

INTEGRAÇÃO DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO E SÍSMICA 3D NA ANÁLISE ESTRUTURAL NA BACIA DO RECÔNCAVO – BAHIA.

RENATA DOS SANTOS ALVARENGA¹ (UFRGS), CLAITON MARLON DOS SANTOS SCHERER¹ (UFRGS), JULIANO KUCHLE¹ (UFRGS-ANP-PRH12)

¹ Universidade Federal do RS – UFRGS – Instituto de Geociências
Av. Bento Gonçalves, 9500 – 91509900 – Porto Alegre – RS, Brasil
renatalvarenga@yahoo.com.br
claiton.scherer@ufrgs.br
julianokuchle@yahoo.com.br

Nas últimas décadas, ferramentas como a sísmica 3D e o sensoriamento remoto (SR), vêm possibilitando uma interpretação mais completa da evolução geológica de uma bacia sedimentar. Neste contexto, a integração de dados obtidos no mapeamento de seções sísmicas com os produtos gerados no sensoriamento remoto, como os modelos digitais de terreno (MDT) por radar SRTM, possibilita uma interpretação muito mais consistente do que utilizando estas ferramentas isoladas. Em bacias sedimentares, a utilização integrada de dados SR e sísmicos permite a obtenção de resultados indispensáveis para a investigação e elaboração de um modelo estrutural. Porém, na área de estudo, a baixa qualidade da sísmica dificulta o mapeamento das falhas, e a utilização dos dados de SR, permitiu um suporte para a interpretação das falhas nos dados sísmicos. A área de estudo está localizada no compartimento central da Bacia do Recôncavo, Bahia – Brasil. A área abrangente é de 616 Km² sendo atualmente produtora de gás. A Bacia do Recôncavo representa a parte norte de um sistema de riftes cretácicos implantado ao longo da atual região costeira do Brasil e que precedeu a abertura do Oceano Atlântico. A metodologia aplicada iniciou com a geração de mapas de sombra de relevo (dados de MDT), nos quais, aplicaram-se filtros de iluminação direcional realçando e evidenciando os lineamentos nas direções nordeste, noroeste, norte-sul e leste-oeste. Foram traçados 974 lineamentos com tamanho médio aproximado de 575m e com a elaboração de diagramas de rosetas, identificou-se a direção predominante dos lineamentos. Para a quantificação e individualização dos principais *trends* de concentração de lineamentos, realizou-se mapas de frequência com células de 500 metros e de 1000 metros, e posteriormente correlacionadas com as seções sísmicas. Os lineamentos nordeste apresentaram a maior contribuição, 33% dos lineamentos e os noroeste com 30%. Os *trends* observados nos mapas de frequência de lineamentos foram transferidos para os dados sísmicos. Com isso, foram identificadas falhas tectônicas nos dados sísmicos muito próximas e compatíveis com o comportamento dos *trends* mapeados, mostrando uma clara correlação dos dados estruturais observados na superfície com os dados sísmicos em sub-superfície. Portanto, analisando o terreno em superfície (SR), o reflexo superficial de uma falha pode ser visualizada na forma de um lineamento isolado ou em uma concentração de lineamentos. Uma falha tectônica pode ser manifestada na forma de lineamentos superficiais de diferentes orientações (reflexos do campo tensional), mapeável por diagramas de frequência de lineamentos. Nos dados sísmicos, a baixa qualidade dos dados dificulta o mapeamento das falhas. Porém, com a utilização dos dados de sensoriamento remoto, torna-se mais evidente a observação em dados sísmicos, tornando a análise preditiva.

Análise estrutural, Bacia do Recôncavo, Modelo Digital de Terreno, Sísmica 3D

1. INTRODUÇÃO

No estudo de geologia, ferramentas que implementam e que integrem de uma maneira mais precisa os dados são de extrema importância. Com isso, a sísmica 3D e o sensoriamento remoto (SR), constituem ferramentas eficazes na interpretação da evolução geológica de uma bacia sedimentar. A utilização e o cruzamento de dados obtidos das seções sísmicas com os produtos gerados no sensoriamento remoto, a partir dos modelos digitais de terreno (MDT) por radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), permite a quantificação mais precisa de elementos tectônicos de uma determinada área.

A visualização de estruturas em seções sísmicas, assim como a identificação de feições estruturais em imagens de sensoriamento remoto está condicionada pelos dados e pela resolução utilizada. Em decorrência disso, é preciso trabalhar com as ferramentas individualmente, identificando as feições tectônicas nas seções sísmicas e nas imagens para uma posterior correlação.

Com a utilização do modelo digital de terreno é possível identificar o reflexo superficial de uma falha através de um lineamento, ou de uma concentração de lineamentos. Com os tratamentos geoestatísticos

específicos, é possível mapear e caracterizar as diferentes concentrações de lineamentos e verificar a correlação com falhas existentes em subsuperfície através do mapeamento sísmico.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a integração e verificação da correlação dos dados de sensoriamento remoto MDT (dados de superfície) com os dados sísmicos (dados de subsuperfície). Para tanto, é indispensável o mapeamento de feições estruturais em ambas as ferramentas. A baixa qualidade dos dados sísmicos disponíveis prejudica o mapeamento dessas feições e para suprir essa inconsistência de dados o MDT vem a corroborar na observação das falhas nos dados de subsuperfície. No entanto, metodologias que utilizem o Modelo Digital de Terreno dando sustentabilidade aos dados sísmicos não são observados na bibliografia. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a veracidade da correlação do sensoriamento remoto com a sísmica.

3. ÁREA DE ESTUDO E CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Recôncavo está situada no leste do estado da Bahia, nordeste do Brasil. Esta bacia está limitada a norte e a noroeste pelo Alto de Aporá, a sul pelo sistema de falhas da Barra, a oeste pela falha de Maragogipe e a leste pelo sistema de falhas de Salvador. Dentro deste contexto a área escolhida para este estudo está inserida no compartimento central desta Bacia e compreende uma área de 616. (**Figura 1**).



Figura 1. Mapa de localização da Bacia do Recôncavo - Bahia, Brasil, e da área de estudo.

A Bacia do Recôncavo é uma Bacia do tipo rifte intracontinental abortado desenvolvida no Cretáceo, sendo gerado inicialmente durante os estágios precoces da abertura do Oceano Atlântico Sul. A Bacia do Recôncavo é composta por uma fase Pré-Rifte que constitui os depósitos aluviais do Grupo Brotas, representados por arenitos e pelitos flúvio eólico lacustre da Formação Aliança, sotopostos a arenitos fluviais e eólicos da Formação Sergi. Na fase Sin-Rifte (rifte ativo) é constituído por conglomerados da Formação Salvador (sintectônicos) e folhelhos escuros da Formação Candeias e Formação Maracangalha e arenitos flúvio-deltaicos das Formações Pojuca, Taquipe, Marfim e São Sebastião. Na fase Pós-Rifte é constituído por depósitos aluviais e conglomerados,

arenitos e ocasionais folhelhos e calcários da Formação Marizal que são pouco expressivos, (Cupertino e Bueno, 2005). (**Figura 2**)

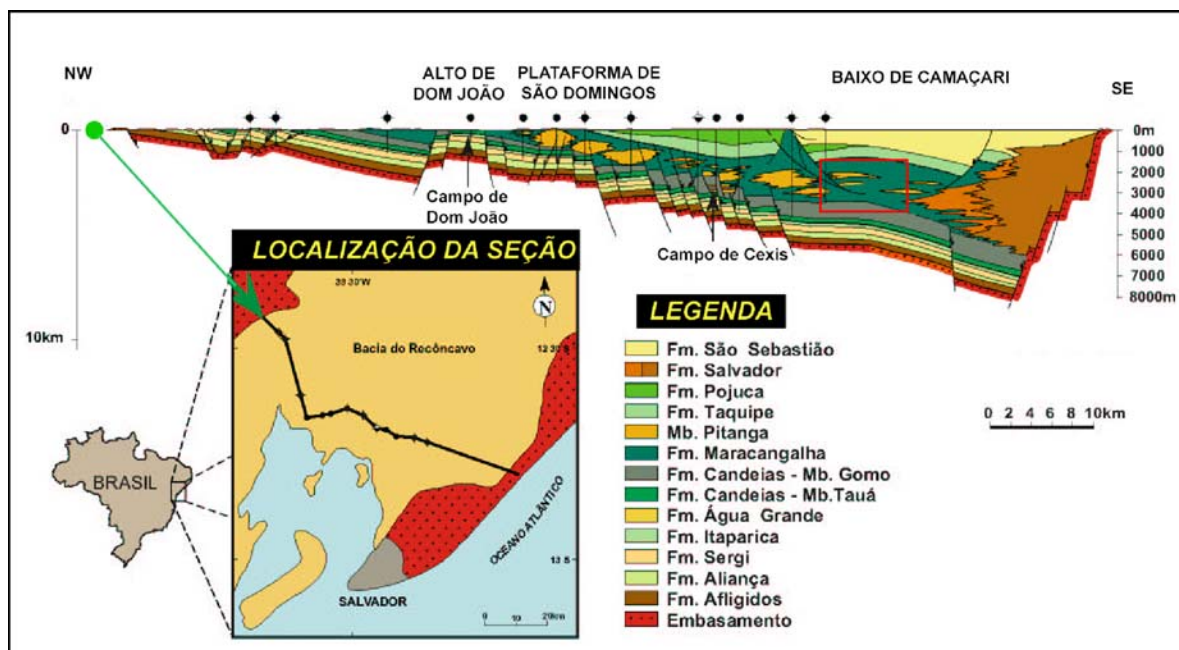


Figura 2. Seção geológica esquemática da Bacia do Recôncavo. O retângulo vermelho indica a situação geológica da área estudada, (modificado de Pentead, 1999).

4. FERRAMENTAS UTILIZADAS

4.1 Modelo Digital de Terreno

Para desenvolver um Modelo Digital de Terreno (MDT) da superfície terrestre, através da utilização de radares interferométricos a bordo do ônibus espacial Endeavor, surgiu o projeto em conjunto entre a NIMA (National Imagery Mapping Agency) e a NASA (National Aeronautics and Space Administration). A missão, identificada com a sigla SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) teve como o objetivo principal de produzir dados digitais da topografia de 80% da superfície terrestre (área contida entre as latitudes 60°N e 56°S), sendo coletados a cada 1 arco de segundo (aproximadamente 90 m) numa grade de latitude/longitude.

Para a produção dos dados da topografia utilizou-se a técnica de interferometria por radar, no qual são geradas duas imagens de radar de duas posições ligeiramente diferentes. Estas imagens são obtidas pelo uso de duas antenas de radar, uma acoplada no ônibus espacial e outra no final de um mastro de 60m preso ao ônibus espacial, resultando em dados de altimetria com resolução de 16m com intervalo de confiança de 95%. As diferenças entre essas duas imagens permitem calcular a elevação da superfície ou a diferença.

A definição de um Modelo Digital de Terreno (MDT), é dada pelo armazenamento digital das coordenadas xyz da superfície terrestre em uma matriz linear. Para a utilização no presente estudo, estes dados foram convertidos para o sistema de coordenadas UTM (SAD-69, Faixa -24), e re-gridados para o intervalo de 50 metros.

4.2 Dados Sísmicos 3D

O levantamento de dados sísmicos, originado na década de 30 do século XX, é atualmente de fundamental importância para a exploração de petróleo, fornecendo informações estratigráficas e estruturais sobre as bacias sedimentares. Desde a sua descoberta a evolução dos dados sísmicos se observou em três grandes estágios. O primeiro estágio logo no início da década de 40-50, a sísmica analógica era um método complementar juntamente com dados de gavimetria, sendo que a geologia de superfície dava suporte a esses dois métodos. No final da década de 50 a sísmica convencional analógica foi substituída para a sísmica digital e este avanço tecnológico propiciou o aumento significativo de descobertas de novos campos petrolíferos. Na década de 80, entra no mercado uma nova ferramenta sísmica, a de alta resolução (3D) que propiciou um incremento considerável na descoberta de novos campos petrolíferos em terra e principalmente em mar.

5. INTEGRAÇÃO DOS MÉTODOS E RESULTADOS

Para o reconhecimento e mapeamento das feições estruturais, utilizou-se em superfície o Modelo Digital de Terreno e em subsuperfície dados sísmicos 3D. No Modelo Digital de Terreno, aplicaram-se filtros de iluminação direcional, evidenciando os lineamentos nas direções nordeste, noroeste, norte-sul, leste-oeste, permitindo melhor contraste destes lineamentos com o terreno. A partir deste procedimento pode-se gerar mapas de sombra de relevo, técnica que permite traçar e vetorizar os lineamentos em superfície. Em toda a área estudada foram traçados e vetorizados 974 lineamentos nas principais direções e tendo tamanho médio de aproximadamente 575 metros, como mostra a **Figura 3**.

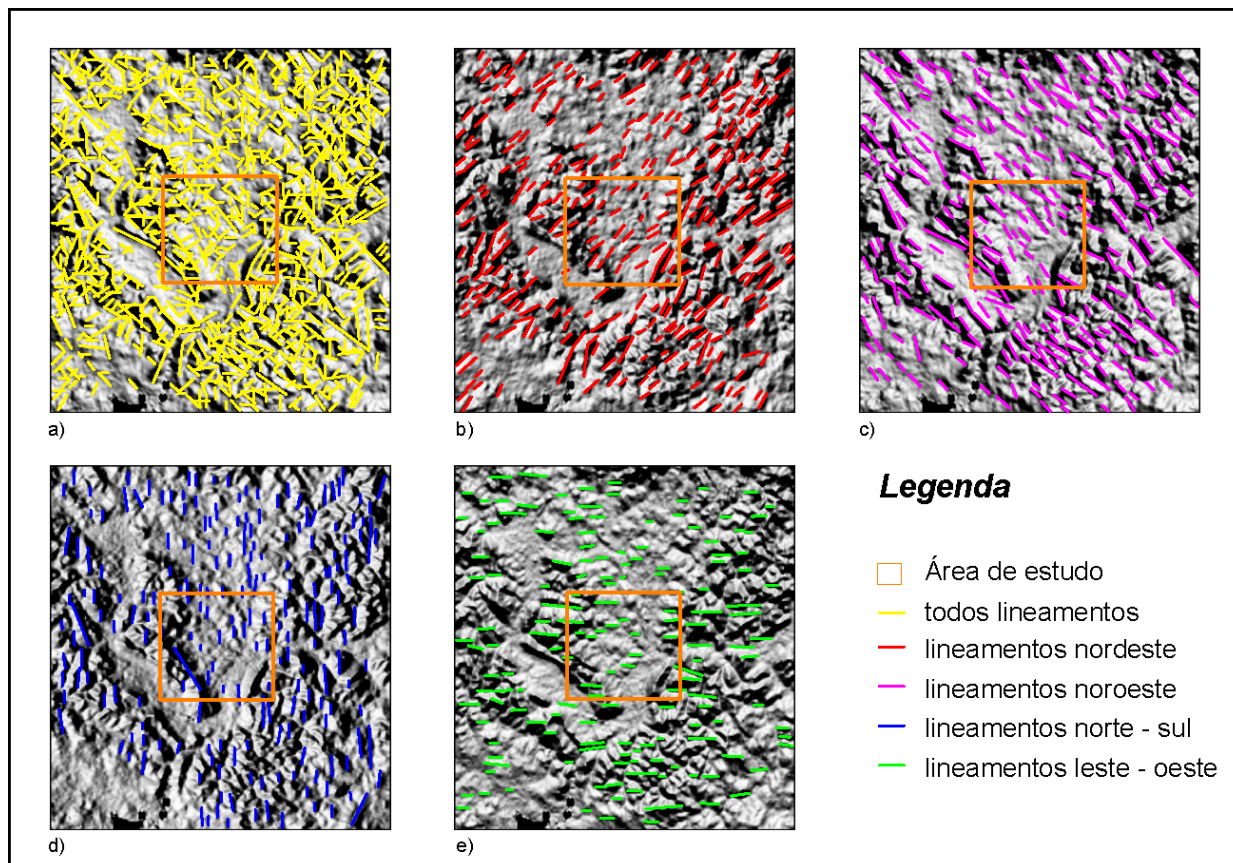


Figura 3. Mapa de sombra de relevo realçado por filtro de iluminação direcional. a) Todos os lineamentos demarcados; b) lineamentos nordeste; c) lineamentos noroeste; d) lineamentos norte-sul e e) lineamentos leste-oeste.

A análise dos dados resultou na identificação de quatro tendências principais de orientação para a ocorrência dessas feições estruturais: nordeste, noroeste, norte-sul e leste-oeste. A quantificação estatística destes lineamentos se obteve com a utilização do diagrama de rosetas que identificou as direções principais dos lineamentos da área em estudo. Os lineamentos nordeste é a direção de maior representatividade, cerca de 33% do total dos lineamentos demarcados, seguido dos lineamentos noroeste com o total de 30%. Os lineamentos norte-sul e os leste-oeste representam respectivamente 21% e 16% dos lineamentos demarcados eles apresentam uma contribuição secundária na área de estudo, como ilustrado no diagrama de rosetas da **Figura 4**.

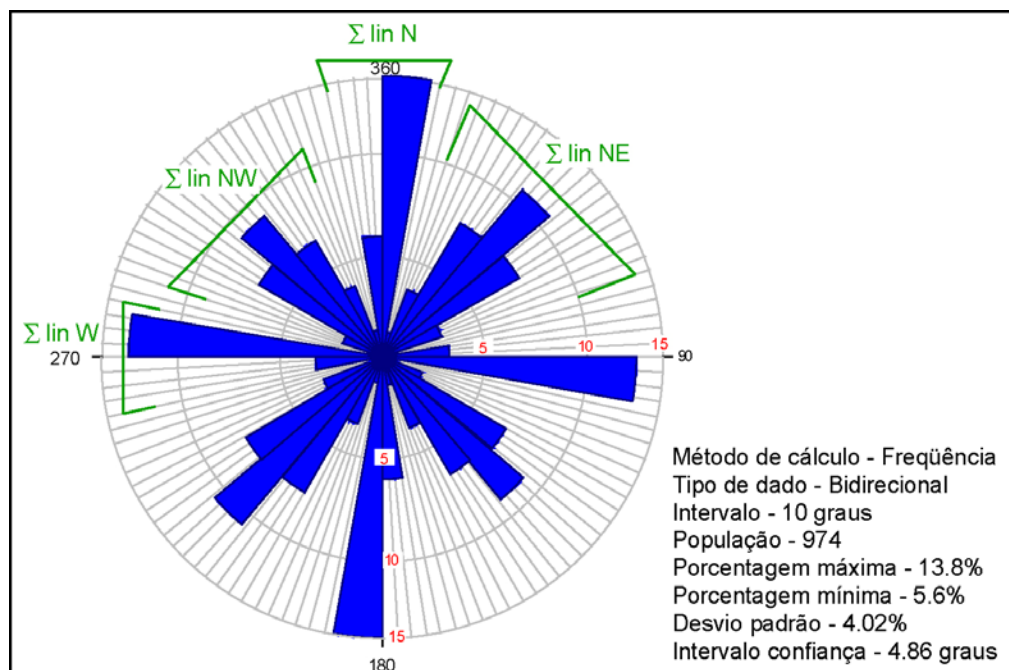


Figura 4. Diagrama de rosetas dos lineamentos traçados, com as principais direções identificadas.

A elaboração de mapas de frequência dos lineamentos foi possível a partir da subdivisão da área total de estudo, em células (subáreas) com tamanhos de 500X500 metros e de 1000X1000 metros. Esta técnica possibilitou a quantificação dos lineamentos existentes para cada uma destas células, onde a escala de cores representa a quantidade de lineamentos existente em cada uma destas regiões. A expressão do aumento da quantidade de lineamentos em uma direção pode ser interpretada como *trends*, que são a representação da possível localização de uma falha visualizada na subsuperfície através da sísmica. Para considerar como principal os *trends* observados no mapa de célula de 500x500 e no mapa de 1000x1000, o critério adotado envolveu o aumento de densidade visualizado e a intensidade das principais direções no mapa de sombra de relevo.

As informações obtidas a partir do mapa de células de 1000X1000 metros mostram que a concentração máxima de lineamentos por célula é de treze lineamentos com a média de sete lineamentos por célula, como indicado na **Figura 5**. Neste mapa de células foram identificadas quatro direções principais de lineamentos, sendo estas: NW-SE, NE-SW, N-S e E-W. Os lineamentos NW-SE formam dois *trends* bem definido na porção central (NW-SE1) e sul (NW-SE2), enquanto os lineamentos NE-SW mostram dois *trends* posicionados na porção noroeste (NE-SW1) e sudeste (NE-SW2) da área estudada. Os lineamentos N-S, por sua vez, formam dois *trends* localizados na área central (N-S1) e leste (N-S2). Finalmente, os lineamentos E-W formam dois *trends* posicionados na porção norte (N-W1) e sul (E-W2) da área estudada.

No mapeamento de feições estruturais a partir dos dados das seções sísmicas obteve-se uma visualização regional das estruturas e a partir da identificação das terminações dos refletores e com a utilização dos conjuntos de lineamentos adquiridos pelo Modelo Digital de Terreno, demarcaram-se as possíveis falhas.

Os *trends* observados nos mapas de frequência de lineamentos foram passados para as seções sísmica transversais aos lineamentos, na forma de linhas na superfície dos dados. A análise da correlação dos lineamentos traçados com os dados sísmicos se teve com a identificação da direção e comprimento dos *trends* mapeados com as possíveis falhas compatíveis na seção sísmica. Desta forma, foram identificadas falhas tectônicas nos dados sísmicos muito próximas e compatíveis com o comportamento dos *trends* mapeados (**Figura 6 e Figura 7**), mostrando uma perfeita correlação dos dados estruturais observados na superfície com os dados sísmicos em sub-superfície.

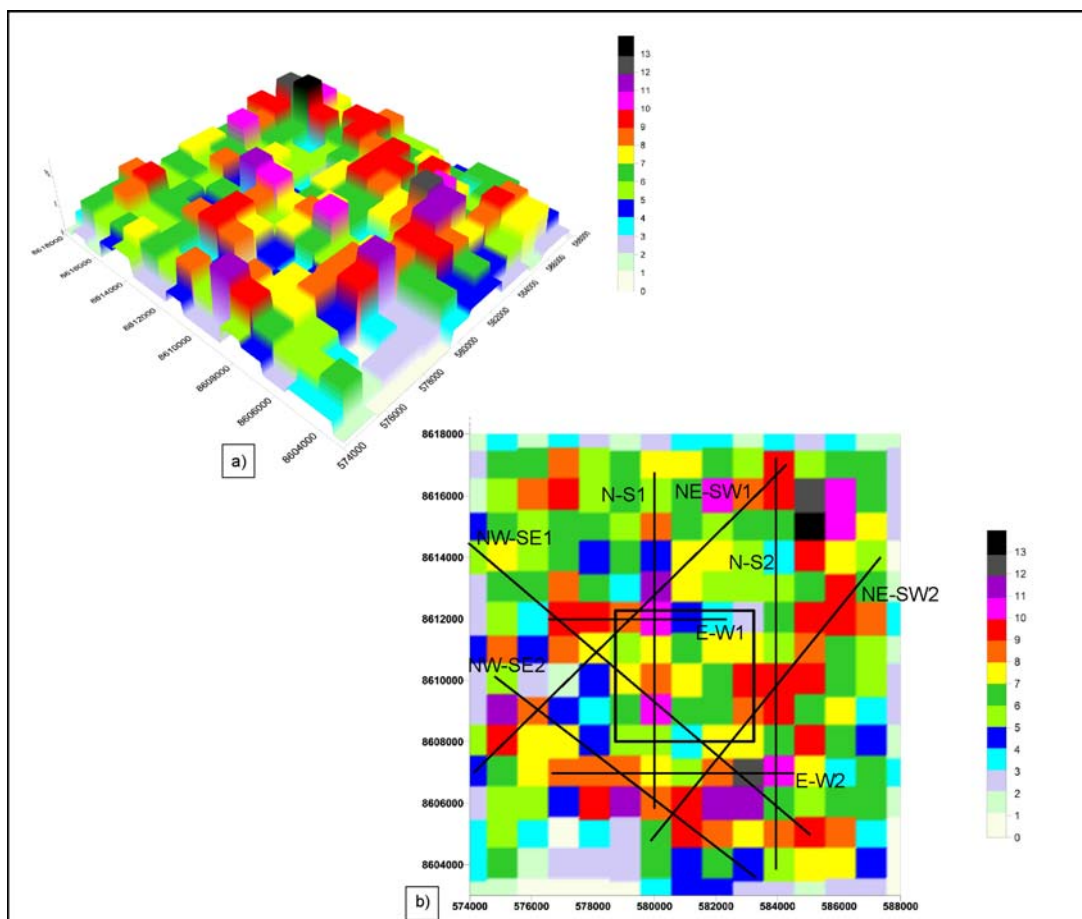


Figura 5 Mapa de células com área de 1000 X 1000m , apresentando a quantidade de lineamentos. a) Vista tridimensional diagonal e b) Vista superior em planta evidenciando os principais trends de concentração de lineamentos demarcados em preto e a área de estudo.

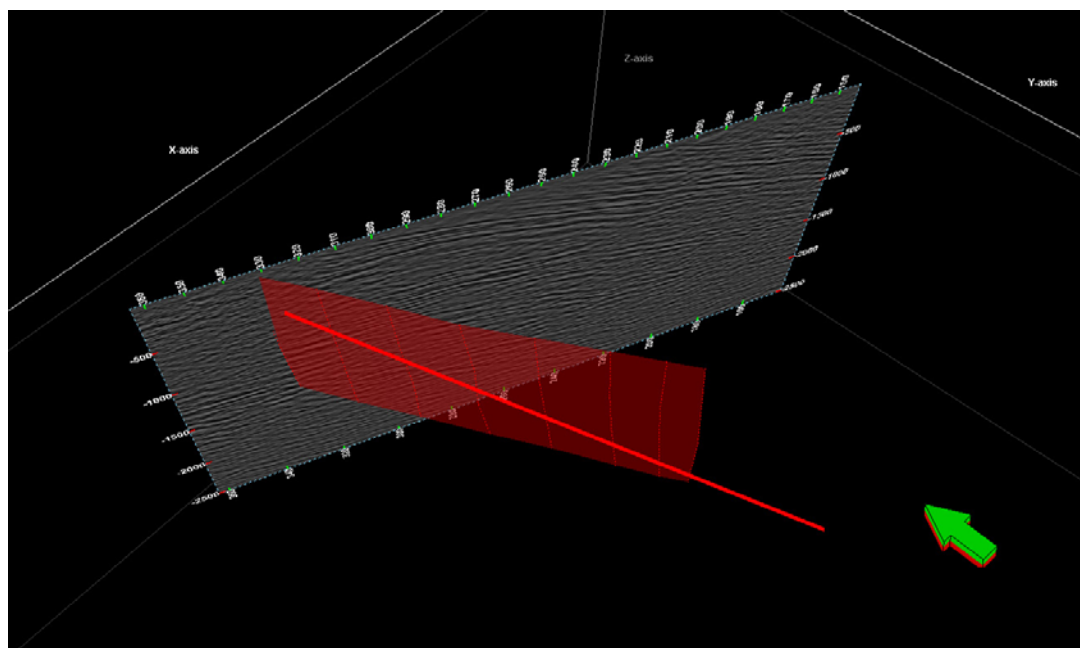


Figura 6. Linha sísmica 3D, mostrando a falha mapeada (superfície vermelha) e o respectivo *trend* NW-SE1 observado nos mapas de frequência de lineamentos (linha vermelha). Observa-se a direção semelhante entre o *trend* de lineamentos e a falha mapeada.

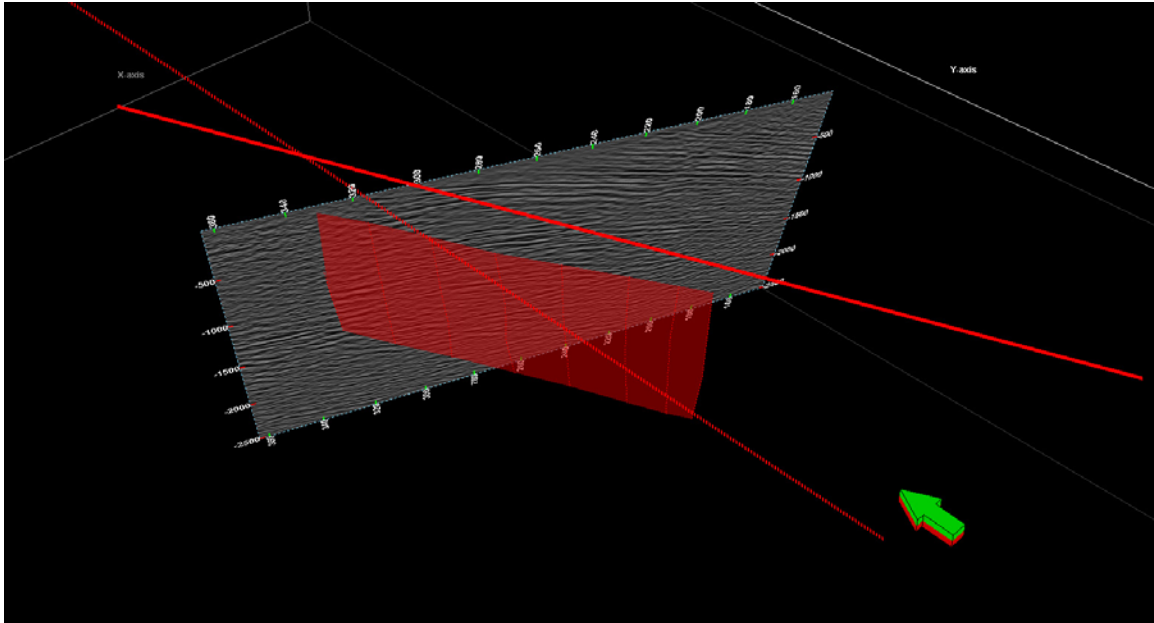


Figura 7. Linha sísmica 3D, mostrando a falha mapeada (superfície vermelha) e o respectivo *trend* NW-SE1 e N-S1 estrutural observado nos mapas de frequência de lineamentos (linha vermelha). Observa-se a direção semelhante entre o *trend* de lineamentos e a falha mapeada.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No Sensoriamento Remoto, isto é, na análise estrutural em superfície, o reflexo superficial de uma falha pode ser visualizada na forma de um lineamento ou em uma concentração de lineamentos, que podem ser mais evidentes em mapas de concentração de células. Uma falha tectônica pode se manifestar na forma de lineamentos superficiais de diferentes orientações (reflexos do campo tensional), mapeável por diagramas de frequência de lineamentos.

Nos dados sísmicos, com visualização do terreno em subsuperfície, a baixa qualidade dos dados dificulta o mapeamento das falhas. Porém, com a utilização dos dados de sensoriamento remoto, torna-se mais evidente a observação destas falhas em dados sísmicos, tornando-a preditiva, ou seja, a observação desta falha deve ser esperada em dada região da seção, facilitando o seu mapeamento em sub-superfície.

De outra forma, os lineamentos que são observados no terreno e que não são identificados nos dados sísmicos pode ser devido a reativações tectônicas posteriores, e isso se deve a complexidade da geologia da área estudada que é outro importante fator a ser considerado.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Magnavita, L. P. **Geometry and Kinematics of the Recôncavo-Tucano-Jatobá rift, NE, Brazil.** 1992. 493p. Tese (Doutorado) – Oxford, University of Oxford.

Cupertino, J.A. & Bueno, G. Arquitetura das seqüências estratigráficas desenvolvidas na fase de lago profundo no Rife do Recôncavo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, V. 2005, 13(2), p. 245-267.