

Modelo ADDTL aplicado ao traçado da reta de tendência normal para determinação de instabilidade de poços de Petróleo

Evelyn de Almeida Vieira, Rafael Heitor Correia de Melo, Ana Cristina Bicharra Garcia, Inhaúma Neves Ferraz

Departamento de Ciências da Computação, IC – Universidade Federal Fluminense
(UFF)

Rua Passo da Pátria, 156, 24210-240 – Niterói – RJ – Brasil

{evieira,rmelo,bicharra,ferraz}@ic.uff.br

Abstract *This article presents a method (ADDTL) for automatic determination of trend functions over non-deterministic data sets based on heuristic and statistic techniques. This method was successfully used to assess oil well landslide during well perforation. This assessment task is usually done through human visual drawing; therefore fated to analysis divergence and errors. Besides describing ADDTL, this article discusses a case study showing the ability of our method on generating precise and expert level results despite of being intrinsically heuristic.*

Resumo *Este artigo apresenta um modelo (ADDTL) de determinação de tendências em conjuntos de dados sem comportamento matematicamente determinístico baseado na combinação de técnicas estatísticas e heurísticas. Tal modelo foi utilizado com sucesso para auxiliar a determinação do risco de desabamento de poços de petróleo durante a perfuração dos mesmos. Esta tarefa era usualmente feita através de traçados manuais com alto grau de subjetividade e taxa de erro. Além de descrever o ADDTL, este artigo discute um estudo de casos mostrando a habilidade do modelo em gerar resultados com alta precisão mesmo sendo intrinsecamente heurístico.*

1. Introdução

Na prospecção de petróleo, principalmente em áreas offshore, a perfuração de um poço é uma atividade extremamente dispendiosa. Cada perfuração requer um minucioso estudo para evitar que haja acidentes e consequentemente danos financeiros, humanos e ambientais. O objetivo é investigar dada uma profundidade qual a pressão de sobrecarga e consequentemente a pressão de poros, por onde deve percolar o petróleo, para se determinar se haverá ruptura desses poros em uma determinada profundidade. A determinação dessas profundidades onde haverá rupturas indicará os pontos onde se devem colocar estruturas de proteção, como por exemplo, construção de sapatas e fortalecimento do revestimento do poço.

Uma maneira extremamente conservadora seria colocar sapatas e revestimentos ao longo de todo poço, mas isto é economicamente inviável. Resta-nos diminuir o risco de erros pesquisando maneiras precisas de determinar se a rocha reservatório suportará o processo de perfuração. Desta forma, o conhecimento dos três gradientes de pressão das formações (sobrecarga, poros e fratura) é um dos pontos mais importantes no projeto de perfuração de um poço. A determinação dessas pressões permite antecipar situações de risco e inserir ações preventivas.

Existem métodos matemáticos para calcular tais gradientes, como por exemplo, o método de Eaton. Contudo, todos os métodos atualmente disponíveis dependem de alguns parâmetros fundamentais que são de determinação subjetiva por serem interpretações por parte de projetistas de configurações de dados não determinísticos. Projetistas interpretam visualmente a leitura do tempo de trânsito que não possui nenhuma representação determinística e traçam retas de tendência (trend lines) que serão usadas no cálculo da pressão de poros ao longo da profundidade. A curva de pressão de poros é usada como entrada para o cálculo da curva de pressão de fratura. Existe uma pressão de poros limite, a partir da qual é esperado que desmoronamentos ocorram. Os projetistas de poço estão atrás dessas profundidades onde esta pressão anormal começa a ocorrer. Portanto, esta curva de tendência manualmente traçada é fundamental nesse estudo. Ademais, variações pequenas no coeficiente angular desta curva resultam em resultados completamente distintos.

Este artigo apresenta o modelo ADDTL (ADD – Active Design Documents; e TL – Trend Line) baseado em técnicas estatísticas e heurísticas para traçar automaticamente a curva de tendência com precisão e qualidade pelo menos equivalente ao das curvas geradas por especialistas. Com isso pode-se também padronizar o processo tornando-o, desta forma, menos suscetível à falhas humanas.

2. Domínio do problema

A descoberta de uma jazida de petróleo em uma nova área é um trabalho que envolve um demorado e custoso estudo e análise de dados geofísicos e geológicos das bacias sedimentares. Somente após o prognóstico do comportamento das diversas camadas do subsolo, isto é a determinação do perfil da rocha reservatório, os geólogos e geofísicos decidem propor a perfuração de um poço, que é a etapa que mais exige investimentos.

O perfil de um poço é uma representação visual de características das rochas perfuradas ao longo da profundidade, dentre as quais temos resistividade elétrica, potencial eletroquímico natural, tempo de trânsito de ondas mecânicas, radioatividade natural, por exemplo. Em conjunto os métodos geofísicos e geológicos conseguem indicar a área mais favorável à acumulação do petróleo.

A perfuração de um poço de petróleo é uma atividade custosa tanto em termos econômicos quanto ambientais e necessita de um projeto que não é dependente só da sua localização e trajetória, mas que requer conhecimentos de diferentes áreas da Engenharia de Petróleo. O projeto de perfuração de um poço envolve uma série de cálculos para preestabelecer as dimensões dos equipamentos, determinar a quantidade de material necessário e prever tempo e custo para a construção do poço. A análise da área onde o poço vai ser perfurado e o conhecimento das pressões e gradientes das formações (sobrecarga, poro e fratura) existentes nas camadas inferiores são pontos importantes da área de Engenharia de poço.

Ao se analisar o projeto de um poço pode-se falar em custos que chegam a milhões de dólares, custos estes que são estimados a partir da determinação dos três gradientes mencionados. Quando um poço de petróleo está ocupado com algum tipo de fluido é comum trabalhar-se com pressões criadas por colunas hidrostáticas. O gradiente de pressão refere-se à pressão exercida nos poros das rochas e é definido como a variação de pressão por variação de profundidade (psi/m ou lb/gal) [Rocha 2004]. A estimativa errada destes gradientes pode ocasionar problemas ambientais, perda de vidas humanas, de equipamentos e tempo de perfuração da sonda, fenômenos estes que podem representar um custo alto no processo de perfuração.

Os três gradientes de pressão (figura 1) são indicadores fundamentais na determinação da preservação do poço como meio condutor do petróleo em face da agressiva ação da perfuração. Kicks e blowouts são os danos que quando previstos podem ser evitados através de reforço no revestimento dos poços assim como na construção de sapatas na extremidade da coluna do poço [Triggia and Correia and et.al 2001]. Estas medidas são extremamente caras e só devem ser introduzidas em caso de necessidade. Desta forma, o projetista decide a cada instante durante a perfuração do poço se deve parar a perfuração para incluir algum reforço ou se deve seguir perfurando. Para isso, ele recebe dados em tempo real sobre o comportamento da rocha.

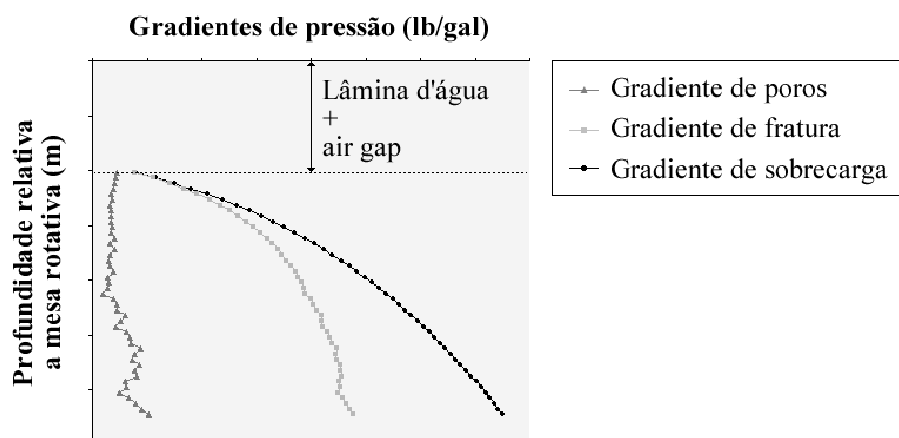


Figura 1. Exemplo de gradientes.

A quantificação do gradiente de pressão de poros nem sempre é precisa, mas é com base nesta estimativa que é analisada a instabilidade do poço frente à perfuração. A figura 2 ilustra o modelo causal para o cálculo dos gradientes de pressão. Como se pode notar, os três gradientes dependem de dados de leitura de comportamento da rocha. Em especial, eles dependem da curva de tempo de trânsito (T_o) cujos valores só interessam quando o tipo de rocha for folhelho. A determinação se é folhelho é um importante gargalo no processo de determinação dos gradientes de pressão, uma vez que depende de outro tipo de especialista, o geólogo. Além disso, faz-se necessário a definição da reta de tendência da curva de tempo de trânsito. O restante do modelo é determinístico sendo descrito por equações matemáticas.

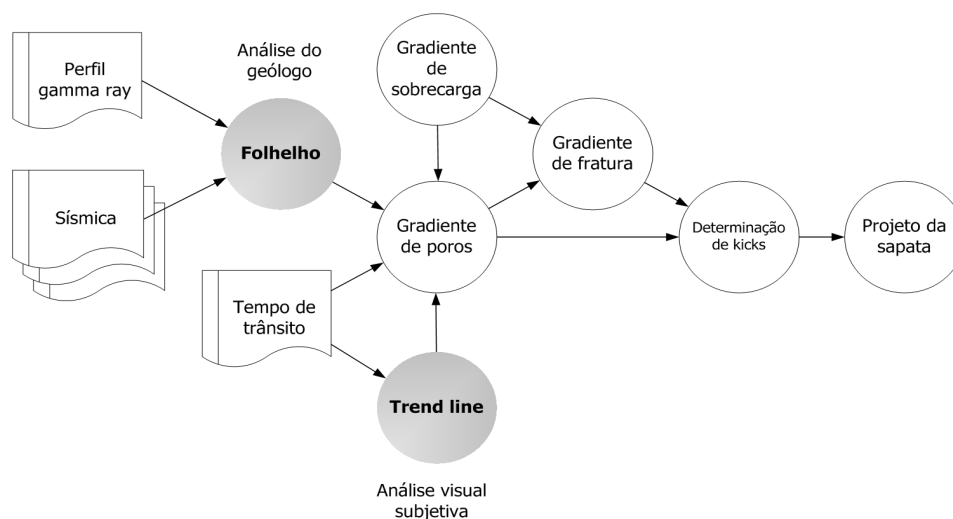


Figura 2. Rede Causal de determinação de instabilidade de poços de petróleo.
 Não determinismo local é gerado pelos parâmetros: reta de tendência e classificação das regiões de folhelho.

Um dos métodos mais utilizados no cálculo do gradiente de pressão de poros é o método de Eaton (fórmula 1). Este método parte do princípio que o gradiente de

pressão de poros a certa profundidade é função do gradiente de pressão de sobrecarga, do gradiente de pressão normal e da relação exponencial entre o perfil usado para medir o grau de compactação dos sedimentos e o valor da reta de tendência normal.

$$G_p = S - \left[(S - G_n) \times \left(\frac{T_n}{T_o} \right)^m \right] \quad \text{Fórmula 1}$$

G_p = Gradiente de poro;

S = Gradiente de Sobrecarga;

G_n = Gradiente de pressão normal;

T_n = Tempo de trânsito normal;

T_o = Tempo de trânsito observado;

m = Expoente de Eaton

O traçado da reta de tendência normal (T_n) é um dos pontos-chave desse método. O seu traçado é feito através de uma análise visual sobre o comportamento da curva de entrada de tempo de trânsito (T_o). O traçado é realizado em intervalos chaves, ou seja, em profundidades onde o perfil informa a existência de folhelho (rocha que possui grãos com menos de 1/256 mm de diâmetro).

A partir do gradiente de sobrecarga, chega-se ao gradiente de pressão de poro e, por conseguinte no gradiente de fratura. Para que não haja desabamento, as pressões devem ser inferiores a pressão normal (existe um valor default para isso, por exemplo 9,0 lb/gal indicado na figura 3).

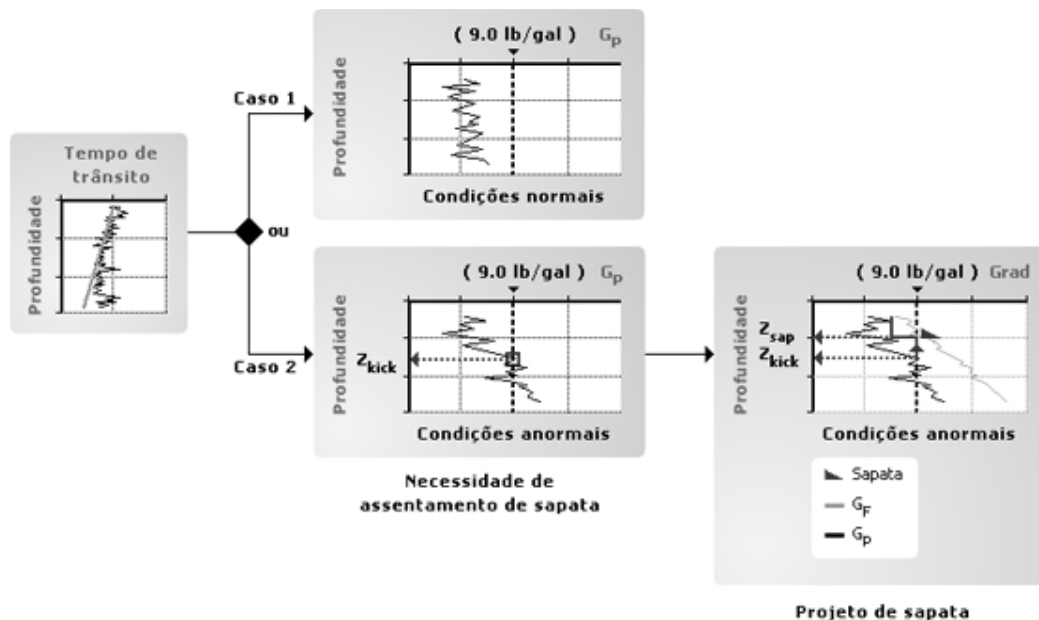


Figura 3. Exemplo dos possíveis casos gerados a partir de cálculos considerando uma reta de tendência e, quando necessário, o projeto da sapata.

Grad: Gradientes, G_p : Gradiente de poros, G_F : Gradiente de fratura

Como ilustrado na Figura 3, dependendo da reta de tendência, podemos inferir em que profundidade a pressão será acima da normal, se é que isto ocorrerá, e conseqüentemente a profundidade para assentar sapatas que evitem a ocorrência de kicks e/ou blowouts.

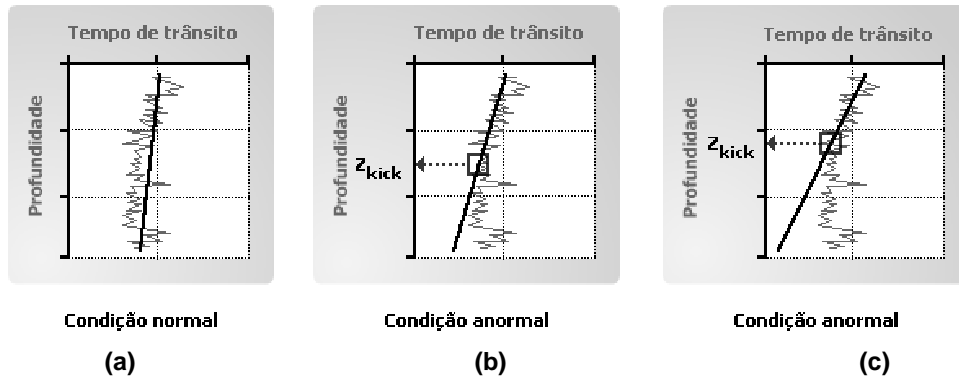


Figura 4. Exemplo de diferentes traçados da reta de tendência para um mesmo tempo de trânsito (a) Traçado que resultou em pressão normal em todo o poço, (b) e (c) Traçados que resultaram em pressão anormal a partir do ponto Z_{kick} .

Como podemos notar na figura 4 (a), (b) e (c) os diferentes traçados e inclinações na reta de tendência para um mesmo conjunto de dados de entrada ocasionam diferentes resultados no cálculo do gradiente de pressão de poros e conseqüentemente indicam diferentes profundidades de pressão anormal demonstradas nas Figuras 4 (b) e (c) por Z_{kick} .

3. O modelo ADDTL

Nosso trabalho surgiu da necessidade de automatizar o traçado da reta de tendência normal, fundamental no cálculo do gradiente de pressão de poros. Logo estaremos padronizando o processo, minimizando os erros decorrentes da interpretação humana e tornando o traçado mais preciso.

Técnicas de inteligência artificial como redes neurais não se demonstraram viáveis na resolução do problema, no momento da geração da reta de tendência, visto que esta tarefa não se caracterizou nem por classificação, nem por regressão e nem por análise de agrupamento.

Uma grande dificuldade deste traçado é reconhecer exatamente o ponto de inflexão que separa as zonas anormalmente compactadas das normalmente compactadas, pois a reta se aproxima dos pontos das zonas normalmente compactas e se desviará das zonas anormalmente compactadas. Logo não é uma simples aproximação de todos os pontos (método dos mínimos quadrados), requer uma análise do comportamento da curva, e esta análise é feita pelo especialista.

Para resolver este problema criamos o modelo híbrido ADDTL, ilustrado na Figura 5, de geração do traçado. Para isso aliamos as heurísticas inferidas da observação sobre a realização da tarefa por especialistas a regras de comportamentos estatísticos.

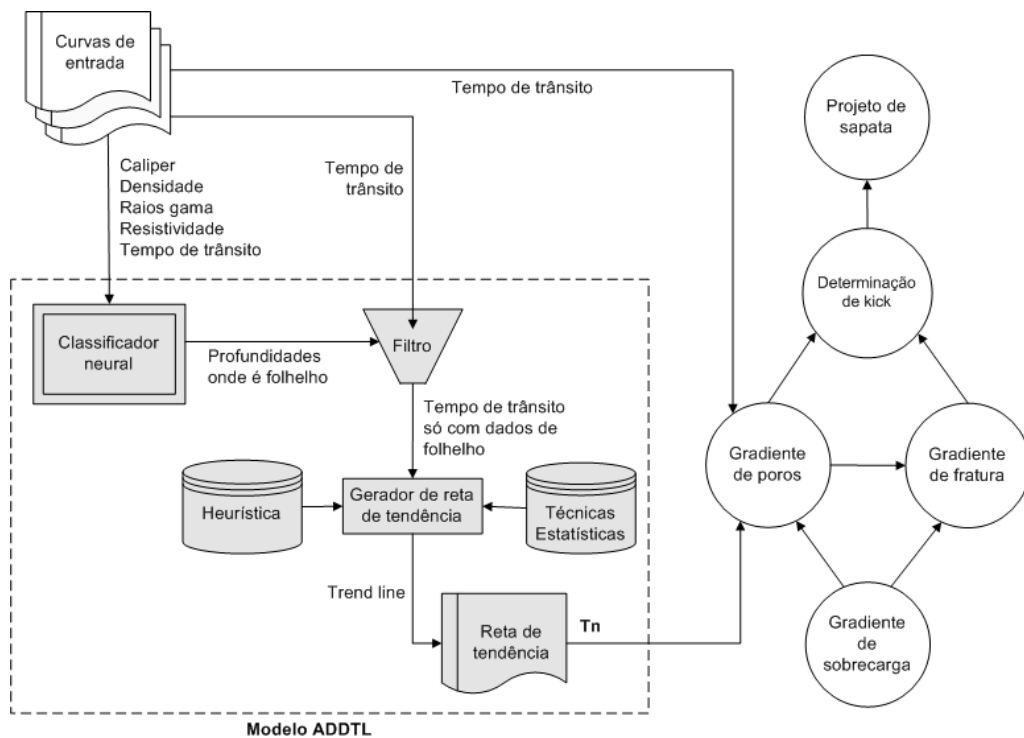


Figura 5. Modelo utilizado na resolução do traçado automático.

O modelo ADDTL possui duas entradas de dados e seis componentes que serão descritos a seguir.

Banco de conhecimento de técnicas estatísticas: Possui técnicas estatísticas que serão utilizadas no gerador de reta de tendência como, por exemplo, média (utilizada na suavização), método dos mínimos quadrados aplicados à curvas semi-logarítmicas (utilizado para a aproximação da reta de tendência), variância e desvio padrão (utilizados para remoção de ruídos provenientes de erros na calibração da broca e etc.). **Banco de conhecimentos heurísticos:** Extraímos heurísticas precisas de como analisar a curva, como, por exemplo, identificar as faixas de ruído, suavizar curvas e utilizar os trinta por cento dos pontos para gerar o traçado (faixa mais representativa). A curva de entrada possui ruídos que são desconsiderados pelos especialistas no momento de gerar o traçado. Esses ruídos são identificados por faixas iniciais de dados de tempo de trânsito, cujo desvio padrão é muito maior que o desvio padrão médio e tal comportamento permanece por uma faixa de leitura considerável. Como se pode notar, expressões como “muito grande” e faixa considerável devem ser tratadas para poderem ser sistematicamente utilizadas. **Classificador neural:** Usamos uma rede neural de retro-propagação feedforward [Garcia and Ferraz 2004] com quatro camadas: uma camada de entrada (com número de nós dependente das curvas de entrada de cada poço ou dos conjuntos de poços); duas camadas ocultas (sendo a primeira com 12 nós e a segunda com 16 nós); e uma camada de saída (com 2 nós para classificar os pontos de entrada em folhelho e não folhelho). Esta rede é um ponto importante do modelo, pois esta classificação é atualmente dependente do conhecimento do geólogo. **Filtro:** A saída do classificador entra no filtro que separará os pontos de tempo de trânsito naquelas profundidades que foram classificadas como sendo profundidades de folhelho. **Gerador**

de reta de tendência: O tempo de trânsito já filtrado com os dados do classificador entrará no gerador que é o componente fundamental do modelo, este componente é responsável em gerar a reta de tendência normal e seu algoritmo está descrito a seguir.

Embora a abordagem heurística geralmente apresente resultados grosseiros, para os resultados do nosso estudo, a combinação desta com os métodos estatísticos demonstrou grande potencial para gerar resultados precisos e tão bons quanto os gerados por especialistas, ainda mais, se comparado com o método manual atualmente utilizado.

Algoritmo

CalculaTrendLine(nLinhas, dpX, dpY)

```
// faz médias dos 50 pontos mais próximos para cada ponto
```

```
SuavizaCurva()
```

```
// pega o desvio padrão para retirar o ruído
```

```
inicio = 0
```

```
linhaInicial = calculaLinhaDesvioPadrao(inicio, nLinhas, dpX)
```

```
linhaTotal = nLinhas - linhaInicial
```

```
// copia os vetores dpX e dpY para dpXDesvio e dpYDesvio a partir da linha
```

```
// passada como parâmetro
```

```
copiaVetor(dpXDesvio, dpX, linhaInicial)
```

```
copiaVetor(dpYDesvio, dpY, linhaInicial)
```

```
// aproximação para uma parte dos pontos (30%)
```

```
int linha = linhaTotal * PERCENT_PONTOS;
```

```
y1 = dpY[0]; y2 = dpY[nLinhas-1]
```

```
aproximar(linha, dpXDesvio, dpYDesvio, y1, y2, &x1, &x2);
```

4. Resultados

Realizamos teste em 7 poços. A seguir temos um quadro descritivo dos poços testados e os resultados alcançados.

| Poços | Determinação correta de kick |
|--------|------------------------------|
| Poço 1 | ✓ |
| Poço 2 | ✓ |
| Poço 3 | ✓ |
| Poço 4 | ✓ |
| Poço 5 | ✓ |
| Poço 6 | ✗ |
| Poço 7 | ✓ |

Tabela 1: Quadro dos testes realizados com o modelo ADDTL

Como podemos notar na tabela 1 os resultados do modelo ADDTL aplicado a 6 poços ficaram muito bons se comparado com o traçado realizado pelo especialista, e 1 resultado ficou ruim.

Apresentaremos alguns exemplos do traçado gerado pelo nosso trabalho e o traçado gerado manualmente pelo especialista. O perfil utilizado no teste do modelo foi o tempo de trânsito (sônico) que é uma curva logarítmica. As profundidades utilizadas para realizar o traçado foram as profundidades que possuem folhelho. Em todos os exemplos os gráficos da esquerda representam a resposta do nosso modelo e os da direita a resposta do especialista.

As figuras 6 e 7 são exemplos de 2 poços cuja reta de tendência teve um ótimo resultado e se aproximou bastante do traçado realizado pelo especialista.

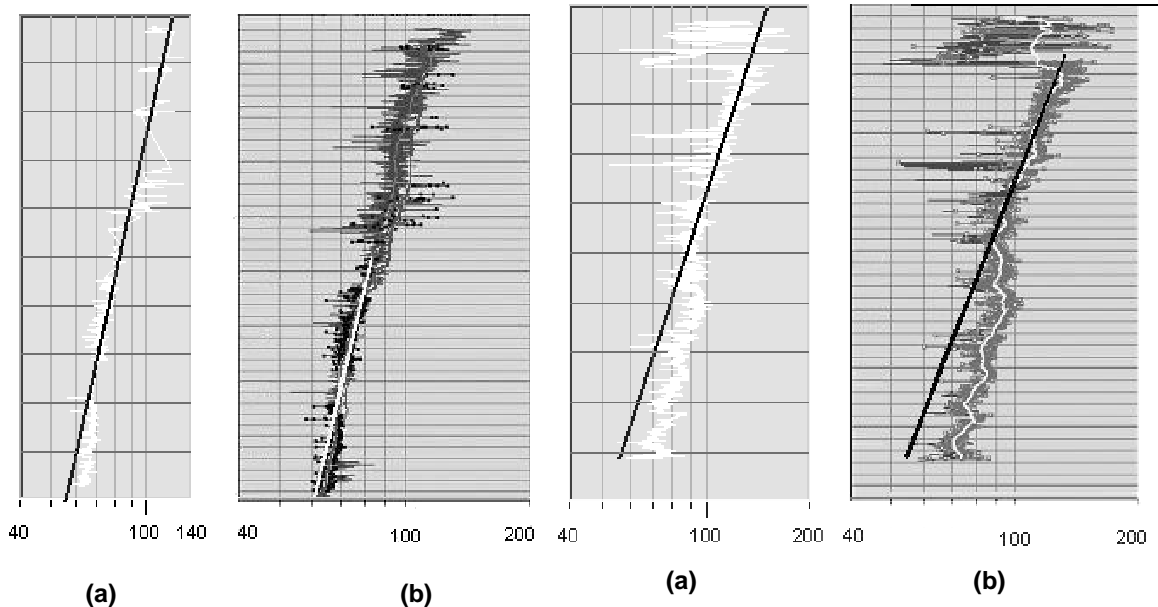


Figura 6. (a) Exemplo da reta de tendência do nosso sistema e (b) Reta de tendência manual.

Figura 7. (a) Exemplo da reta de tendência do nosso sistema e (b) Reta de tendência manual.

Analisando a figura 6, podemos observar que a inclinação obtida pelo nosso traçado automático da reta de tendência se assemelha muito com o traçado manual (feito pelo especialista). Neste resultado é fácil perceber que não houve caso de pressão anormal neste poço. A figura 7 é um exemplo clássico de uma curva que no trecho inicial possui ruídos (devidos à calibragem da broca e etc.) que precisam ser desconsiderados. Para solucionar este tipo de problema adicionamos ao algoritmo o cálculo do desvio padrão para eliminarmos esses pontos do cálculo da reta de tendência. Diferente do caso anterior, neste exemplo, pode-se verificar a ocorrência de zonas de pressão anormais.

A figura 8 é o exemplo do poço em que o resultado não se aproximou do resultado ideal. Tanto no nosso resultado quanto no resultado do especialista existem zonas de pressões anormais, porém a zona de pressão anormal é muito maior no nosso modelo do que no modelo do especialista. Podemos observar que a inclinação da nossa

reta é diferente, isto se deve ao fato de ruídos ao longo da curva não terem sido desconsiderados, logo os ruídos não acontecem somente no trecho inicial da curva.

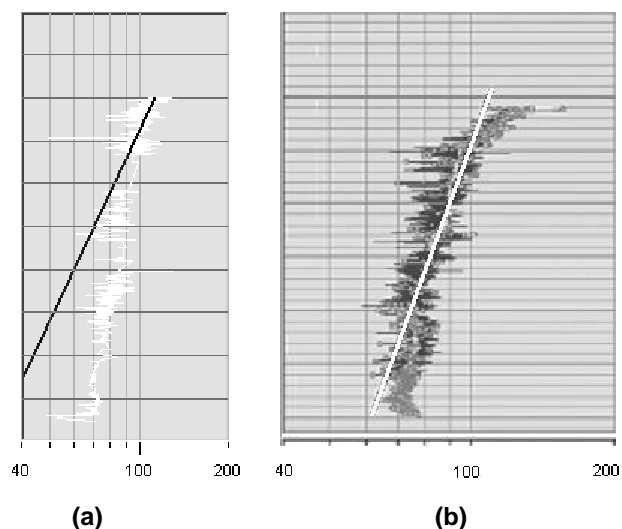


Figura 8. (a) Exemplo da reta de tendência do nosso sistema e (b) Reta de tendência manual.

5. Conclusão

O ponto de partida deste trabalho foi a busca de um processo de determinação automática da reta de tendência normal para a previsão da instabilidade em poços de petróleo.

O primeiro objetivo da pesquisa era automatizar a atividade aumentando a produtividade dos especialistas. O segundo objetivo era padronizar o “modus operandi” pois a maneira tradicional de obtenção da reta de tendência é altamente subjetiva e varia substancialmente entre os próprios especialistas do domínio. Não se esperava que os resultados obtidos fossem substancialmente melhores do que os atualmente disponíveis, mesmo porque testes reais são extremamente demorados pois a aferição de uma previsão só pode ocorrer depois de perfurado um poço, no qual, os gradientes de pressão de poros sejam medidos e comparados com os previstos. Em vez disto o que se fez foi aplicar o processo desenvolvido a poços já perfurados e comparar as “previsões” com as previsões feitas pelos métodos tradicionais e resultados obtidos. Sob qualquer dos pontos de vista os resultados foram bastante satisfatórios, pois nenhum especialista afirmou ter previsões melhores do que as descritas no presente trabalho (o que, por si só, já é um elogio gratificante). Ainda mais, a rapidez de emprego e a padronização de procedimento no âmbito empresarial são vantagens inequívocas.

Com estes resultados esperamos reduzir as estimativas erradas dos gradientes de pressão, uma vez que retiramos o fator subjetivo (interpretação humana) do processo. Desta forma, estamos reduzindo riscos de problemas ambientais, perda de vidas humanas, de equipamentos e tempo de perfuração da sonda, fenômenos estes que podem representar um custo alto no processo de perfuração.

A pesquisa continua sendo desenvolvida com o objetivo de tornar a reta de tendência ainda mais precisa e acertar o caso onde a resposta esperada não foi satisfatória.

6. Referências

Rocha, L. (2004) “Pressões das formações” Apostila de Especialização de Engenharia do Petróleo, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Triggia, A. and Correia, C. and et.All. (2001) “Fundamentos de Engenharia de Petróleo”, Edited by Interciência, Rio de Janeiro.

Garcia, A.C. B. and Ferraz, I. N. (2004) “Lithofacies recognition supporting tools”, The International Conference on Information and Computer Science, Dhahran, King Fahd University of Petroleum & Minerals, p.539-544.

Biblioteca Virtual (2004) “Estudo sobre ajuste de Profundidade para Sapata de Revestimento em águas Profundas e Ultra-Profundas”, <http://www.dep.fem.unicamp.br/boletim/BE50/destaque.htm>, Fevereiro.

Vanderbilt University (2002) “Fitting an Exponential Function to a set of data”, <http://www.vuse.vanderbilt.edu:8888/es130/lectures/lecture6/exponential.html>, Setembro.

(2002) “Síntese numérica”, <http://apec.unoeste.br/~lvccg/bioest/bioest.html>, Outubro.

(2001) “Graphing”, <http://www.ae.gatech.edu/classes/ae3051/craig-plots.pdf>, Outubro.