



Análise de AVO na bacia do Ceará

Wander N. de Amorim, Daniel C. Dutra, João M. Neto, Afonso M. Filho e Valéria C. Conde PETROBRAS S/A, Brasil

Copyright 2005, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGF, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Resumo

In this paper we will show the AVO analysis of a strong negative amplitude anomaly over an Upper Cretaceous disconformity at the Ceará basin. The analysis of the available seismic volumes (NEAR, MID and FAR) and the petrophysical modeling in a deep water well of the basin, require the utilization of the NEAR and MID volumes for this study. The AVO analysis on seismic sections suggests the presence of a type III anomaly (intercept and gradient negatives), coincident with the modeling of sand with oil in that well. The AVO analysis on map shows a great correlation between the anomalies and thickness of the reservoir with the highest standard deviations observed. Such standard deviations are coincident with the areas where the highest porosities are expected (*incised valleys*) and decreases towards the edges of the anomalous body, indicating a strong lithology influence at the results. The AVO study also showed that the analyzed anomaly suggests the presence of a reservoir with decreasing granulometry towards the top, typical of turbidite systems.

Introdução

Uma forte anomalia de amplitude negativa, com cerca de 100 Km², sobre uma discordância do Cretáceo Superior na bacia do Ceará foi analisada em termos da variação da amplitude com o "offset" (AVO). Considerando-se a possibilidade de presença de óleo em arenitos turbidíticos depositados nessa idade, constatados em poços da plataforma continental, fez-se necessário um estudo detalhado desse sinal sísmico no intuito de diminuir os riscos exploratórios em perfurações de poços em águas profundas da bacia. Um poço de água profunda foi tomado como referência para os estudos de modelagem petrofísica e calibração dos dados sísmicos. Antes de se iniciar os estudos de AVO em seções sísmicas e em mapa foram feitas à análise e correção das relações de amplitude e correlação entre os diversos volumes, optando-se por utilizar os volumes "Near" e "Mid". Os resultados obtidos indicam a presença de uma anomalia do tipo III com forte influência litológica.

Modelagem petrofísica

Mantendo-se a litologia original no poço, onde o nível de interesse representa um depósito de calcilito, calculou-se o sismograma sintético com ângulos de até 40° e fez-se a modelagem de AVO com crossplot de *intercept* e gradiente. Verificou-se, conforme mostrado na figura 1a, que todas as litologias caem sobre a reta de *background*. Substituindo-se o calcilito por uma camada de areia de 35 m de espessura com 22% de porosidade e 55% de saturação de óleo de 25° API e RGO de 55m³/m³, observa-se que a reflexão dessa areia representa uma anomalia de AVO do tipo III (*intercept* e gradiente negativos), conforme mostrado na figura 1b. O calcilito também foi substituído por areia com água com diversas porosidades e folhelhos com variadas razões de Poisson. Os resultados das modelagens de AVO indicaram que: somente areias saturadas de água com porosidades acima de 29% apresentariam anomalia de AVO do tipo III, com pequeno Desvio Ortogonal ou Fator de Fluido; e que apenas os folhelhos geradores seriam capazes de apresentar anomalias de AVO, porém sendo estas do tipo II e meio (*intercept* nulo e gradiente negativo). A figura 2 resume os resultados alcançados com as substituições de litologia e fluidos.

Análise em seções sísmicas

Realizado o estudo com o poço, passou-se então a análise do dado sísmico. Foram disponibilizados os volumes "NEAR" (ângulos de reflexão entre zero e 13°), "MID" (ângulos de reflexão entre 14 e 27°) e "FAR" (ângulos de reflexão entre 28 e 40°) do dado sísmico 3D. Após análise e correções das relações de amplitude e correlação entre os diversos volumes, optou-se por utilizar os volumes "NEAR" e "MID", para estudos da variação da Amplitude Versus o Offset (AVO). Antes de se prosseguir no estudo de AVO realizando-se as análises em seções sísmicas, fez-se uma comparação entre os resultados obtidos em uma linha 2D processada pela Petrobras e uma linha 3D coincidente do dado adquirido e processado pela CGG (figura 3). Os resultados observados na figura 3 mostram que há uma boa consistência entre os mesmos, indicando que o fluxo de processamento permite a análise de AVO no dado 3D disponível. A análise de AVO utilizando-se volumes estaqueados de traços próximos ("NEAR") e afastados ("MID" ou "FAR") é realizada considerando-se a seção "NEAR" como o *intercept* e a seção "FAR" - "NEAR" como o Gradiente. Fazendo-se um crossplot das seções *intercept* (eixo horizontal) e gradiente (eixo vertical), define-se uma reta de *background* e calcula-se a seção de Desvio Ortogonal a partir desta reta. Uma vez que quanto mais distante da reta de *background*, mais anômala é a reflexão, esta análise pode ser feita a partir de cores que indicam em que quadrante se encontra o

evento anômalo e qual a sua distância da reta de *background*, em termos de desvios padrão. Os parâmetros para as análises de AVO foram definidos após a realização de uma série de testes e comparação dos resultados. A figura 5 mostra os parâmetros utilizados nas análises de AVO em seção sísmica. Em resumo, fez-se uma análise de AVO qualitativo com ajuste de amplitude com janela de 2000 ms, dentro de uma janela (OUTLINE) englobando a anomalia e tendo dados suficientes para conter um representativo *background*, ajustando-se os dados no crossplote *intercept* x gradiente pela reta RMA (Reta de Melhor Ajuste), calculando-se o Desvio Ortogonal a esta reta e colorindo aqueles desvios maiores que 2,2 desvios padrão. Após a realização de testes para validação dos parâmetros de estudo de AVO, uma série de análises foram executadas em seções sísmicas em diversas direções ao redor da anomalia de amplitude. Os resultados comprovaram a presença de uma anomalia do tipo III, com variação do número de desvios padrão em posições distintas dentro da anomalia de amplitude. A seção de Desvio Ortogonal, arbitrária passando por toda a anomalia de amplitude, mostrada na figura 6, resume os resultados conseguidos com a análise de AVO em seção sísmica.

Análise em mapa

Após a definição dos parâmetros da reta de *background* do crossplote entre o *intercept* e o gradiente em seção sísmica, fez-se a análise de AVO em mapa. Extraiu-se a máxima amplitude negativa em uma janela de 22ms acima do horizonte da discordância, que se mostrou capaz de englobar a anomalia de amplitude nos volumes NEAR e MID. Assumindo-se o gradiente como o resultado da subtração das amplitudes MID e NEAR (MID – NEAR) e o *intercept* como o mapa de amplitudes NEAR, fez-se o crossplote de mapas (*intercept* x gradiente), corrigindo a inclinação da reta de *background* para o valor médio encontrado nas análises em seção sísmica e calculando-se o Desvio Ortogonal. Como resultado obteve-se o mapa de Desvio Ortogonal ou Fator de Fluido, mostrado na figura 7, onde se destacam os desvios maiores do que três desvios padrão. Observou-se que as anomalias de AVO com maiores desvios padrão estão localizadas nas áreas onde se esperam maiores porosidades (vales incisivos) e que as mesmas diminuem em direção as bordas do corpo anômalo, indicando forte influência da litologia no resultado de AVO alcançado. Deve-se destacar também que o estudo de AVO no dado sísmico permitiu concluir, como observado na figura 8, que a anomalia de amplitude estudada indica a presença de um pacote rochoso com granulometria decrescente para o topo, típico de sistemas turbidíticos.

Conclusão

Através da modelagem petrofísica e das análises de AVO em seções sísmicas e em mapa, apresentadas neste trabalho, pode-se concluir que: apenas areias com óleo ou então com água, mas com elevada porosidade, acima de 29%, apresentariam anomalia de AVO do tipo III; tanto

as anomalias de amplitude e AVO observadas, quanto o fluxo de processamento realizado no dado 3D, mostram-se consistentes com os resultados obtidos em linhas 2D coincidentes e processadas pela Petrobras; a análise do sinal sísmico indica que a anomalia de amplitude estudada representa uma anomalia de AVO do tipo III; e que a resposta de AVO mostra uma forte influência da litologia no resultado alcançado.

Agradecimentos

Agradecemos ao geofísico Anderson Luis Pimentel pela análise e correção das relações de amplitude e correlação entre os volumes sísmicos disponíveis e a Petrobras e CGG pela permissão para publicar esse trabalho.

Bibliografia

- Da Silva, F. B., Batista, G. R., e Dos Santos, P. R. S., Apostila de Interpretação dos Atributos de AVO: Publicação Interna Petrobras.
- Rosa, A. L., Alves, R. F., Pereira, S. A., Apostila SIGEO - Análise de AVO com Perfis: Publicação Interna Petrobras.
- Rosa, A. L., Almeida A. G., Neto, O. B., Alves, R. F., Pereira, S. A., Apostila SIGEO - Dado Sísmico: Publicação Interna Petrobras.

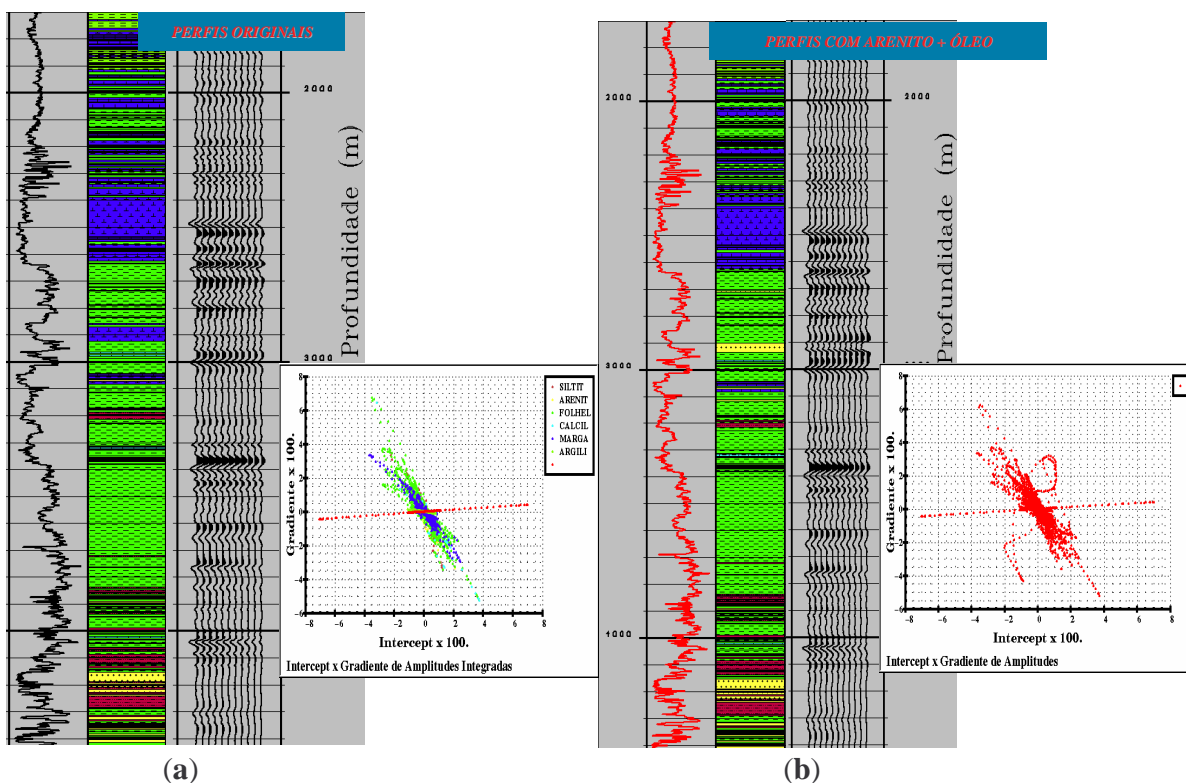


Figura 1 – Modelagem sísmica do poço de referência. (a) Com litologia original e (b) Com uma camada de areia com óleo entre as profundidades de 1900 m e 1935 m. Observa-se nos crossplots de *intercept* x gradiente da figura 1b, como a areia com óleo destaca-se no 3º quadrante do gráfico.

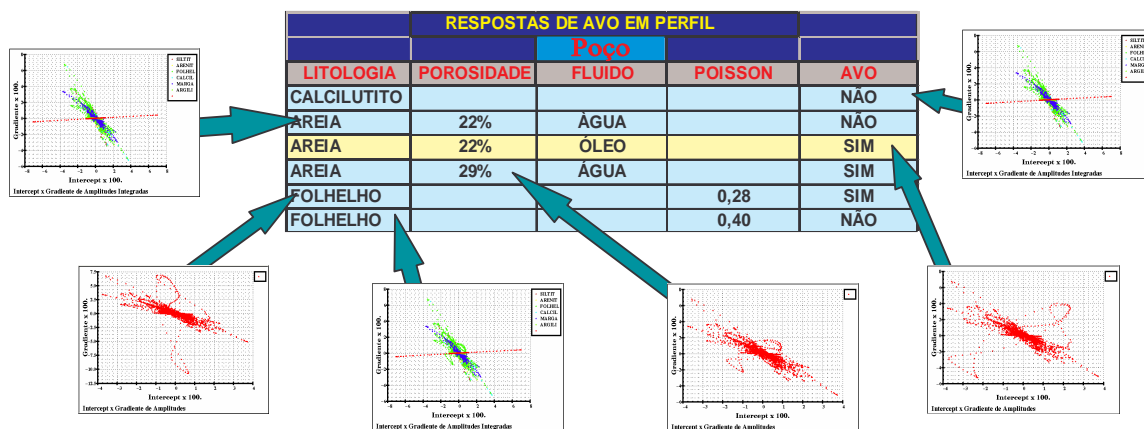


Figura 2 – Resultados das modelagens sísmicas de perfil com substituição de litologia e fluido. Destaca-se nos crossplots de *intercept* x gradiente, que apenas a areia com óleo, a areia com água com 29% de porosidade e o folhelho com razão de Poisson de 0,28 apresentaram anomalias de AVO e que apenas a areia com óleo é uma característica anomalia do tipo III, com grande Desvio Ortogonal.

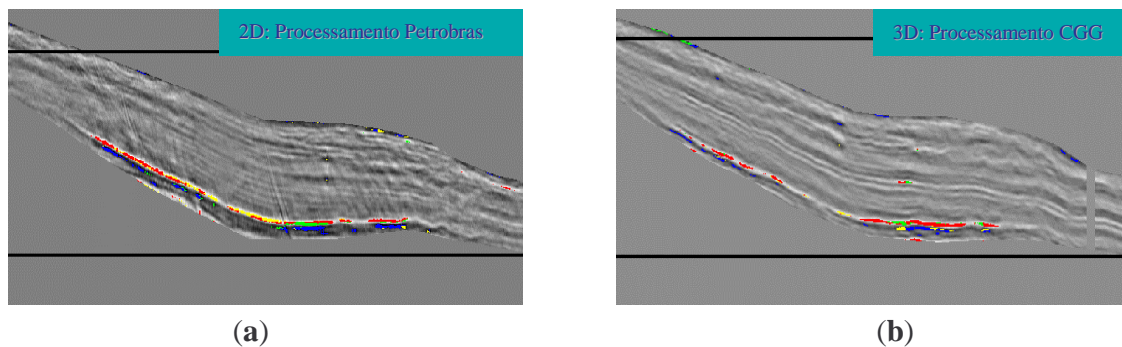


Figura 3 – Análises de AVO em linhas sísmicas 2D e 3D coincidentes, com processamentos sísmicos distintos: (a) Seção de Desvio Ortogonal com processamento Petrobrás e (b) Seção de Desvio Ortogonal com processamento CGG (cortesia CGG).



Figura 4 – Cores indicativas do tipo de anomalia de AVO presente na seção sísmica: AZUL – AVO do tipo I, VERDE – AVO do tipo II, VERMELHO – AVO do tipo III e AMARELO – AVO do tipo IV.

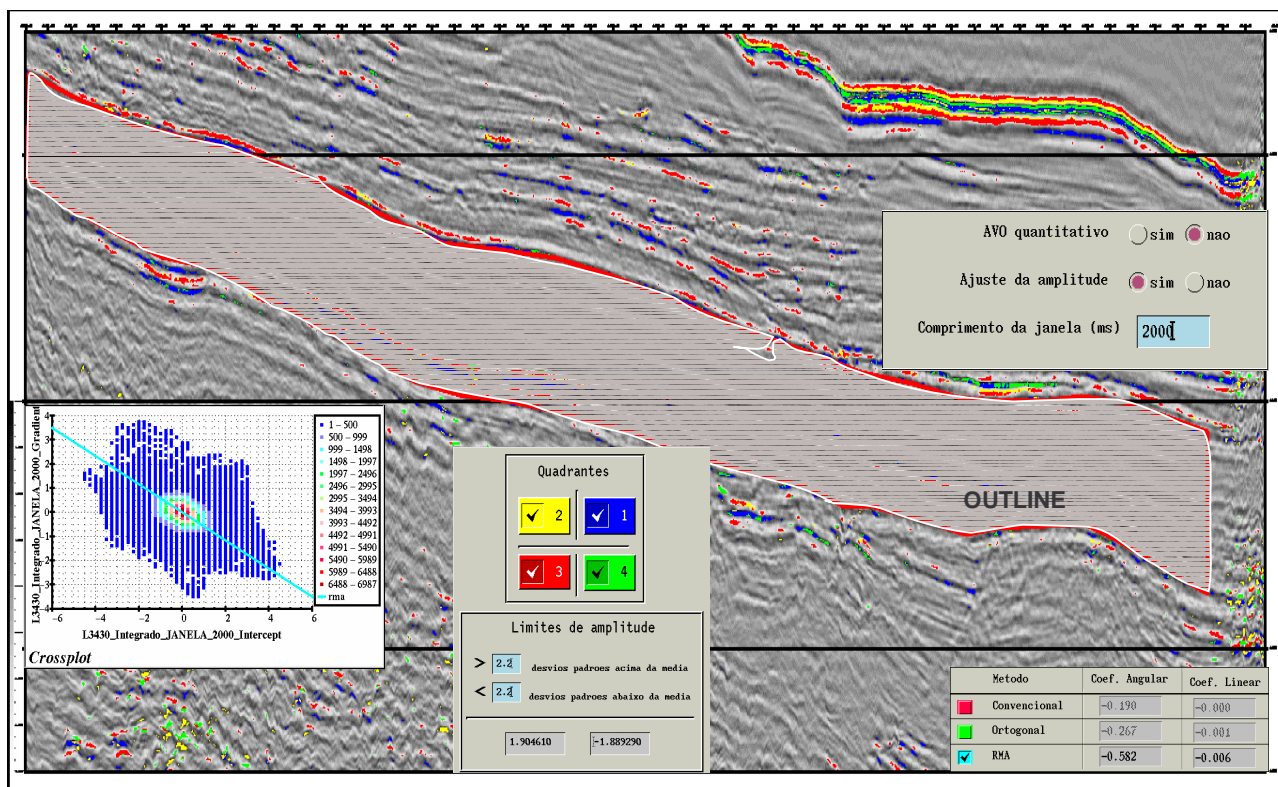


Figura 5 – Parâmetros para análise de AVO em seção sísmica (cortesia CGG).

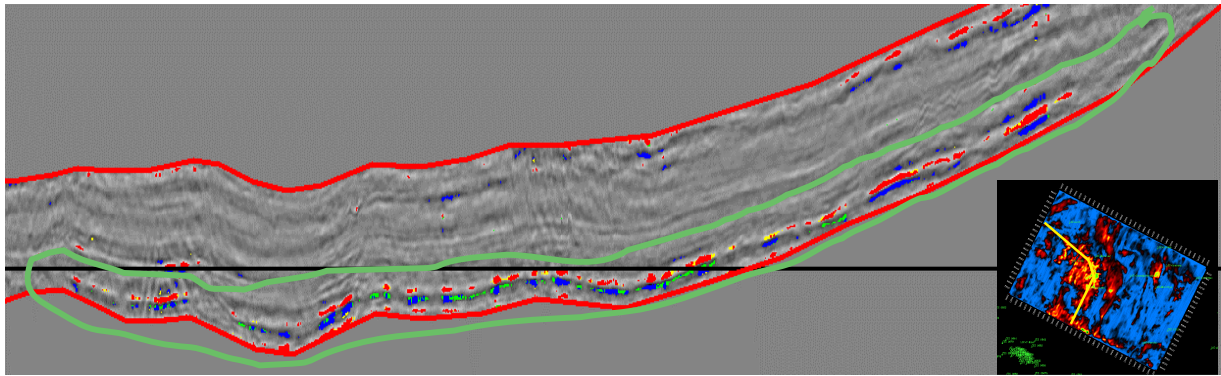


Figura 6 – Seção de Desvio Ortogonal em seção sísmica arbitrária englobando a anomalia de amplitude. Destaca-se a predominância da cor vermelha na anomalia de amplitude, indicando a presença de uma anomalia de AVO do tipo III (cortesia CGG).

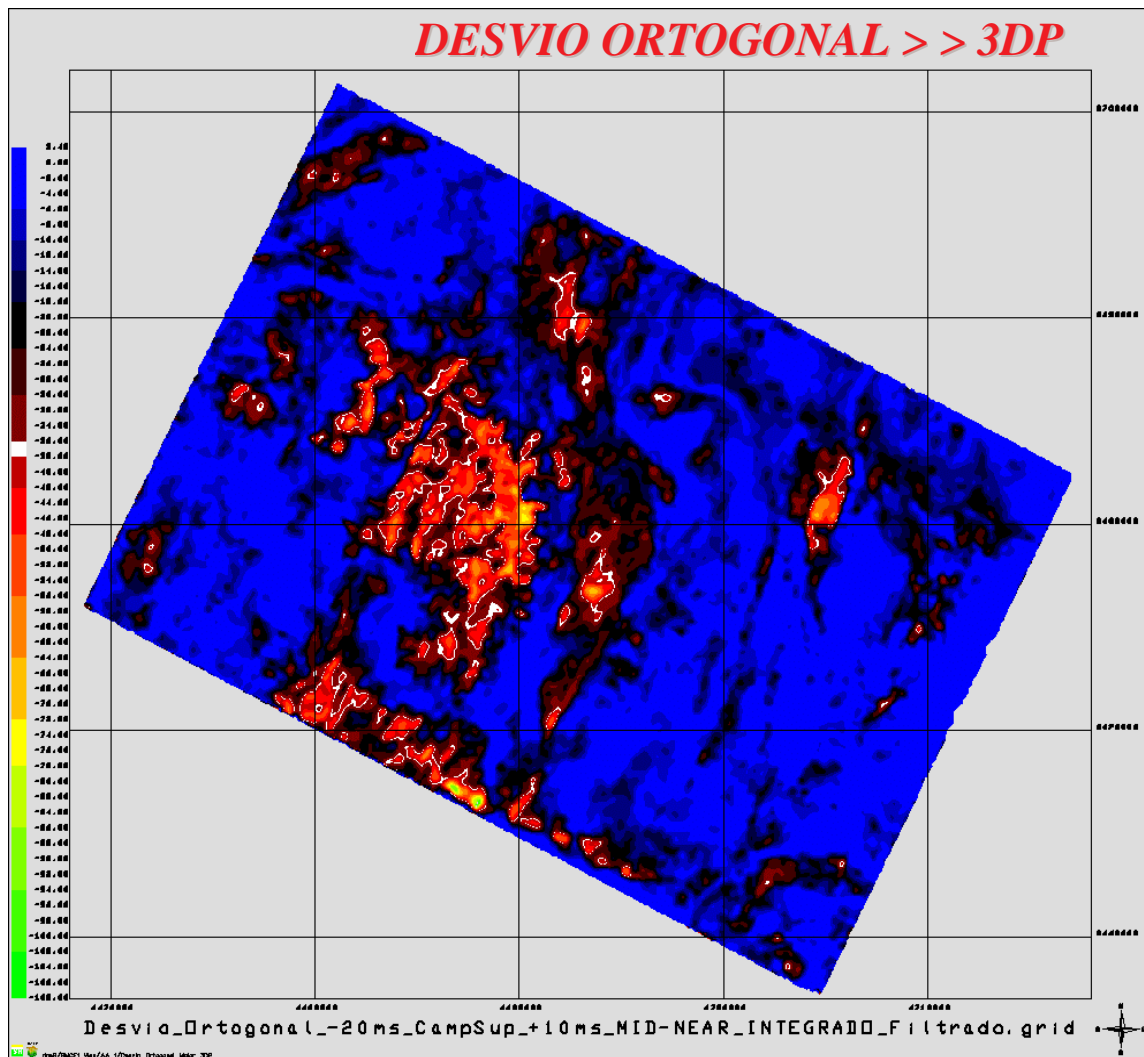


Figura 7 – Mapa de Desvio Ortogonal ou Fator de Fluido, onde se destacam os desvios maiores do que três desvios padrão.

