



Fraturas em Perfis Geofísico de Poço: Uma análise através da Morfologia Matemática e Transformada de Hough

Nayara Rebelo dos Santos, Universidade Federal do Oeste do Pará
Aldenize Ruela Xavier, Universidade Federal do Oeste do Pará
Carlos Eduardo Guerra, Universidade Federal do Oeste do Pará
André Andrade, Universidade Federal do Pará

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

Este artigo apresenta uma metodologia de detecção das fraturas geológicas em perfis de imagem utilizando a morfologia matemática binária e a Transformada de Hough. A Morfologia Matemática tem sido utilizada como uma poderosa técnica de análise de imagens. As origens da MM são os estudos da geometria de mídia porosa na metade da década de 60 na França por Matheron e Serra. Eles introduziram um formalismo relacionado à teoria de conjuntos para a análise de imagens binárias sendo possível processá-las com operações simples como uniões, intersecções, complementações e translações. A Transformada de Hough é conhecida como uma técnica eficiente para descobrir padrão descontínuo em imagens, como as fraturas. Com a união das duas técnicas foi possível refazer o contorno de fraturas salientando-as como os pontos de maior acúmulo de votos no domínio da Transformada de Hough.

Introdução

A análise de perfis de imagem constitui uma importante etapa na produtividade de formações com baixa permeabilidade. Isto porque, elas estabelecem uma rede de condutos hidráulicos entre o sistema de poros e o poço. Portanto, o conhecimento da localização e da atitude (direção e inclinação) das fraturas da parede do poço possibilita o desenvolvimento de estratégias de exploração, que podem potencializar a produção do poço, principalmente em ambientes de baixa permeabilidade, característico dos reservatórios carbonáticos. Para a indústria do Petróleo, atualmente, foi reacendido o interesse nos reservatórios carbonáticos (Akbar, 2009). Neste tipo de rocha a avaliação de formação convencional tem sérios problemas quanto a determinação da relação entre a porosidade e a permeabilidade em função da ocorrência de porosidade na forma vulgar. Neste tipo de reservatório a conexão hidráulica é predominantemente formada por fraturas e microfaturas, que são as responsáveis diretas pela permeabilidade do reservatório. As ferramentas de

perfilagem de poço formam um conjunto de imagens que podem ser usadas para interpretá-las, esta interpretação fica condicionada a perícia do intérprete. Este artigo apresenta uma metodologia que auxilia a identificação da presença e localização das fraturas em subsuperfície com a utilização da Morfologia Matemática Binária e Transformada de Hough. A Morfologia não é apenas uma teoria matemática, mas uma poderosa técnica de análise de imagens. As origens da morfologia matemática são os estudos da geometria de mídia porosa na metade da década de 60 na França por G. Matheron e J. Serra. Eles introduziram um formalismo relacionado à teoria de conjuntos para a análise de imagens binárias sendo possível processá-las com operações simples como uniões, intersecções, complementações e translações. A Transformada de Hough (TH) é conhecida como uma técnica eficiente para descobrir padrões descontínuos inseridos em imagens ruidosas (Andersein, 2001).

Metodologia/ Problema Investigado

1.1 A Morfologia Matemática Binária

A morfologia matemática, ramo do processamento e da análise não linear de imagens, já é aplicada em várias áreas como biologia, metalografia, biomédica, visão robótica, controle de qualidade, reconhecimento de caracteres, etc. Em termos de imagens, a morfologia matemática permite processar imagens com objetivos de realce, segmentação, detecção de bordas, esqueletização, afinamento, análise de formas, compressão, etc. O que está sendo proposto é a implementação desta metodologia em perfis geofísico de poço a fim de detectar fraturas nas camadas atravessadas pelo poço.

O princípio básico da morfologia matemática consiste em extrair uma informação relativa, a geometria e a topologia de um conjunto desconhecido de uma imagem pela transformação a partir de um outro conjunto completamente definido chamado elemento estruturante. A partir do seu formato e tamanho temos a possibilidade de testar e de quantificar de que maneira o elemento estruturante, está ou não está contido na imagem.

Em processamento digital de imagens, funções e conjuntos são tratados de maneira muito semelhantes.

Definição 1: Definimos uma imagem em níveis de cinza como uma transformação do tipo $Z^2 \rightarrow N$, i.é, uma regra ou conjunto de regras que permite associar a cada par (x,y) de Z^2 um "único" elemento i natural de N .

Definição 2: O *elemento estruturante* é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado com a imagem em estudo. O resultado desta comparação permite avaliar o conjunto desconhecido (Facon, 1996).

1.2 Operadores morfológicos

As operações básicas da morfologia matemática binária são a erosão, em que pixels que não atendem a um dado padrão são apagados da imagem, e dilatação, em que uma pequena área relacionada a um pixel é alterada para um dado padrão. Todavia, dependendo do tipo de imagem sendo processada (preto e branco, tons de cinza ou colorida) a definição destas operações muda, assim cada tipo deve ser considerado separadamente.

Erosão

Define-se a **erosão** de um conjunto X pelo elemento estruturante B como:

$$ero^B(X) = \{x \in \mathcal{E} : B_x \subset X\} \quad (1)$$

Dilatação

Define-se a operação de **dilatação** da seguinte maneira:

$$dil^B(X) = X \oplus B = \{x \in X : B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (2)$$

$$dil^B(X) = X \oplus B = X0000000008$$

Abertura

A aplicação de uma erosão imediatamente seguida por uma dilatação usando o mesmo elemento estruturante é referida como uma operação de abertura "opening". O nome abertura descreve o efeito dessa operação que tende a abrir pequenos vazios ou espaços entre objetos próximos numa imagem.

A operação abertura é usada também para remover ruídos da imagem. Pontos pretos aleatórios e isolados podem ser removidos pela erosão e a forma dos objetos é recuperada pela dilatação sem restaurar o ruído.

Fechamento

Um Fechamento "Closing" é similar a uma abertura exceto que a dilatação é realizada primeiro seguida pela erosão usando o mesmo elemento estruturante. Se uma abertura cria pequenos vazios na imagem, um

Fechamento irá preencher ou fechar os vazios. A operação fechamento pode remover muitos dos pixels brancos relacionados a ruído.

Resultados

A figura 1 mostra um trecho de perfil de imagem de poço obtido através da ferramenta de perfilagem UBI



Figura 1 - Perfil de imagem obtido através da ferramenta UBI. (Adaptado de Akibar)

O problema aqui, consiste em identificar quais as fraturas que efetivamente induzirão melhor permeabilidade para a produção do poço.

A imagem colorida na figura 1, foi decomposta em três componentes R, G e B.

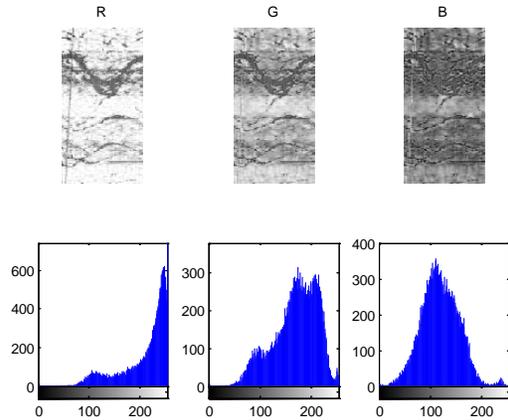


Figura 2: Decomposição RGB da imagem UBI, com seus respectivos histogramas.

Comparando estas três componentes com seus respectivos histogramas, as feições que se pretende destacar estão mais nítidas na componente R em tom de cinza, representadas na figura 2.

Limiarização ou binarização

Limiarizar a imagem constitui uma importante etapa para a implementação dos métodos de processamentos de imagens baseados na morfologia matemática. A limiarização consiste em converter uma imagem de níveis de cinza para uma outra imagem com apenas dois ND's.

O processo de binarização é uma transformação do tipo $\Psi: N \rightarrow N$ dada por :

$$\begin{aligned} \Psi : f &\rightarrow f_b \\ f_b &= \Psi(f) \end{aligned} \tag{3}$$

Em (3), Ψ é a função que associa a cada valor ND de f , um único valor (0 ou 255).

os processos de limiarização tem como um de seus objetivos, tornar evidente ou explicito agrupamentos de pixel's contíguos que possuam características semelhantes. Na figura 3 tem-se o resultado da binarização tendo como alvo as fraturas.



Figura 3 - Imagem UBI binarizada.

Na Figura acima, pode-se observar que destacou nitidamente as zonas fraturadas, mas, percebe-se a presença de vários pontos espúrios.

Sendo assim, aplica-se o operador morfológico de fechamento sobre a imagem UBI binarizada mostrada figura 4. O elemento estruturante se mostrou eficiente para eliminar os ruídos presentes na imagem e ainda preservar a feição da fratura.



Figura 4 - Imagem após o operador morfológico de fechamento.

A detecção de borda, segundo Guerra (2007) é uma das aplicações mais importantes em processamento de imagens, pois nos remete a um conceito fundamental, i.é, "o conceito de contorno". A figura 5 mostra a imagem UBI original sobreposta pelos contornos das fraturas obtidos pela metodologia aplicada.

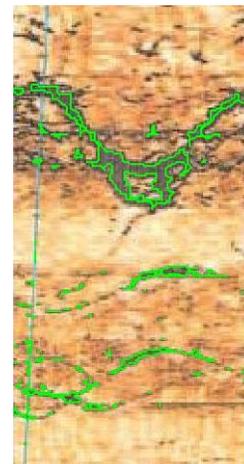


Figura 5 - Composição colorida da imagem do perfil de poço, com a sobreposição do contorno das fraturas obtidos apartir da metodologia proposta.

Transformação de Hough

O conceito principal da transformada de Hough (TH) está em definir um mapeamento entre o espaço de imagem e o espaço de parâmetros.

A transformação de Hough, apresenta a desvantagem de ser computacionalmente limitada e exigir uma grande quantidade de memória. O processamento computacional aumenta com o acréscimo no tamanho do vetor de acumulação e com a exatidão com que os parâmetros são determinados. A resolução do vetor de acumulação determina a exatidão com que os parâmetros podem ser determinados (Duarte, 2003). Com o pré processamento da imagem através da Morfologia Matemática, é possível direcionar o vetor de acumulação para a detecção das fraturas.

A Figura 6 mostra o domínio da TH, onde podem ser observadas as diversas senóides obtidas a partir das coordenadas x,y dos pixels de borda detectados na Figura 5.

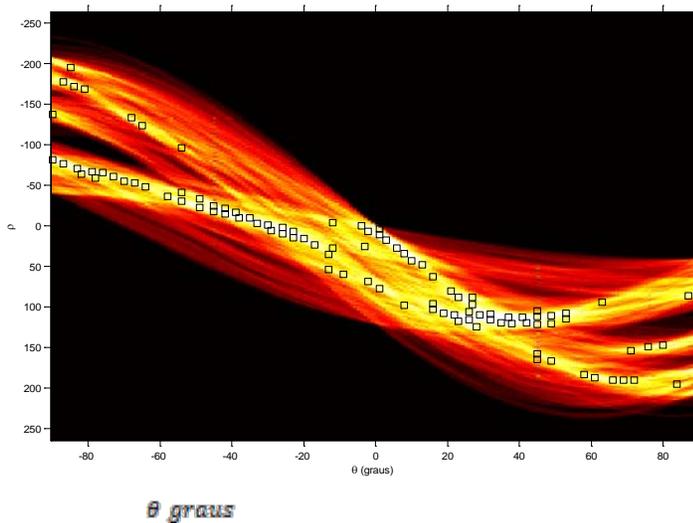


Figura 6 - Senóides obtidas no domínio da TH.

Desta forma converte-se os pixels para o domínio da TH. Para isto, utiliza-se um vetor de acumulação de votos, para as maiores ocorrências de intersecção das senóides obtidas pela TH e como pode ser observado na Figura 7, houve um mapeamento entre o espaço da imagem e a fratura.

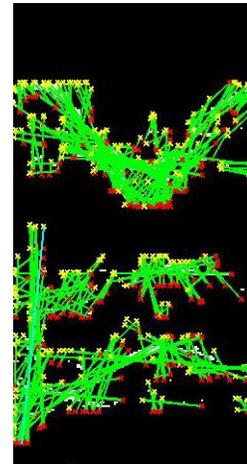


Figura 7 – Transformada de Hough

Discussão e Conclusões

A base da morfologia consiste em extrair de uma imagem desconhecida a sua geometria através da utilização da transformação de uma outra imagem completamente definida, chamado elemento estruturante. A metodologia proposta aqui, mostra-se propícia para a caracterização de ambientes fraturados em perfis de imagem, pois possibilita a localização das fraturas. A escolha do elemento estruturante é determinante para qualidade das feições destacadas. Com a Transformada de Hough é possível destacar o vetor de acumulação de votos representados pela fratura.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Cnpq pelo apoio em forma de bolsa de doutorado e a Fundação de Amparo e Desenvolvimento da Pesquisa do Estado do Pará – FAPESPA pelo apoio em forma de bolsa de iniciação científica e o Laboratório de Sensoriamento Remoto de Santarém da Universidade Federal do Oeste do Pará.

Referências

AKBAR, Mahmood; NURMI, Roy, STANDEN, Erick; SHARMA, Sandeep. Finding Fractures in deep formations. ONGC – Schlumberger Wireline Research Center.

ANDERSEN, J.; Seibel, E. Real-time Hazard detection via machine vision for wearable low vision aids. IEEE Fifth International Symposium on Wearable Computers (ISWC'01), October 08 - 09, Zurich, Switzerland, 2001.

BANON, G. J. F.; BARRERA, J. Bases da Morfologia Matemática para análise de imagens binárias – Recife, UFPE – DI, 1994, xii, 230p: il.

DUARTE, G. D. Uso da Transformada de Hough na Detecção de Círculos em Imagens Digitais. Thema Revista Científica do Centro Federal de Educação Tecnológica, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 51-58, 2003.

FACON, J. Morfologia Matemática: Teorias e Exemplos. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1996. xii. 320p: il.