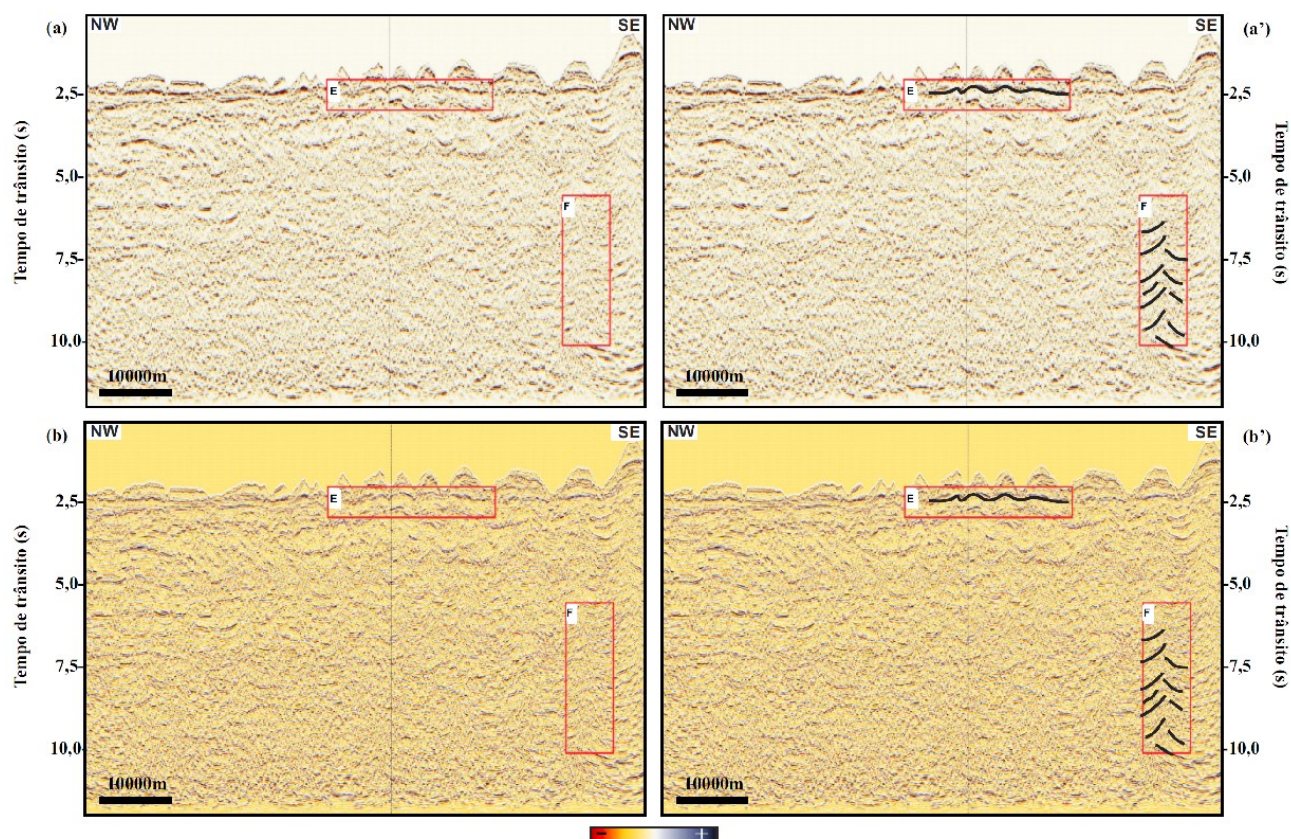


Figura 4 – Aplicação dos atributos pseudo relevo (par (a)/(a')) e meta-atributo 1 (par (b)/(b')) à linha sísmica 2 (vide dado original na Figura 1b). Coluna da esquerda representam dados não interpretados; coluna da direita, com ('), indicam seções interpretadas. Traços pretos em E representam refletos ondulados provavelmente como efeito da propagação da sinuosidade do substrato oceânico, enquanto que em F, representam feições hiperbólicas interpretadas como ruído.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.3 – Energia e Meta-atributo 2

Os destaques aos atributos de energia e meta-atributo 2 estão nos retângulos das áreas B e D da seção sísmica 1 (Figura 5). De maneira similar ao atributo de pseudo relevo, o atributo de energia (figuras 5a, 5a') também permite realçar refletos de alta energia, de forma a esmaecer os arredores dos mesmos ao mesmo tempo que os realçam. Também é possível perceber que a feição de acunhamento está sendo imageada de maneira satisfatória, enquanto as falhas reversas (1) e normal (2) continuam esmaecidas. Porém, ao utilizar o meta-atributo 2 (amplitude^{energia}), figuras 5b e 5b', a geometria das mesmas é quase perfeitamente definida, de forma que é possível visualizar a grande maioria dos refletos de maneira isolada devido ao aumento da continuidade dos mesmos. Também, devido ao incremento na visualização dos refletos em função do meta-atributo 2, é possível identificar refletos plano-paralelos apresentado no detalhe da área D (figuras 5d e 5d'), o que não era possível no atributo de energia, pois o mesmo só destacava os refletos de maior energia de reflexão (figuras 5c e 5c').

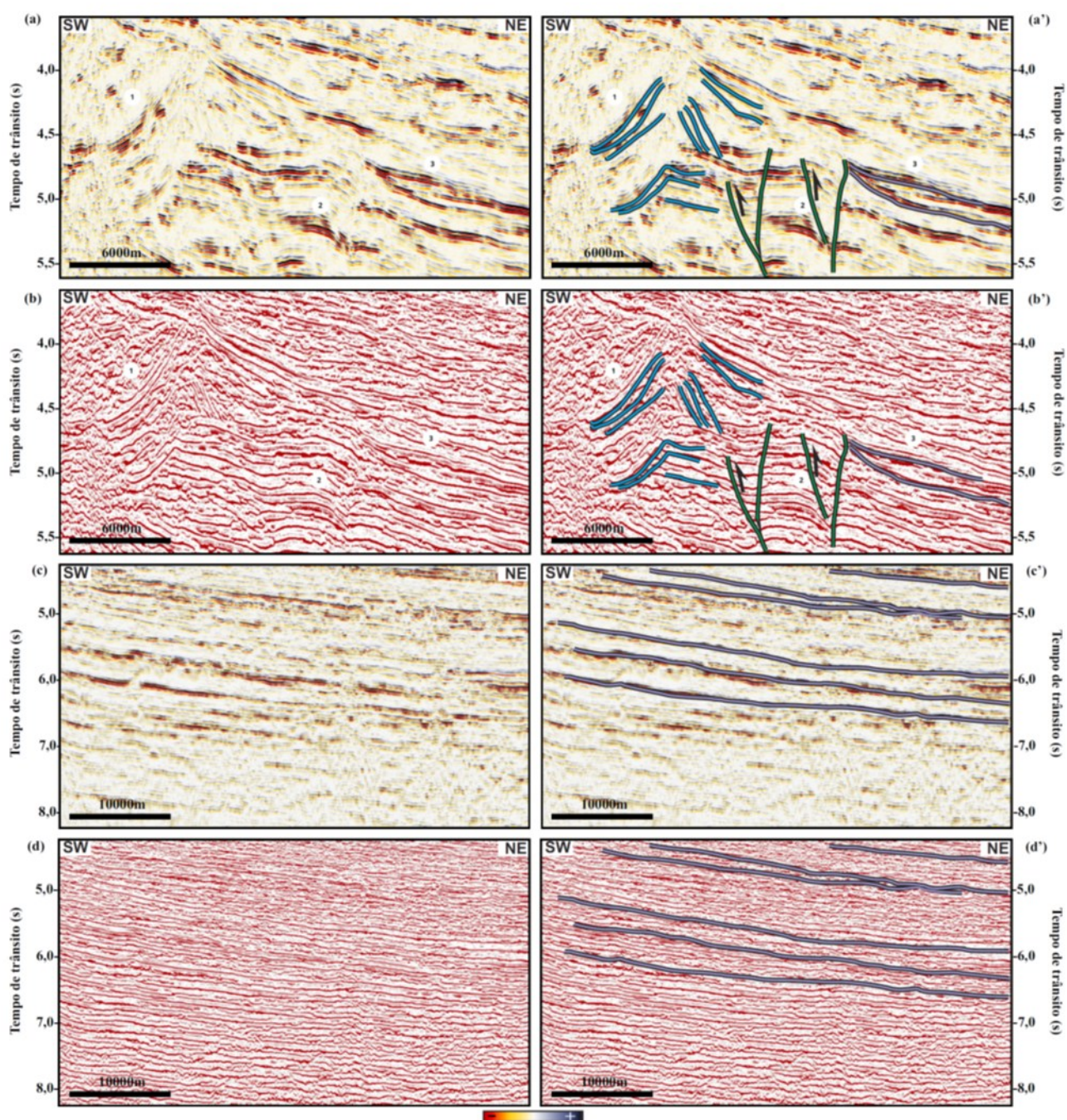


Figura 5 – Detalhe dos retângulos B e D destacados na seção 1 (vide dado em amplitude Figura 1a). (a')/(a') e (b)/(b') ilustram, respectivamente, o atributo de energia e o meta-atributo 2 ao quadro B. Da mesma forma, pares (c)/(c') e (d)/(d'), ilustram a aplicação destes atributos, porém ao retângulo D. Coluna da esquerda representam dados não

interpretados; coluna da direita, com ('), indicam seções interpretadas. Traços azuis em (a') e (b') representam falhas normais; traço verde em (b') indica falha reversa/inversa; traços lilás, em (c') e (d') indicam feições de acunhamento. Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.4 – Similaridade e Meta-atributo 3

Os destaques ao atributo de similaridade estão na melhoria de visualização de feições nos detalhes das áreas A e B, da seção 1, bem como na visualização das hipérboles conhecidas informalmente como “sorrisos de migração”, no detalhe da área B, da seção 2 (Figura 6). Analisando a Figura 6 é possível perceber a grande diferença entre o atributo de similaridade e o meta-atributo 3. No atributo de similaridade as feições semelhantes a falhas são imageadas de maneira satisfatória, onde é possível distingui-las facilmente de outras informações apresentadas pelo atributo (vide coluna da direita na Figura 6). Porém, ao utilizar o meta-atributo 3 ($\text{amplitude}/(\text{similaridade}^3)$) percebe-se, realmente, a visualização dos refletores que são seccionados por essas falhas (figuras 6b, 6b', 6d e 6d'), de maneira que o rejeito normal da falha fica nitidamente determinado. Além de melhorar a visualização de feições estruturais, como as falhas analisadas até então, o meta-atributo 3 ainda consegue realçar tanto a feição de acunhamento, quanto a falha reversa presentes na área B da seção 1 (figuras 6d e 6d').

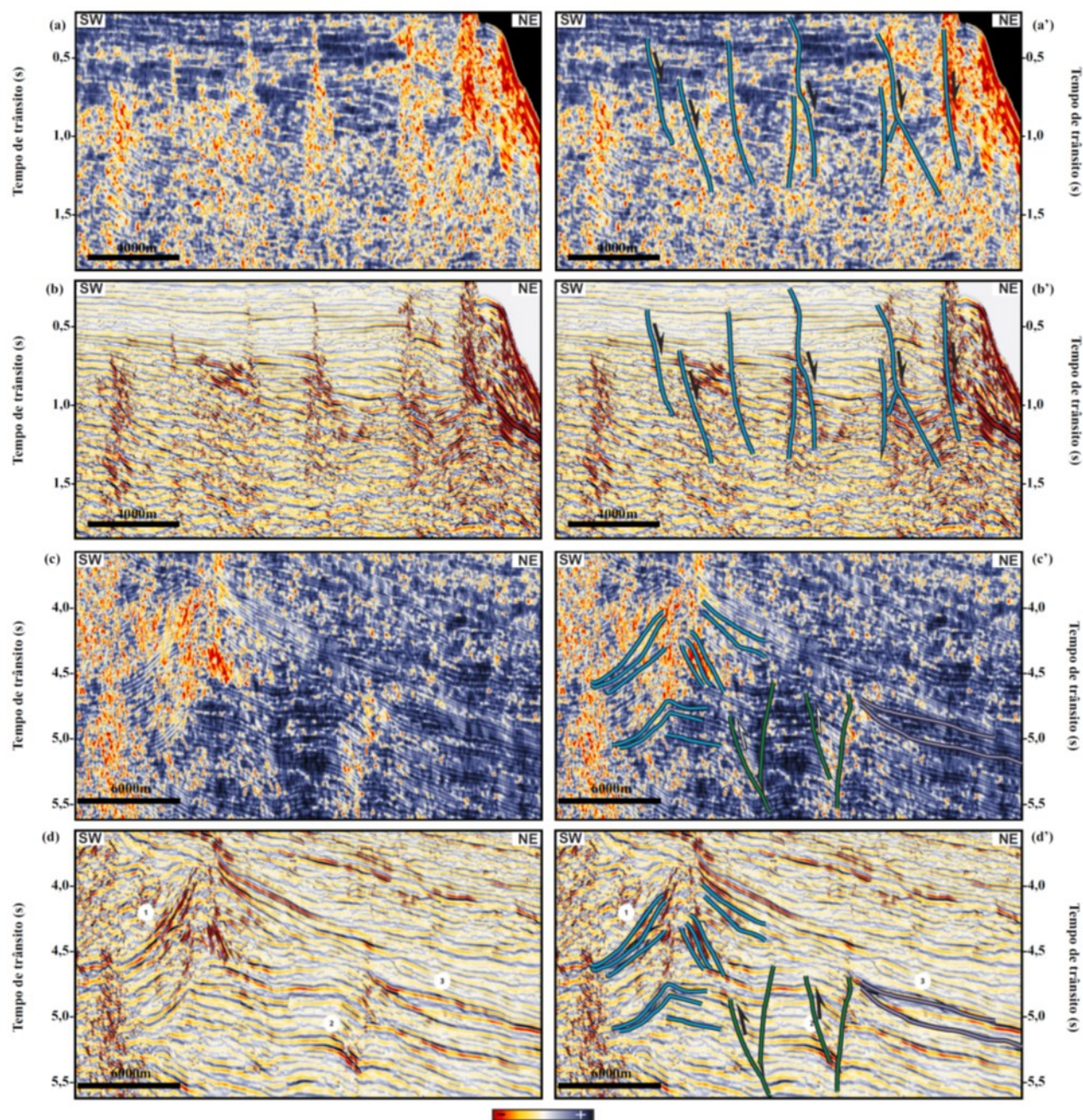


Figura 6 – Detalhe dos retângulos A e B destacados na seção 1 (vide dado em amplitude Figura 1a). (a')/(a') e (b')/(b') ilustram, respectivamente, o atributo de similaridade e o meta-atributo 3 ao quadro A. Da mesma forma, pares (c')/(c') e (d')/(d'), ilustram a aplicação destes atributos, porém ao retângulo B. Coluna da esquerda representam dados não interpretados; coluna da direita, com ('), indicam seções interpretadas. Traços azuis em (') representam falhas normais; em (c' e d'), traço verde indica falha reversa/inversa e traços lilás, feições de acunhamento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No que diz respeito à seção 2, o meta-atributo 3 teve uma atuação diferente. Como é possível observar na Figura 7, as características realçadas dessa vez são as hipérboles interpretadas como ruídos no dado. Conseguir realçar ruídos não é de tudo ruim, pois permite confirmar a ambiguidade inerente ao processo interpretativo, neste caso exemplificada pela indiscriminação das feições de interesse. Neste caso, especificamente, tais hipérboles são comuns em dados que, na fase de processamento, utilizaram um campo de velocidades inadequado (maior do que o devido), o que faz sentido nesta situação pois a variação lateral de velocidades provocada pela própria morfologia do substrato oceânico (altos e baixos relativos) provoca sinuosidades em refletores que não devem ser associadas ao contexto geológico. Ter essas informações em mente aliadas à confirmação feita pelo meta-atributo 3 de que o dado é extremamente ruidoso, auxilia na diminuição da ambiguidade interpretativa.

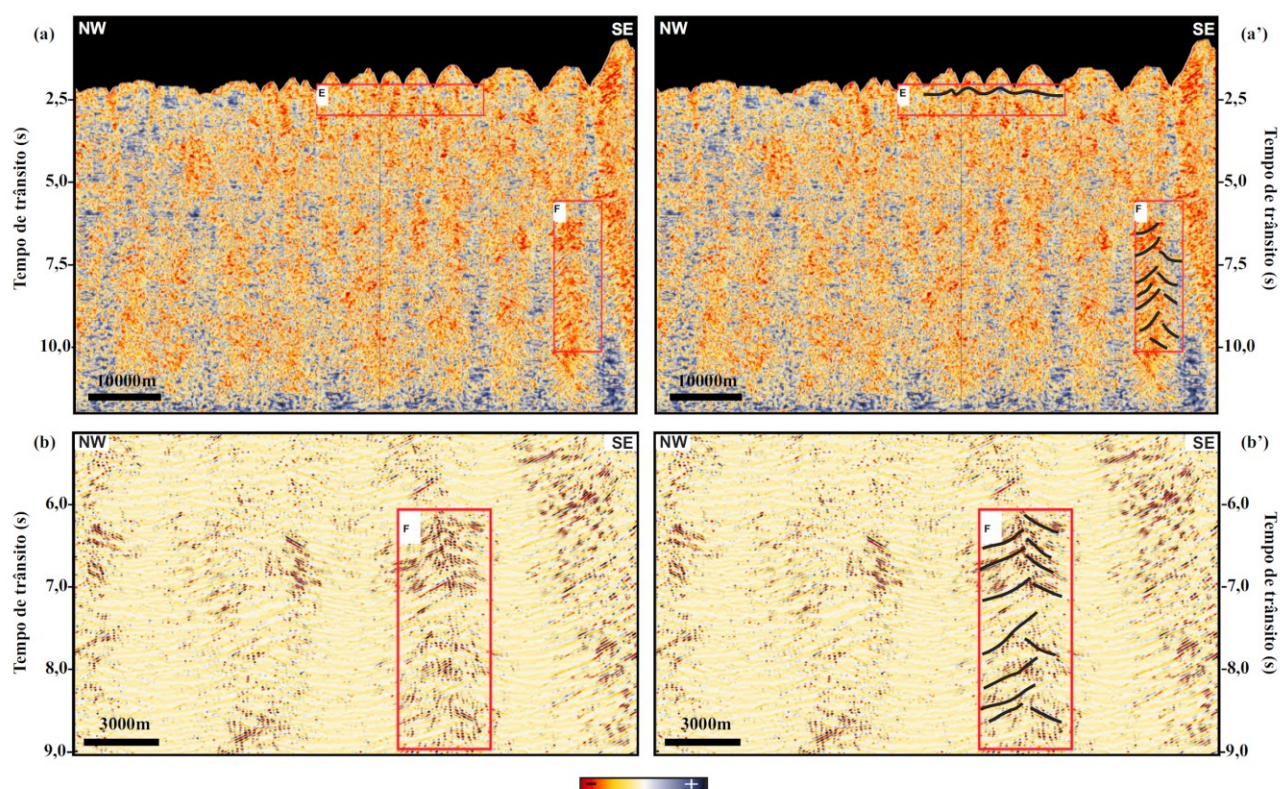


Figura 7 – Detalhe dos retângulos E e B destacados na seção 1 (vide dado em amplitude Figura 1a). (a')/(a') e (b)/(b') ilustram, respectivamente, o atributo de similaridade e o meta-atributo 3 ao quadro A. Da mesma forma, pares (c)/(c') e (d)/(d'), ilustram a aplicação destes atributos, porém ao retângulo B. Coluna da esquerda representam dados não interpretados; coluna da direita, com ('), indicam seções interpretadas. Traços azuis em (') representam falhas normais; em (c' e d'), traço verde indica falha reversa/inversa e traços lilás, feições de acunhamento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4. Considerações finais

A partir do trabalho desenvolvido é possível citar algumas considerações. Primeiramente, as melhores respostas apresentadas pelo atributo de pseudo relevo foram nas áreas B e C da seção sísmica 1 e área A da seção sísmica 2, onde são enfatizados os principais refletores, além do esmaecimento de refletores adjacentes. Na seção sísmica 2, este atributo possui o mesmo comportamento. Já o meta-atributo 1 consegue superar as deficiências apresentadas pelo atributo de pseudo relevo ao mesmo tempo que reforça outras feições geológicas de interesse. O atributo de energia, assim como o de pseudo relevo, permite realçar algumas feições pontuais, como é o caso dos acunhamentos encontrados na seção 1 (em casos específicos, podendo funcionar como trapas estratigráficas, por exemplo), os refletores sinuosos da seção 2, bem como alguns refletores plano-paralelos de maior energia de reflexão presentes na seção 1. Porém, não é eficiente ao realçar feições como as falhas reversas e normais existentes na seção 1. O meta-atributo 2, por sua vez, apresenta a capacidade de delimitar a grande maioria dos refletores em quaisquer uma das seções analisadas, com principal característica na melhoria da continuidade dos refletores. O atributo de similaridade, por sua vez, se mostra interessante ao realçar as falhas presentes nas áreas A e B da seção sísmica 1 (no contexto do sistema petrolífero, rotas preferenciais à migração de fluidos) porém, esmaece outras feições de cunho estratigráfico. Já o meta-atributo 3 consegue, de maneira satisfatória, incrementar as qualidades apresentadas pelo atributo de similaridade ao mesmo tempo que possibilita a visualização e definição das outras feições visualizadas na seção sísmica 1, além de possibilitar definir o rejeito aparente das falhas normais ao evidenciar os refletores adjacentes, na forma de atuarem como marcadores cinemáticos. De modo satisfatório, este atributo também auxilia na mitigação da ambiguidade interpretativa da seção 2 ao realçar as hipérboles comumente denominadas de sorrisos de migração. Por fim, percebe-se a eficiência em utilizar um software especialista no realce de feições geológicas de interesse, principalmente no que tange à melhoria do imageamento sísmico na fase de processamento pós empilhamento, culminando na definição de elementos do sistema petrolífero, desta forma, assessorando ao processo geral de interpretação, tornando possível minimizar o risco exploratório na exploração de hidrocarbonetos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto de Pesquisa (UFRN-Petrobras) “Análise tectono-estratigráfica da seção aptiana-maastrichtiana no setor entre as bacias de Barreirinhas, Pará-Maranhão, Grajaú e o Sistema de Grabens Gurupi, Norte-Nordeste do Brasil.” pela disponibilização dos dados sísmicos. Agradecem ainda aos revisores anônimos pelas sugestões e contribuições.

Referências

- ALBUQUERQUE, F. R. Uso de atributos para o realce de eventos de difração em imagens de GPR no domínio do offset comum. Natal, 2018. Dissertação (Mestrado em Geofísica). Programa de Pós Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/26272/1/Usoatributosrealce_Albquerque_2018.pdf
- BROUWER, F.; HUCK, A. An Integrated Workflow to Optimize Discontinuity Attributes for the Imaging of Faults. Attributes : In: MARFURT, K. J.; GAO, D.; BARNES, A.; CHOPRA, S.; CORRAO, A.; HART, B.; JAMES, H.; PACHT, J.; ROSEN, N. C. New views on Seismic Imaging – Their Use in Exploration and Production. Texas: SEPM Society for Sedimentary Geology, 2011. p. 496-533. <https://doi.org/10.5724/gcs.11.31.0496>
- BROWN, Alistair R. **Interpretation of three-dimensional seismic data**. 6. ed. Tulsa/Okalahoma: AAPG/SEG, 2004. xiv, 514 p. (AAPG memoir seg investigations in geophysics 9, 42) ISBN: 0891813640.

BROWN A. R. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. 7th. Tulsa/Oklahoma: Society of Exploration Geophysicists (SEG) e American Association of Petroleum Geologists (AAPG), 2011. v. 42, 646p

Bulhões, E. M.; Amorim, W. N. de Princípio da sismocamada elementar e sua aplicação à Técnica Volume de amplitudes (TecVA). 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. European Association of Geoscientists & Engineers, P. cp-160-00352, 2005. <https://doi.org/10.1190/sbgf2005-275>

FONTES, P. H. L. O uso de atributos sísmicos na delimitação da rocha geradora da região do Baixo de Miranga – Bacia do Recôncavo. Salvador, 2018. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em geofísica). Curso de Geofísica, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2018. Disponível em: <http://www.cpgg.ufba.br/gr-geof/geo213/trabalhos-graduacao/Paloma-Fontes.pdf>

Taner, M. T.; Seismic Attributes. Canadian Society of Exploration Geophysicists, v. 26, n. 7, 2001. Disponível em: <https://csegrecorder.com/articles/view/seismic-attributes>

Thomas, J. E., Triggia, A. A. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro, BR: Editora Interciência, 2001. 26-42p. ISBN: 8571930996