

INTERPRETAÇÃO E APLICAÇÃO DO PERFIL DE MERGULHO NA ÁREA SUDESTE DO CAMPO DE PILAR, BRASIL

DIPMETER – INTERPRETATION AND APPLICATIONS IN THE SOUTHEAST AREA – PILAR FIELD, BRAZIL

Maria Tereza Magalhães Garcia⁽¹⁾, Jessé Gomes de Sá⁽²⁾ e Raul Oliveira de Góes⁽¹⁾

RESUMO – A interpretação do perfil de mergulho se fundamenta no estudo de "padrões" definidos pelos agrupamentos de mergulhos a partir dos quais se torna possível a elaboração de modelos estruturais e estratigráficos para determinada área. Padrões vermelhos e azuis desenvolvidos em grandes intervalos representam perturbações estruturais tipo falhas ou discordâncias; em pequenos intervalos, relacionam-se a feições estratigráficas, tais como canais, estratificações cruzadas, escorregamentos. A partir deste estudo da área sudeste do Campo de Pilar, definida pelos poços PIR-49, 78, 89 e 85, foi possível constatar, na Formação Coqueiro Seco, a ocorrência de feições de canal, de frente deltaica, de estratificações cruzadas e lobos de suspensão. No aspecto estrutural, pôde-se definir um sistema de falhas em *roll-over*. O uso adequado de perfis de mergulho poderá ser de substancial relevância no estudo de determinadas áreas, inclusive no aspecto econômico, pois permitirá uma redução da testemunhagem prevista para fins de estudos ambientais.

(Originais recebidos em 07-IV-87.)

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Perfil de Mergulho

O perfil de mergulho, introduzido na pesquisa de petróleo na década de 30 e aperfeiçoado ao longo dos anos, é de grande utilidade na exploração de hidrocarbonetos. Entretanto, seu potencial de informações não é devidamente aproveitado, algumas vezes por se desconhecer o funcionamento dessa ferramenta ou a interpretação das informações que ela fornece; outras vezes, por não se ter ainda o hábito de utilizá-la.

1.2 – Objetivo

No intuito de analisar a eficiência do perfil de mergulho para aplicação exploratória, definição de prospectos exploratórios e divulgação entre os demais órgãos da Companhia, formou-se um grupo de estudo composto por geólogos das áreas de exploração e exploração, com assessoramento de um especialista da Schlumberger, o geólogo Pedro Ivo da Silveira.

1.3 – Método de Trabalho

Iniciaram-se os trabalhos com o estudo da bibliografia e discussões em grupo, visando a um melhor conhecimento da ferramenta e de seu funcionamento,

bem como à interpretação estratigráfica e à aplicação prática, através de exercícios e utilização da Rede de Wulff. A seguir, procedeu-se à compilação bibliográfica sobre aquisição de dados, parâmetros e métodos de interpretação estrutural e estratigráfica. Finalmente, houve aplicação do aprendizado em área selecionada do Campo de Pilar – AL, com mapeamento estrutural dos níveis Coqueiro Seco II e Coqueiro Seco IV, e interpretação estratigráfica.

2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para se obter uma análise satisfatória a partir do perfil de mergulho, fazem-se necessários conhecimentos básicos sobre a aquisição de dados e seu processamento, bem como sobre métodos de interpretação. Essas são, aliás, as três etapas sequenciais que devem ser seguidas no processo analítico.

2.1 – Aquisição de Dados

A resposta do perfil de mergulho baseia-se no registro – e posterior processamento – de dados obtidos através da medida e correlação de curvas de microrresistividade nas paredes do poço. O planejamento da perfilagem deve, portanto, ser feito de maneira a adaptar o tipo de ferramenta não só às condições do poço, tais como profundidade,

1 - Setor de Desenvolvimento de Alagoas, Divisão de Interpretação, Distrito de Exploração do Nordeste.

2 - Setor de Bacias Terrestres, Divisão de Interpretação, Distrito de Exploração do Nordeste.

temperatura e pressão, desvio e salinidade do fluido de perfuração, como também aos objetivos da aquisição, ou seja, à análise estrutural ou estratigráfica. A qualidade do perfil depende basicamente de três itens:

a) Calibração dos sensores

- sensores relacionados ao sistema de inclinometria e orientação da ferramenta (bússola e pêndulo no HDT, magnetômetro e acelerômetro no SHDT, localizados no cartucho da sonda). HDT e SHDT, marca registrada Schlumberger;
- sensores que definem a interseção das camadas sedimentares com o poço (eletrodos localizados no patim);

b) Checagem de qualidade do perfil

- velocidade do cabo;
- leituras coerentes – nenhuma leitura de desvio menor que zero;
- calibrações de superfície;

c) Objetivo do perfil de mergulho

- análise estrutural;
- análise estratigráfica e faciológica.

2.2 – Processamento

O processamento dos dados, que pode ser estrutural ou estratigráfico, consiste, basicamente, na correlação matemática entre as curvas de microrresistividade. Determinados parâmetros de entrada, que serão vistos a seguir, são requeridos para que se possam otimizar os resultados de cada processamento.

2.2.1 – Processamento Estrutural

a) Comprimento de correlação (*correlation length*)

Trata-se do intervalo de profundidade de uma curva de resistividade, que será utilizado para correlação com intervalos de igual comprimento em outras curvas de resistividade. Na prática, adota-se 1 e 2 m para formações com baixo e alto mergulhos, respectivamente. Comprimentos de correlação menores que 1 m tendem a disfarçar os mergulhos estruturais, enquanto os maiores que 2 m fazem, normalmente, uma média. Assim, distorções estruturais, tais como zonas de arraste e discordâncias, se tornarão pouco evidenciadas.

b) Passo ou recobrimento (*step distance*)

Representa os incrementos de profundidade da janela de correlação que são utilizados para obter a resposta do mergulho. A escolha predetermina a densidade das flechas no perfil de mergulhos. O recobrimento de janelas deverá ter entre 50 e 75% do comprimento de correlação.

c) Ângulo de pesquisa (*search angle*)

Indica até onde – acima ou abaixo do ponto (ou curva) de correlação – a máquina deve investigar para obter boa semelhança. O ângulo de pesquisa varia em função do diâmetro e do desvio do poço, e é aconselhável que se mantenha esse valor o mais próximo do mergulho máximo esperado, incluindo falhas. O eixo do poço deve ser usado como plano de referência, especialmente em direcionais. Os valores de 30 e 45 graus são normalmente utilizados para interpretação estrutural e estratigráfica, respectivamente.

2.2.2 – Processamento Estratigráfico

Esse processamento requer um maior nível de detalhe. A subtração matemática do mergulho estrutural, se maior que 5 graus, torna-se necessária, a menos que se trate de ambientes deposicionais tipo talude continental. Assume-se o mergulho estrutural como resultado do basculamento pós-deposicional. A experiência tem mostrado que comprimentos de correlação de 0,3 ou 0,6 m são ótimos para carbonatos e arenitos, respectivamente.

2.3 – Métodos de Interpretação

A escolha do método de interpretação não só depende da realização dos itens anteriores e da disponibilidade de dados geológicos, como também vai-se basear principalmente na experiência e no conhecimento do intérprete. O fluxograma apresentado na figura 1 ilustra passo a passo as etapas a serem percorridas.

2.3.1 – Padrões

Para facilitar a visualização das feições estruturais e estratigráficas na análise de grupos de mergulhos similares, é prática comum a utilização dos seguintes padrões de cores (fig. 2):

- Padrão verde ou padrão de baixa

energia – esse padrão, o mais simples de todos, representa o mergulho estrutural. Indica ambiente de baixa energia onde ocorrem mergulhos de menor dispersão;

- Padrão vermelho ou padrão de talude – os mergulhos aumentam de intensidade com a profundidade. Podem representar tanto falhas, dobras ou discordâncias (grandes variações em pequenos intervalos), como feições estratigráficas ou sedimentares (espessamento). Também podem representar drapamento (*slumping*), compactação diferencial ou estratos clásticos preenchendo um canal (fig. 3);
- Padrão azul ou padrão de corrente – os mergulhos diminuem de intensidade com o aumento da profundidade. Podem ser associados a feições sedimentares (estratificação cruzada). Podem também estar relacionados a falhas, dobras ou discordâncias, caso em que ocorrem sobre um grande intervalo em profundidade. O padrão azul também indica direção de transporte dos sedimentos e compactação diferencial (fig. 4);
- Padrão de alta energia ou mergulhos erráticos – esse padrão se caracteriza pela não ocorrência de qualquer dos padrões supracitados como resultado da presença de recifes, conglomerados, brechas, fraturas, dolomitização, concreções, etc. O padrão de alta energia pode, também, resultar de problemas mecânicos do poço.

2.3.2 – Interpretação Estrutural

Nos parágrafos seguintes serão discutidas, sucintamente, as feições estruturais mais comuns em nossas bacias.

a) Falhamento

O perfil de mergulho em uma zona com arraste, ou *rollover*, possibilita a identificação do plano de falha e respectivos blocos alto e baixo, seja essa falha normal ou reversa. Estruturas em *rollover* criam um extenso padrão vermelho, cuja direção aponta para o bloco alto e é normal à direção da falha (fig. 5a). Um excelente exemplo é o poço 7-PIR-12-AL, que apresenta extenso *rollover* para NW. Interpreta-se uma falha de direção NE/SW com bloco baixo para SE (fig. 6).

Uma reativação da falha após a compactação eliminará o *rollover* próximo ao plano de falha e o substituirá por arraste, criando um padrão híbrido. As camadas mais próximas ao plano da falha

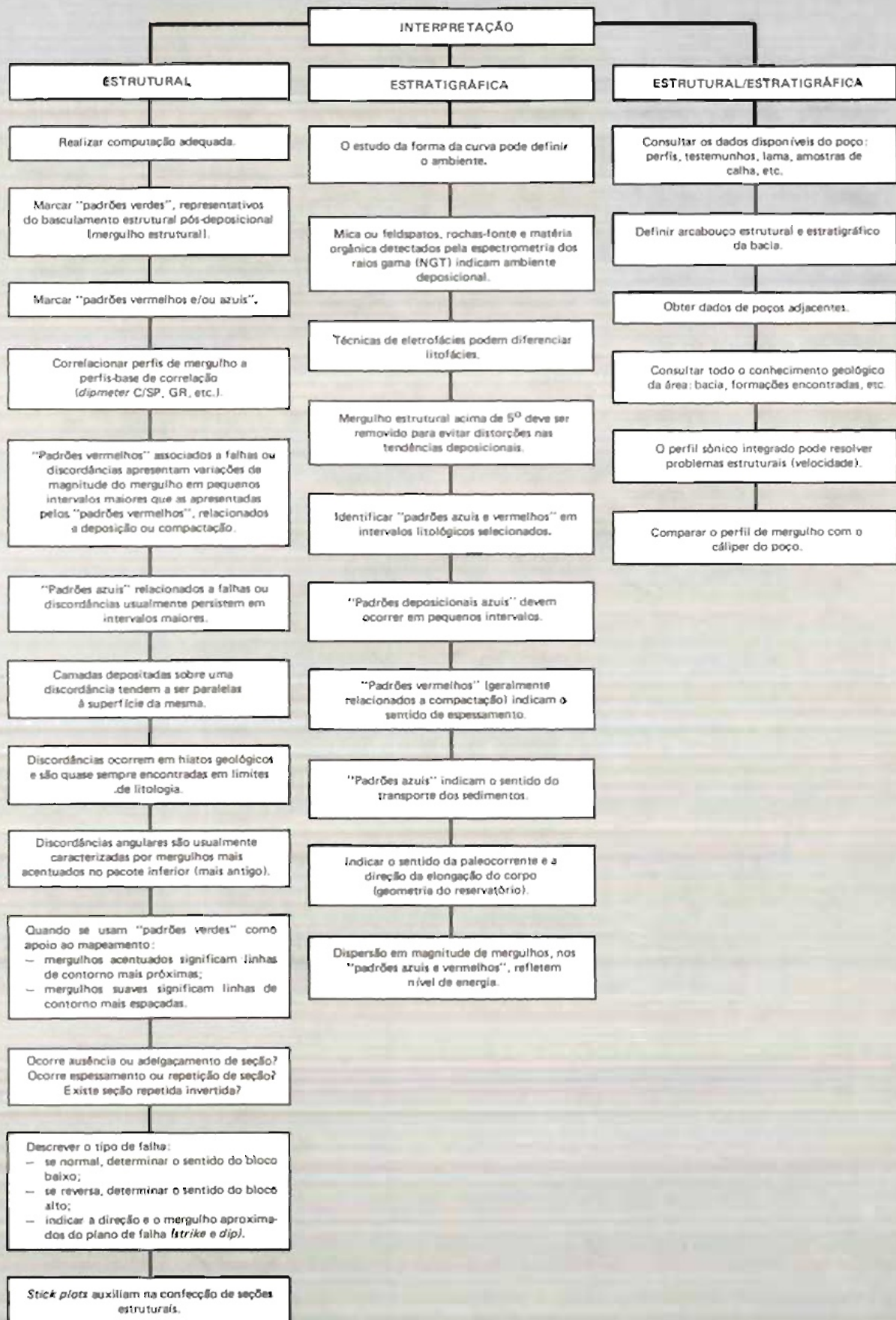


Fig. 1 - Métodos de interpretação: fluxograma.

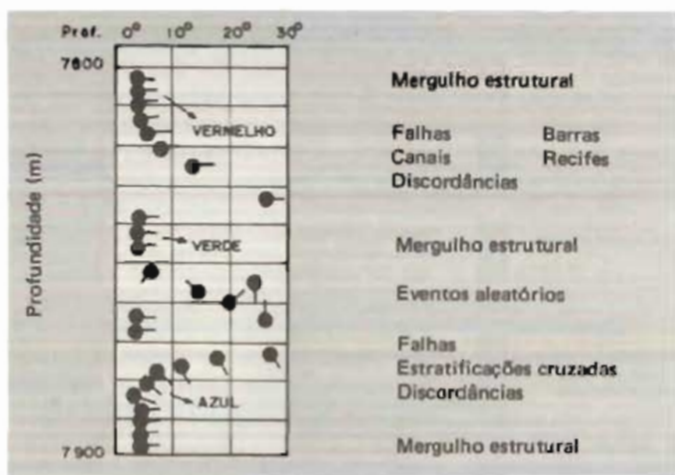


Fig. 2 - Padrões de mergulho e anomalias geológicas comumente associadas (SCHLUMBERGER, 1981).

mergulharão em direção ao bloco baixo (arraste). O mergulho, ao se distanciar, reverte-se e aponta em direção ao bloco alto (*rollover*) (fig. 5c).

Falhas que ocorrem após a compactação têm arraste que mergulha em direção ao bloco baixo (fig. 5b). Falhas que não apresentam distorção em seu plano não serão registradas pelo perfil de mergulhos, a menos que haja basculamento de um dos blocos (fig. 5d). Falhas reversas ou empurrões exibem arraste nos dois blocos. A direção de mergulho do arraste no bloco cavalgado é a mesma direção do empurrão e normal à direção da falha (fig. 5e).

b) Discordância angular

Aparece no perfil como súbita mudança de intensidade e/ou direção do mergulho (fig. 7). Padrões de corrente resultantes do intemperismo são geralmente encontrados abaixo das discordâncias. Padrões vermelhos algumas vezes ocorrem acima das discordâncias, como decorrência dos dobramentos dos sedi-

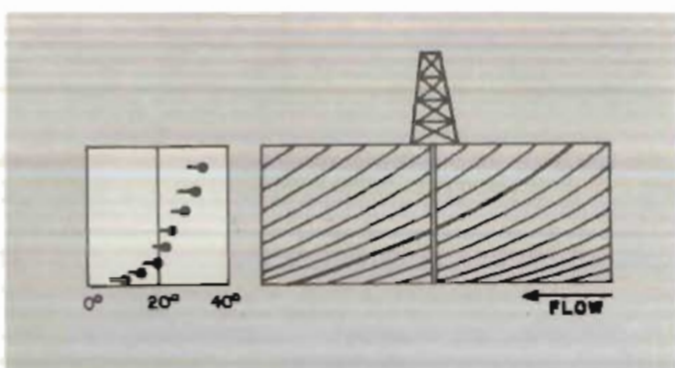


Fig. 4 - Modelo teórico para padrão de corrente (SCHLUMBERGER, 1980).

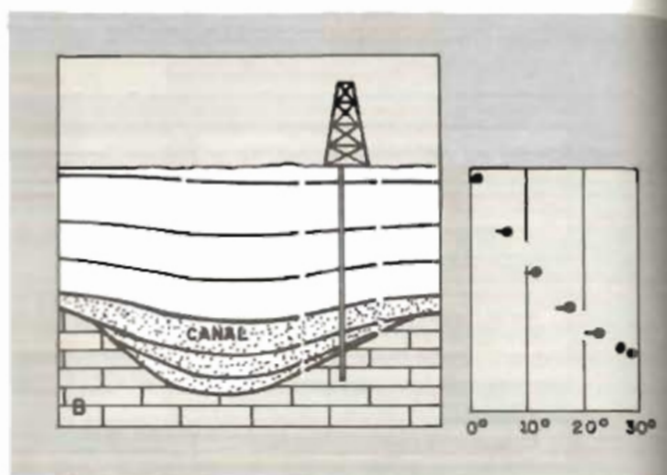


Fig. 3 - Geometria de canal (SCHLUMBERGER, 1981).

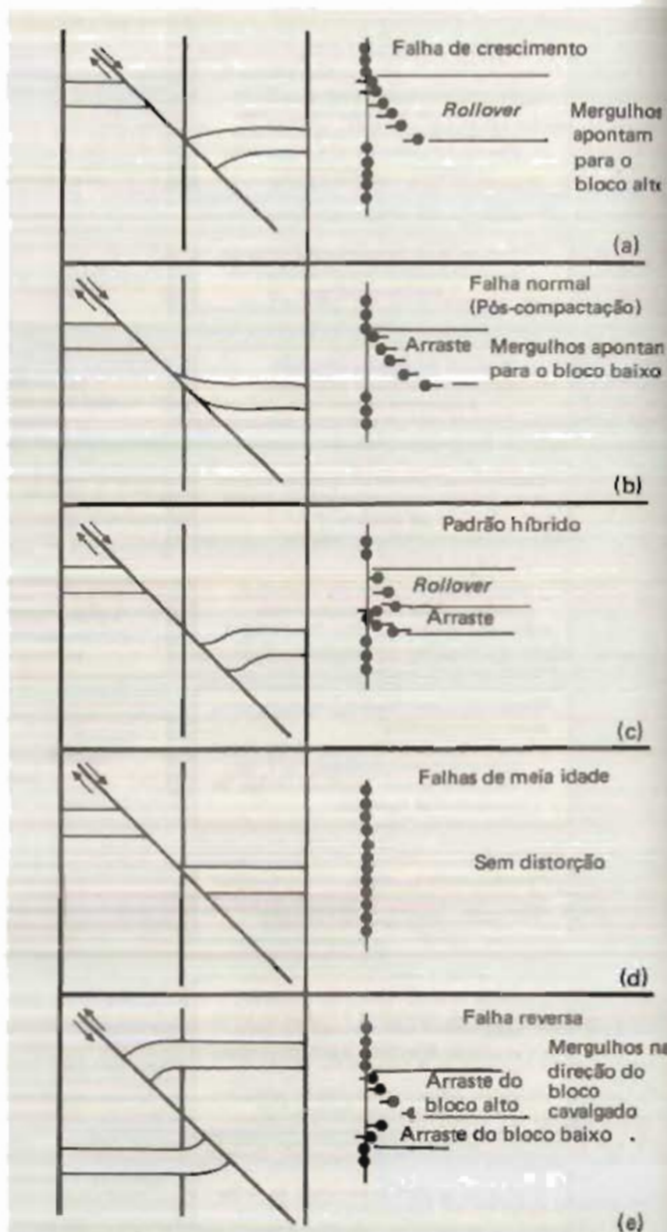


Fig. 5 - Padrões de mergulhos associados a diversos tipos de falhas (SCHLUMBERGER, 1980).

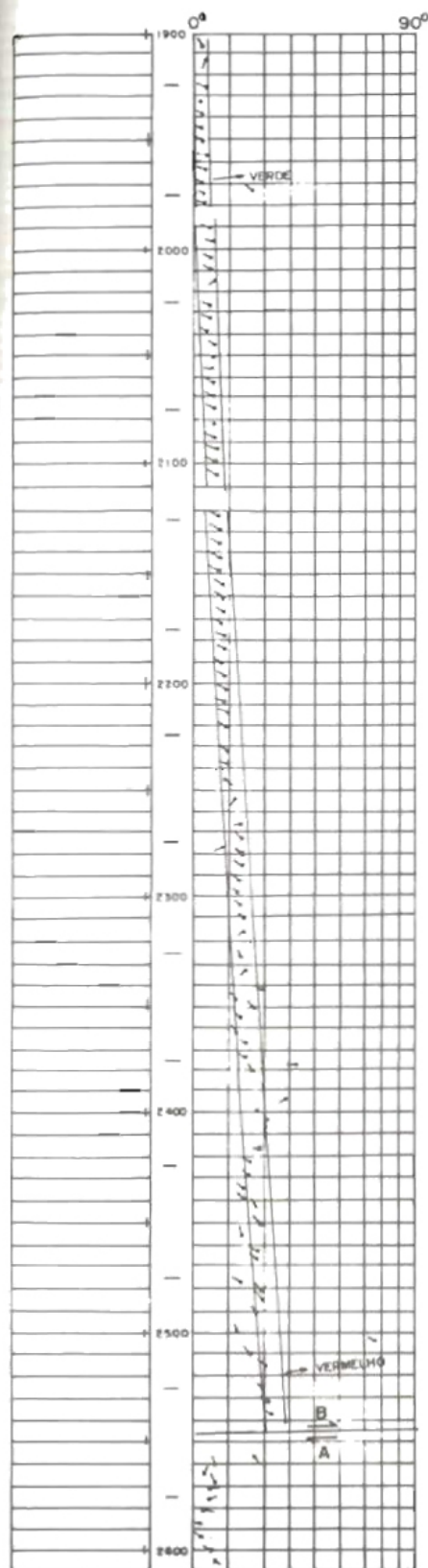


Fig. 6 - Poço 7-PIR-12-AL; exemplo de falha normal listrica com rollover (padrão vermelho); direção da falha = NE/SW; bloco alto = NW; bloco baixo = SE.

mentos depositados na superfície irregular erodida. A figura 8 é um exemplo de discordância em um dos poços da Bacia Sergipe-Alagoas.

É possível diferenciar falhas de discordâncias a partir das seguintes premissas:

- camadas depositadas sobre discordâncias são, em geral, paralelas à superfície da mesma;
- hiatos ocorrem em quebras de tempo e quase sempre são encontrados em limites de litologia;
- discordâncias angulares caracterizam-se, geralmente, por mergulhos elevados nas camadas mais antigas.

2.3.3 - Interpretação Estratigráfica

A interpretação estratigráfica consiste na comparação da litologia e dos padrões de mergulho com as feições estratigráficas esperadas. É indispensável que se tenha algum conhecimento do ambiente deposicional da zona em estudo. Esse ambiente pode apresentar as características que, a seguir, são descritas:

- a) Feições deposicionais geradoras de megapadrões de corrente

Frete de distributário ou depósitos de franja e leques submarinos geram padrões de corrente. Sua direção é a mesma do transporte do sedimento. Varia-

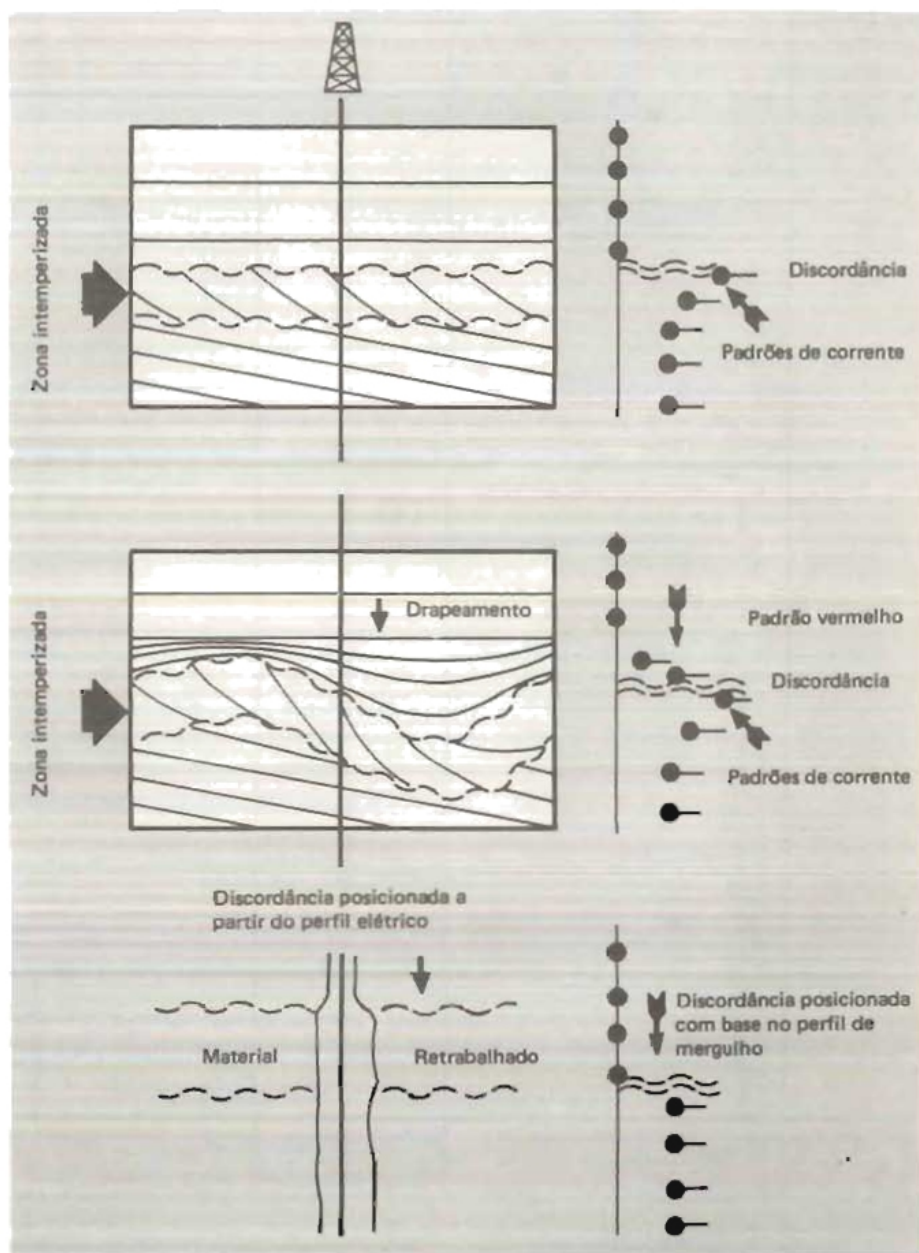


Fig. 7 - Discordâncias e padrões de mergulhos associados (SCHLUMBERGER, 1980).

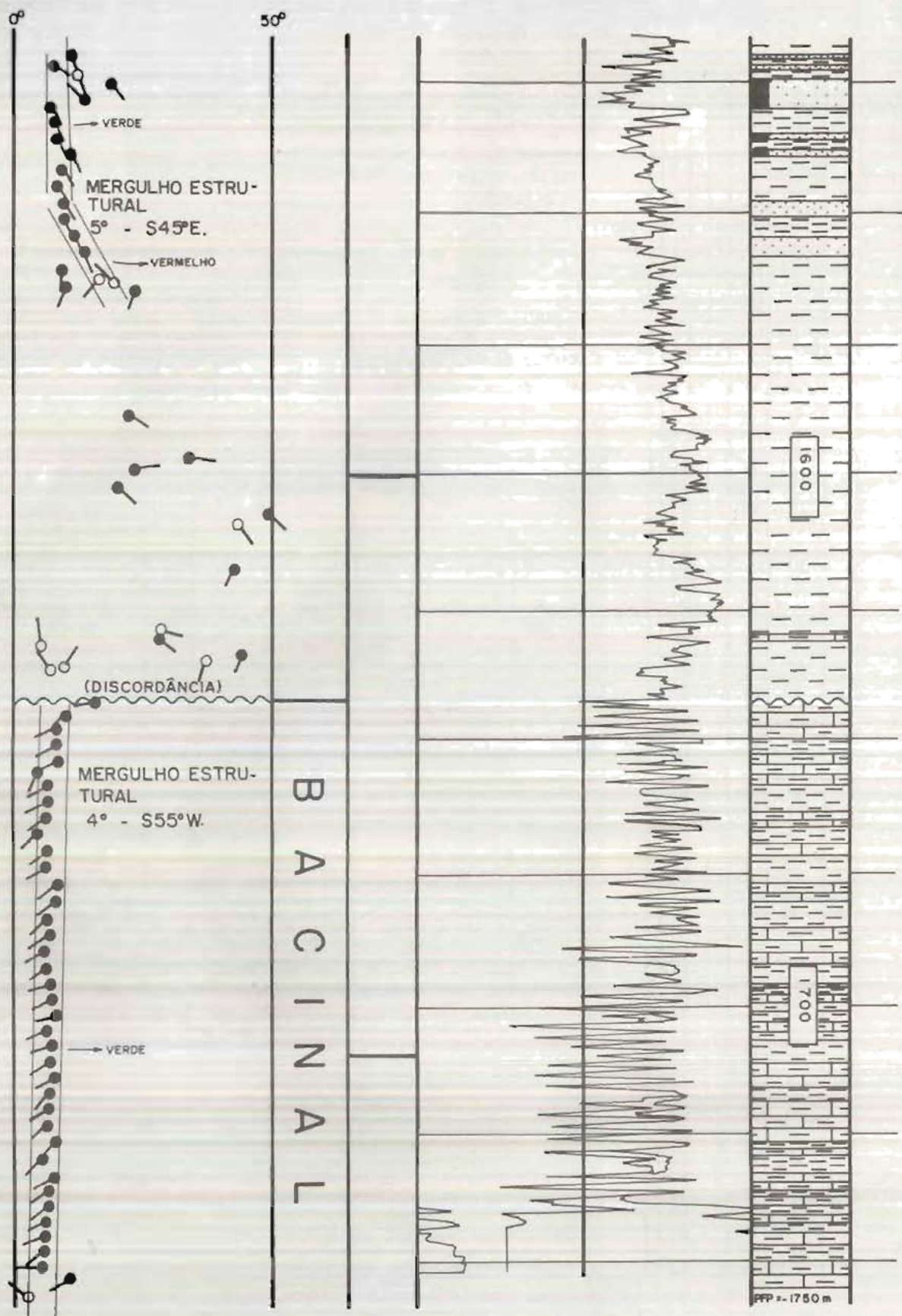


Fig. 8 - Poço 9-CG-2-SEX; discordância Pré-Calumbi.

ções na magnitude indicam a forma mais provável: as de 10 graus ou mais relacionam-se a formas alongadas na direção do mergulho; as inferiores a 10 graus indicam formas de leques. Tais formas refletem a energia do ambiente.

b) Feições de canal

Canais e feições acanaladas criados por corte e preenchimento ou por subsidência são encontrados em todos os ambientes. Canais formados pela ação da maré e por fluxos de turbiditos exibem padrões vermelhos na base e padrões de correntes na parte superior. As direções dos padrões acima citados formam ângulos de 90 graus aproximadamente. Feições acanaladas formadas por subsidência ou canais formados por correntes costeiras são, posteriormente, preenchidos pela lateral e exibem extensos padrões vermelhos. Nesse caso, qualquer padrão deposicional de corrente mergulha na mesma direção do padrão vermelho (fig. 9).

c) Barras e recifes

Megapadrões vermelhos também são gerados pelo dobramento de sedimentos mais novos sobre os flancos de corpos convexos, tais como barras e recifes (fig. 10). Num ambiente arenito/folhelho, o padrão vermelho localizado imediatamente acima da areia indica uma barra que acunha na direção do mergulho. O mesmo ocorre num ambiente carbonático, em que o drapeamento dos sedimentos sobrejacentes gera extensos padrões vermelhos mergulhando na direção do acunhamento do recife e normais à sua direção. Os mergulhos dentro da barra podem ser aleatórios ou formar padrões vermelhos ou de correntes. Dentro do recife são aleatórios (fig. 11).

d) Profundidade aparente de deposição

As variações na magnitude do mergulho são um indicador do nível de energia existente durante a deposição. Quanto maior o espalhamento, maior o nível de energia. Padrões de espalhamento similares são encontrados em plataformas e taludes. Folhelhos de talude e de planícies abissais apresentam baixa resistividade em relação aos da plataforma continental, o que auxilia na identificação ambiental. O espalhamento também pode ser ocasionado pela má calibração do poço.

No item 3.2, que trata da interpretação estratigráfica de quatro poços do campo

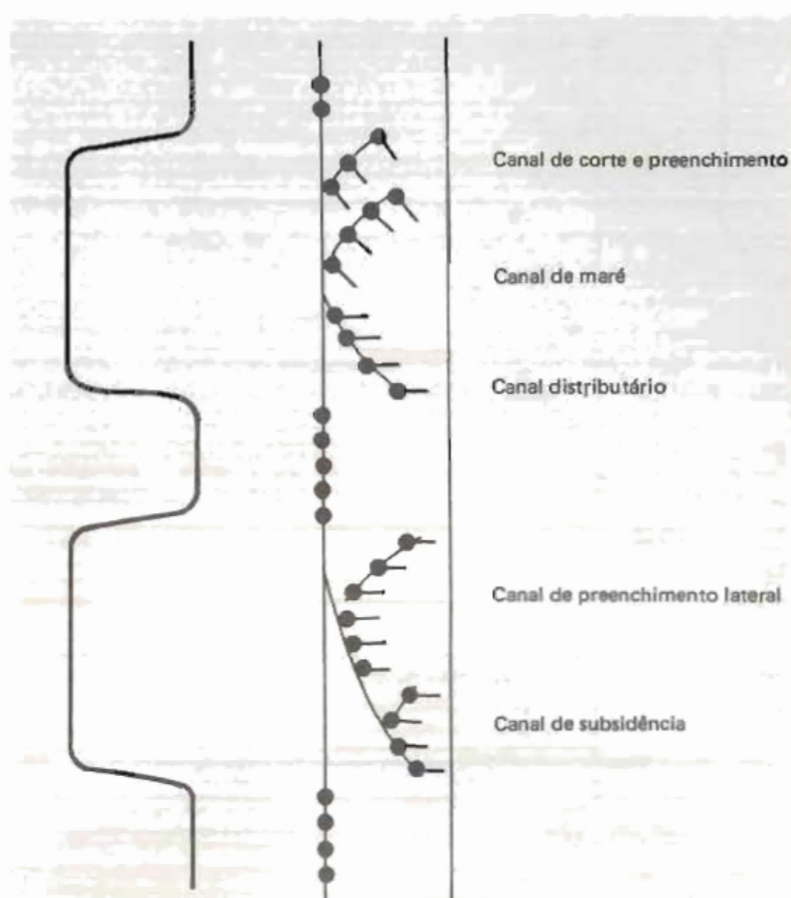


Fig. 9 - Padrões de mergulho e feições de canal associados (SCHLUMBERGER, 1980).

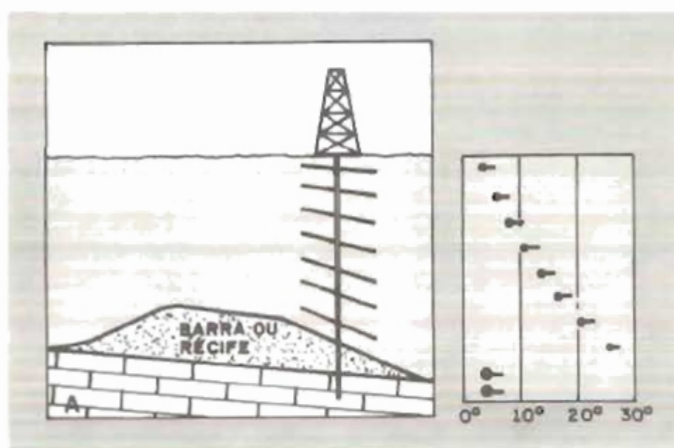


Fig. 10 - Padrão de mergulho associado a acunhamento (SCHLUMBERGER, 1981).

de Pilar - AL, apresentam-se e discutem-se exemplos de feições estratigráficas.

3 - APLICAÇÃO PRÁTICA

Visando à aplicação dos conhecimentos adquiridos, foi selecionada, para inter-

pretação estrutural e estratigráfica, uma área no extremo sudeste do Campo de Pilar - AL, que compreende os poços 3-PIR-49-AL, 3-PIR-78-AL, 3-PIR-85-AL e 3-PIR-89-AL (fig. 12).

A análise estrutural abrangeu todo o intervalo perfurado e foram mapeados os

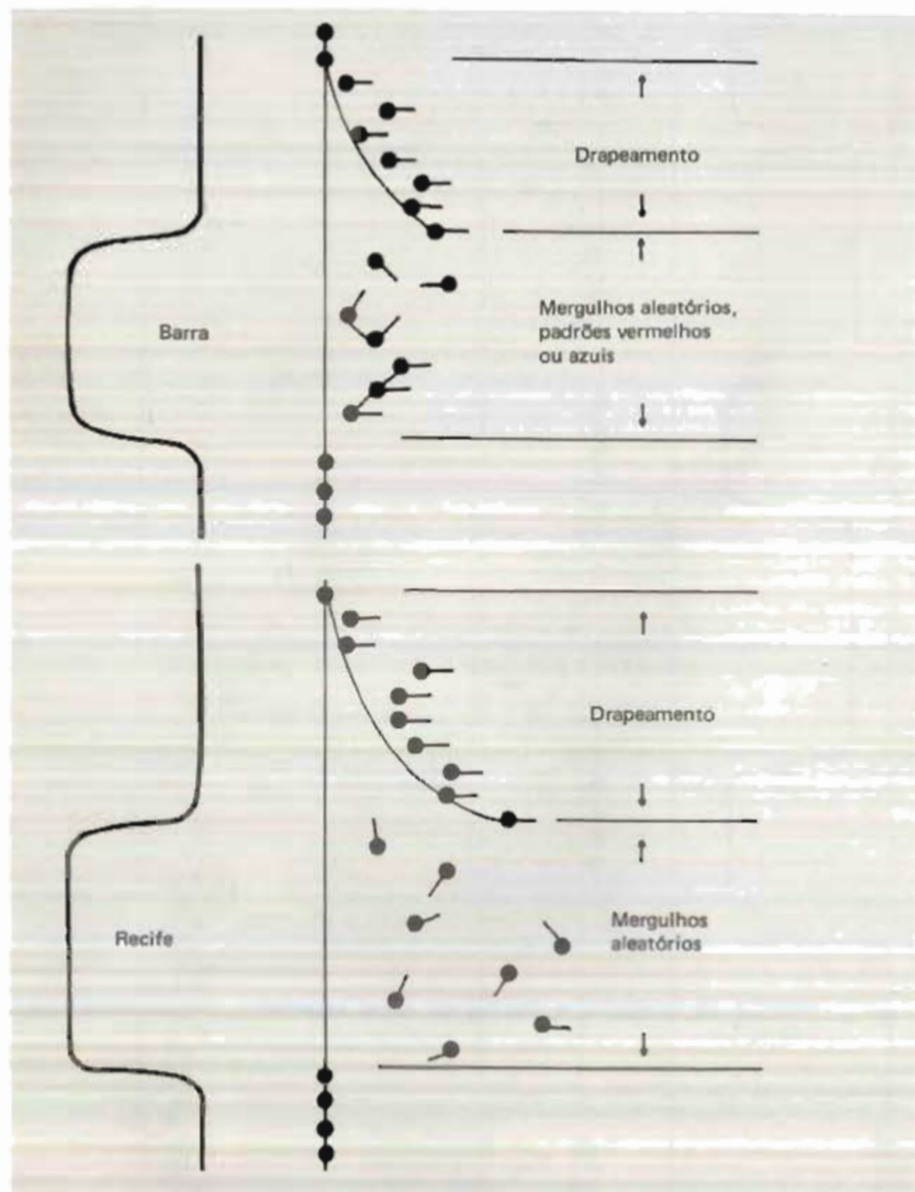


Fig. 11 - Padrões de mergulhos associados com barras e recifes (SCHLUMBERGER, 1980).

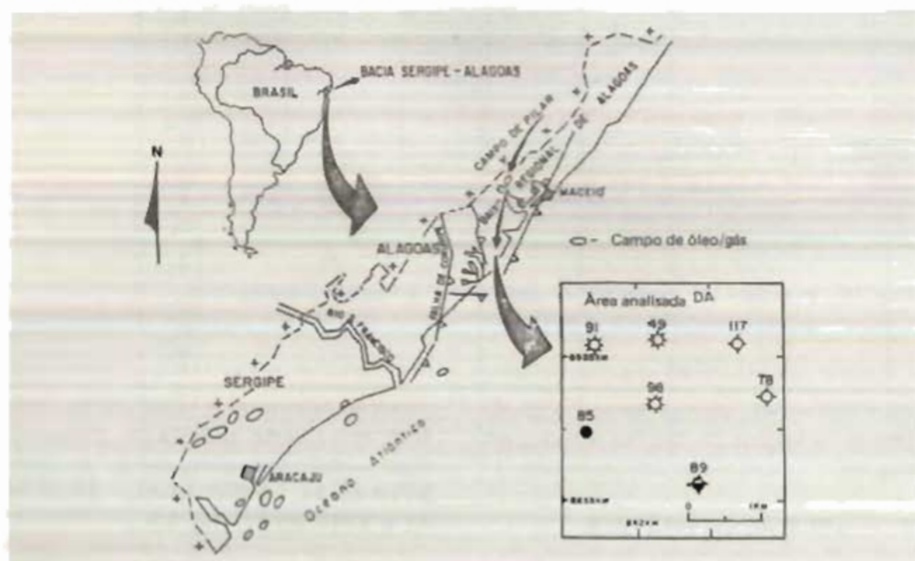


Fig. 12 - Mapa de situação - Campo de Pilar - AL.

horizontes Coqueiro Seco II e IV. A interpretação estratigráfica, por sua vez, ficou restrita às feições mais evidentes da Formação Coqueiro Seco.

3.1 - Análise Estrutural

A análise estrutural obedeceu às seguintes etapas:

- correlação e marcação dos topos, das formações e zonas, nos perfis elétricos e de mergulho, na escala 1:1 000;
- separação de padrões de cores e feições estruturais evidentes nos perfis de mergulho na escala 1:1 000, ou seja, identificação dos mergulhos estruturais, falhas e/ou discordâncias;
- análise detalhada dos padrões acima citados na escala 1:200 e montagem de seções geológicas. Nessa etapa foram utilizados mergulhos e direções corrigidos para a direção da seção por meio do uso da rede estereográfica;
- interpretação estrutural das seções e confecção dos mapas.

A análise estrutural mostrou que, no Coqueiro Seco IV, os poços PIR-49, PIR-78 e PIR-89 estão posicionados em um alto formado por três falhas de direções aproximadas N/S, NW/SE, NE/SW, respectivamente, fechando um bloco de forma aproximadamente triangular. No topo do Coqueiro Seco II, o bloco alto, também de forma triangular, tem sua área bastante reduzida pela migração das falhas.

Nas figuras 13 e 14, apresentam-se os mapas estruturais dos Coqueiro Seco II e IV, respectivamente. A figura 15 mostra um bloco-diagrama da área.

3.2 - Análise Estratigráfica

A área estudada enquadra-se em um sistema flúvio-deltaico em que se destacam as seguintes feições:

- Frente deltaica/canal distributário - essa feição, bastante comum - se não dominante - nos perfis analisados, reflete o canal distributário (padrão vermelho), progredindo por cima das areias da frente deltaica (padrão azul) (fig. 16). Os melhores exemplos dessa feição são mostrados nas figuras 17, 18 e 19;
- Lobo de suspensão e/ou barra de embocadura distal - as figuras 20 e 21 apresentam dois exemplos que podem tratar tanto de lobos de suspensão quanto de barras distais. O ambiente analisado permite as duas interpretações.

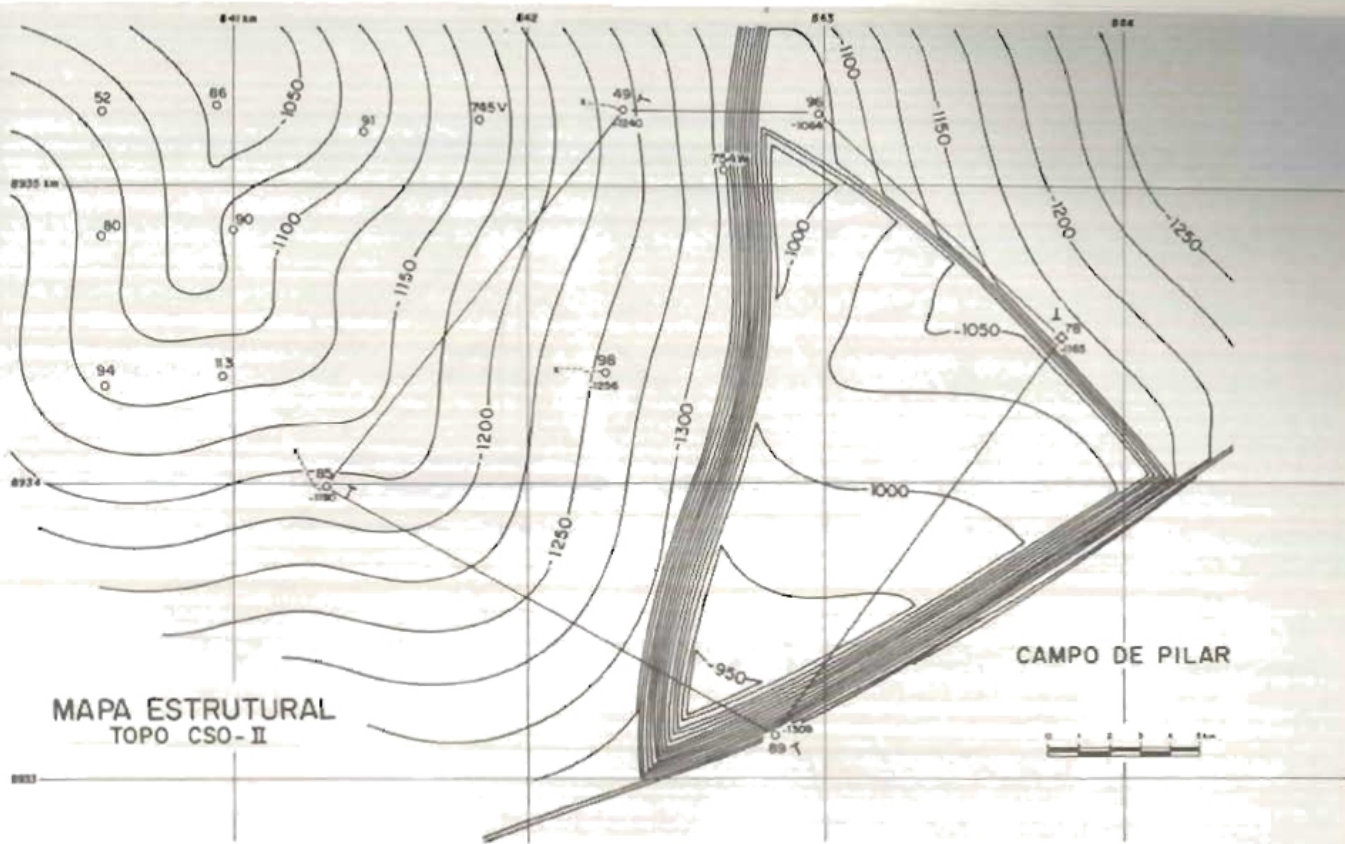


Fig. 13 - Mapa estrutural de Coqueiro Seco II.

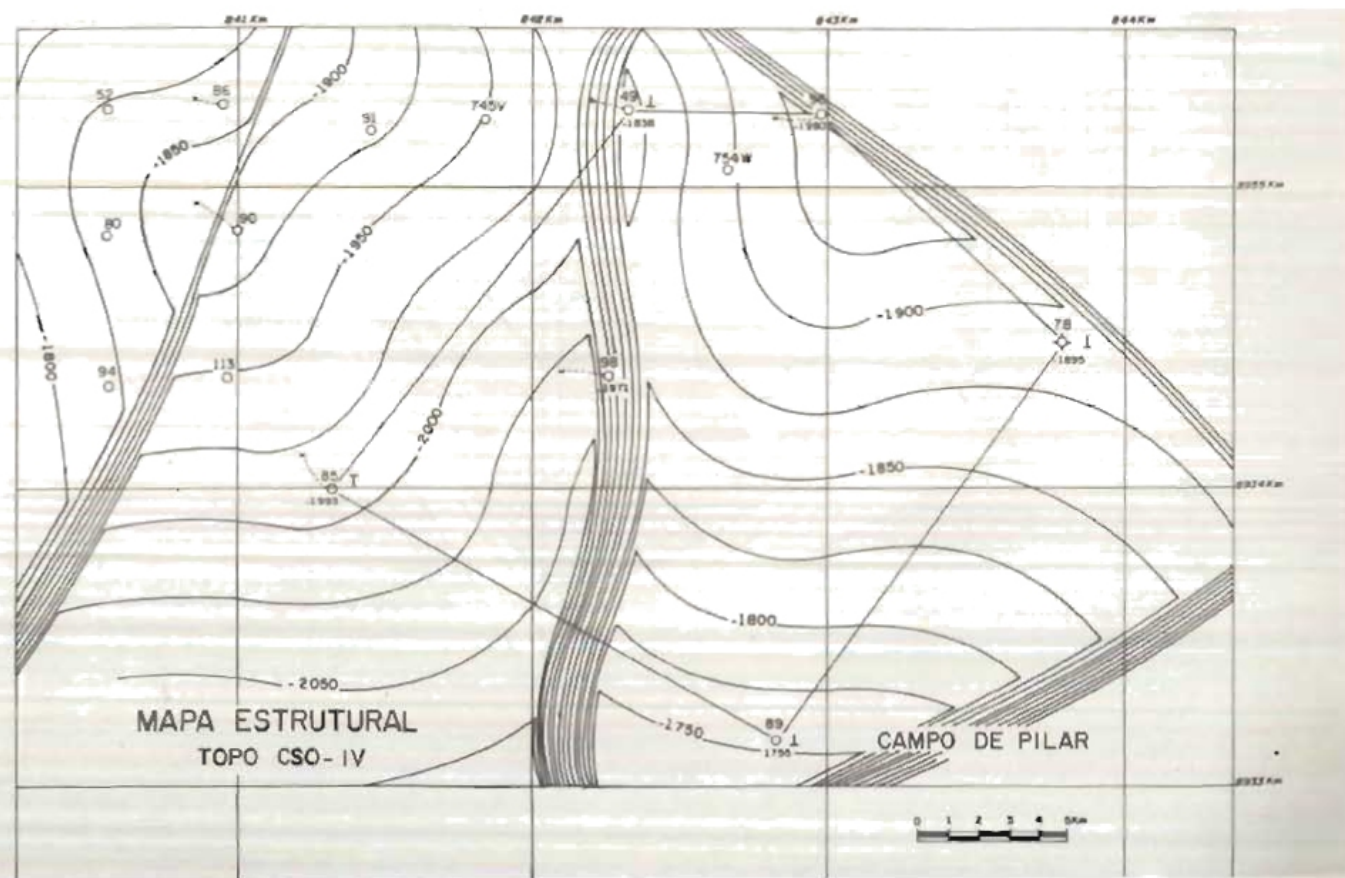


Fig. 14 - Mapa estrutural de Coqueiro Seco IV.

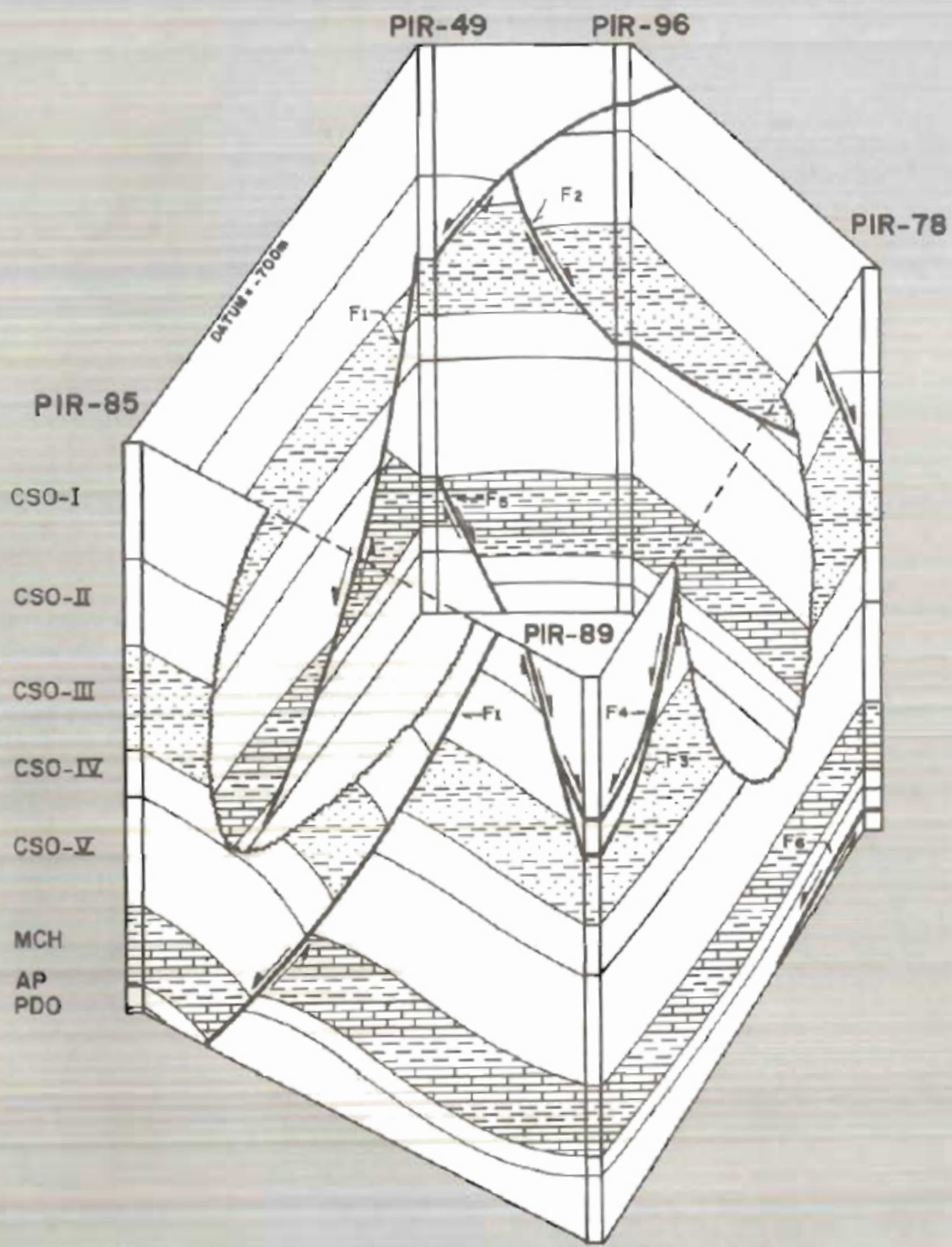


Fig. 15 - Bloco-diagrama da área estudada.

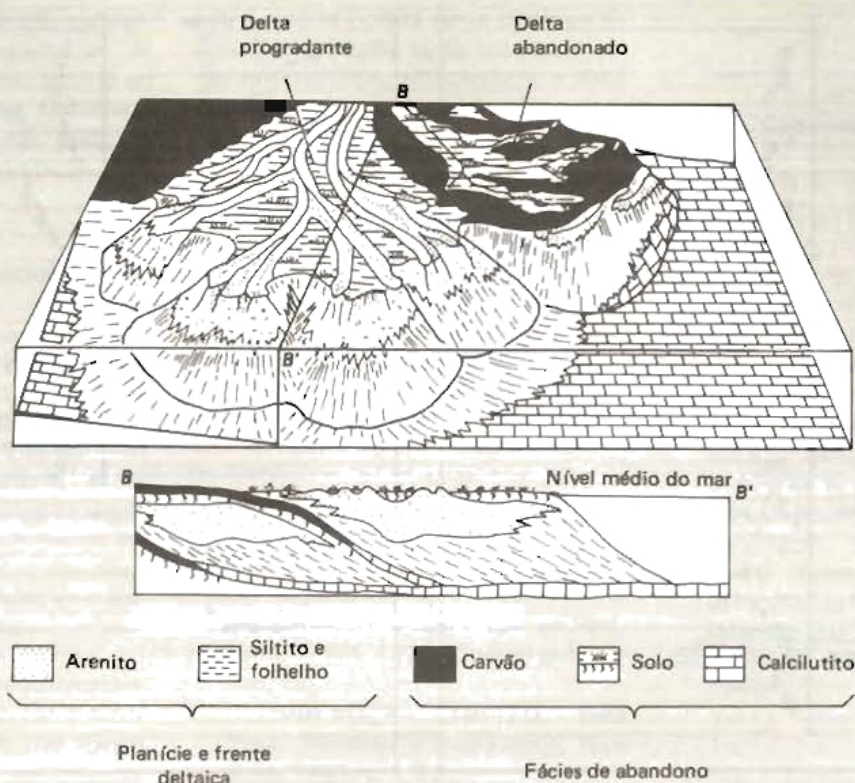


Fig. 16 - Bloco-diagrama que mostra a associação das fácies num delta (FERM, 1970).

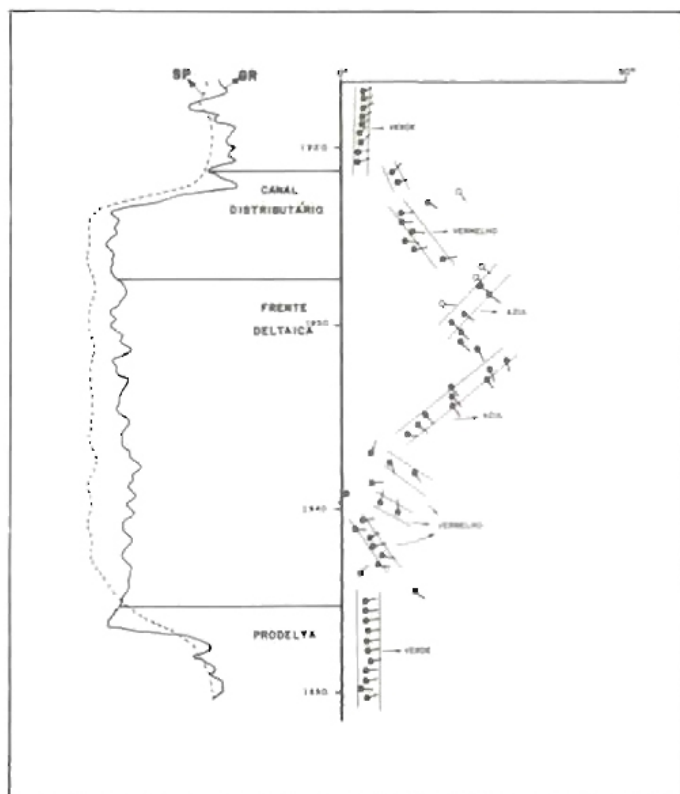


Fig. 17 - Poço 3-PIR-49-AL; Formação Coqueiro Seco; depósito de frente deltaica/canal distributário; direção do canal distributário = NW/SE; eixo do canal = NE/E; direção de transporte = SE.

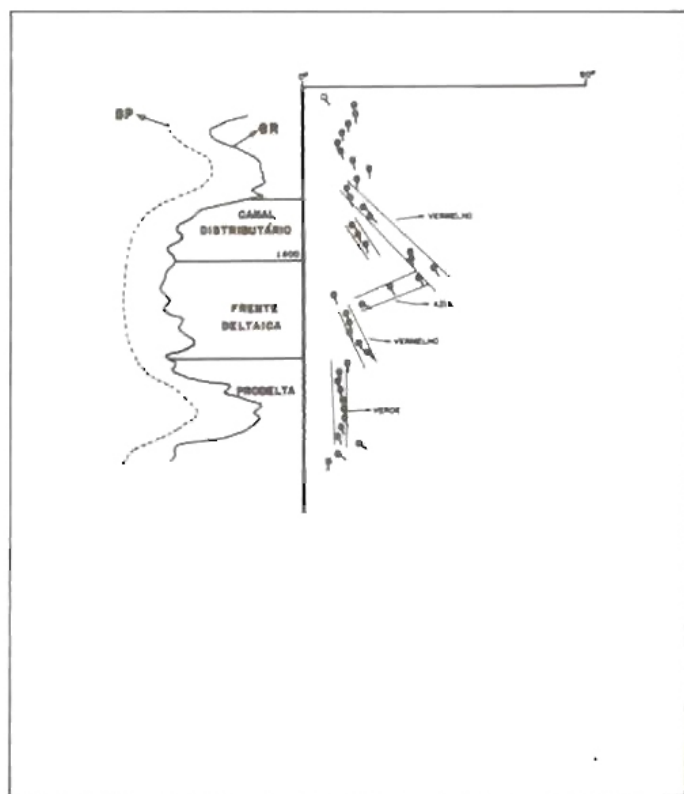


Fig. 18 - Poço 3-PIR-85-AL; Formação Coqueiro Seco; depósitos de frente deltaica; canal distributário; direção do canal = NE/SW; direção de transporte = SE.

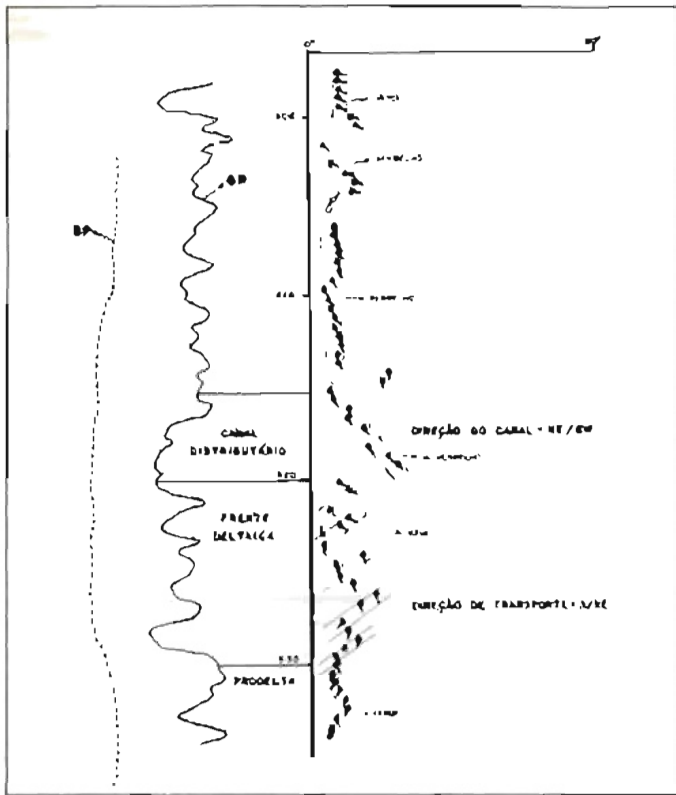


Fig. 19 - Poço 3-PIR-85-AL; Formação Coqueiro Seco; canal distributário/frente deltaica.

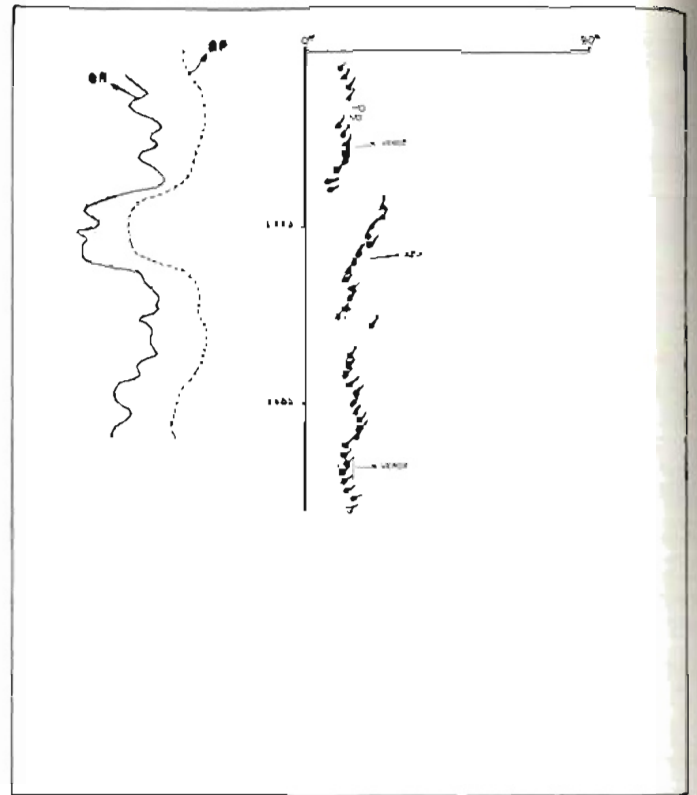


Fig. 20 - Poço 3-PIR-78-AL; Formação Coqueiro Seco; lobo de suspensão ou barra de embocadura; direção de progradação = NE.

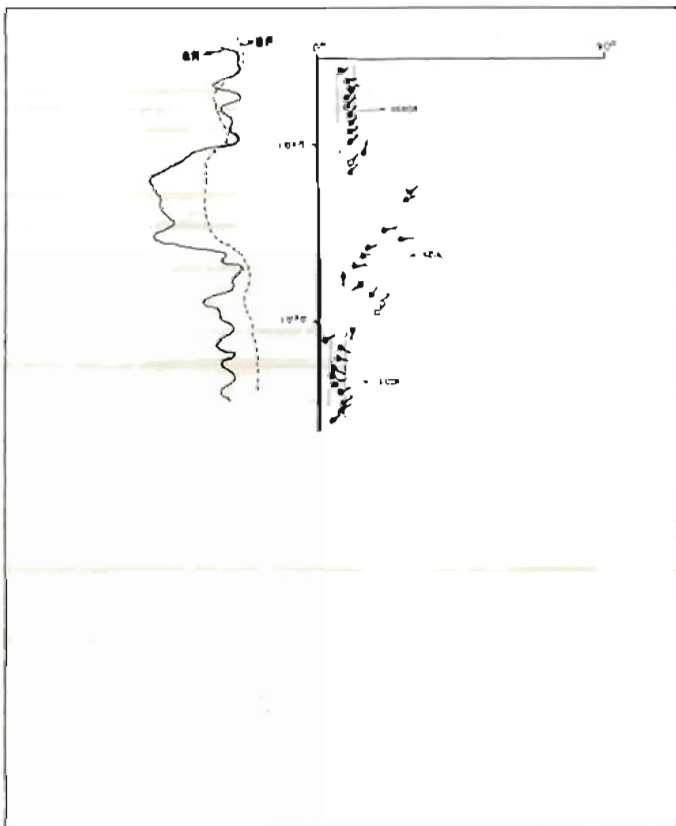


Fig. 21 - Poço 3-PIR-78-AL; Formação Coqueiro Seco; lobo de suspensão ou barra de embocadura; direção de progradação = NE.

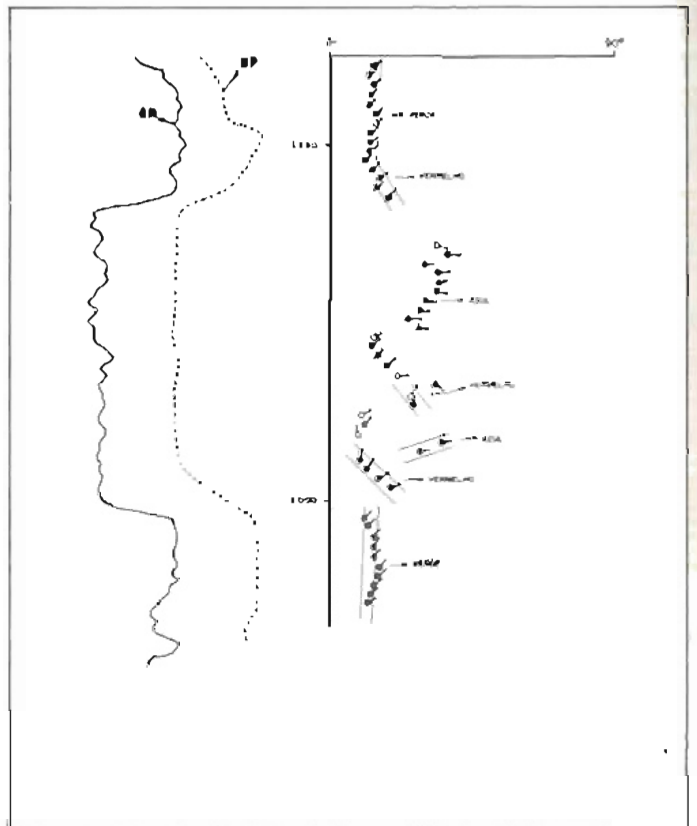


Fig. 22 - Poço 3-PIR-78-AL; Formação Coqueiro Seco; preenchimento de canal distributário, ou turbidito; direção do canal = NW/SE; direção de transporte = E.

Da mesma forma, há também duas interpretações para o tipo de feição apresentada na figura 22: ela resulta ou de preenchimento de canal distributário ou de turbidito de supralaque. O método de estudo aqui discutido não pode, no entanto, apontar a interpretação mais segura para o caso.

4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O perfil de mergulho tem sido utilizado principalmente para determinação de atitudes, falhas e discordâncias. Neste trabalho, foi possível sua aplicação não só no mapeamento estrutural, como também na definição do ambiente deposicional, na interpretação de feições sedimentares e no rastreamento dos reservatórios, utilizando-se direções de transporte evidenciadas nos perfis.

Recomenda-se que se utilize sistematicamente o perfil de mergulho como ferramenta auxiliar do geólogo, não apenas em poços pioneiros, mas também em áreas de desenvolvimento. É preciso ressaltar, contudo, que, em função do caráter

interpretativo do método, em um ou outro caso se poderá optar por mais de uma interpretação tanto estrutural como estratigráfica, utilizando-se a mais conveniente.

AGRADECIMENTOS

Aos geólogos Pedro Ivo da Silveira e Flávio Mesa Simon, pela orientação e apoio durante a execução deste trabalho; ao geólogo Antonio José Rodrigues Lins, pelo estímulo, auxílio e pela revisão dos originais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERM, J. C. Allegheny deltaic deposits. In: MORGAN, J. P. ed. *Deltaic sedimentation modern and ancient*. Tulsa, SEPM, 1970. (Special publication, 15).
- SCHLUMBERGER LIMITED, New York. *Dipmeter interpretation*. New York, 1981. v. 1, 61 p.
- SCHLUMBERGER OFFSHORE SERVICES, [New York]. *Dipmeter work-*

book. [New York], 1980. 72 p.

BIBLIOGRAFIA

- BIGELOW, E. L. Making more intelligent use of log derived dip information; Parts I-V. *Log. Anal.*, Houston, 26 (1): 41-53, (2): 25-41, (3): 18-31, (4): 21-43, (5): 25-40, 45-64, Jan.-Oct. 1985.
- GOETZ, J. F. et alii. Reservoir delineation by wireline techniques. In: ANNUAL CONVENTION OF THE INDONESIA PETROLEUM ASSOCIATION, 6, Jakarta, 1977.
- SCHOLLE, P. A. & SPEARING, D., eds. *Sandstone depositional environments*. Tulsa, American Association of Petroleum Geologists, 1982. 410 p. (Memoir, 31).
- SERRA, O., ed. *Sedimentary environments from wireline logs*. [New York], Schlumberger Limited, 1985. 1 v.
- VIRO, J. E., ed. *Avaliação de formações no Brasil*. [Rio de Janeiro], Schlumberger Limited, 1985. 1 v.

ABSTRACT

Since its introduction into the petroleum industry, fifty years ago, the dip log has been of great use to the search of petroleum, having passed through several improvement stages.

The basis of this log is the register and processing of data obtained by measuring and correlating microresistivity curves from the borehole wells.

Processing of the mathematical correlation between the microresistivity curves and the structural and stratigraphic aspects is emphasized at this phase, depending on the input parameters.

In order to facilitate the visualization of the structural and stratigraphic features identified in similar dip groups analysis, there are three color patterns: green, blue and red. The first one is indicative of low energy environments, and the other two can be used in structural or stratigraphic analysis, where they can represent faults, unconformities, pinch outs, differential compaction, cross stratification, and direction of transport, among others.

The principal features identified in the structural interpretation are faults and unconformities. They are characterized by sudden changes in the dip direction or/and magnitude. Normal and reverse faults display combinations of red and blue patterns, prevailing the first one.

After the identification of the fault plane and probable fault classification, its attitude is obtained from the lower part of the red pattern.

The stratigraphic interpretation consists in comparing the lithology and dip patterns with the expected stratigraphic features. A previous knowledge of the formation sedimentary environment is necessary. The most common depositional features are: deltaic front, channel features, bars and reefs, and turbidites. Deltaic fronts and prodeltaic shales are usually characterized by the vertical stacking of green (prodelta), blue and red patterns (deltaic front and possibly, channel). Channel features, bars and reefs display red pattern groups, whose direction indicates the channel elongation or the bars and reefs pinch outs,

depending on the circumstances.

It's necessary to point out here that every structural or stratigraphic analysis must be accompanied by the log pattern/lithology correlation.

In the southeastern Pilar Field area, onshore Sergipe-Alagoas Basin, a study of the Coqueiro Seco Formation (Early Cretaceous) was made. This area is a fault-bounded structural high, as defined by dipmeter interpretation techniques. The environmental interpretation, using computed stratigraphic dip logs, considered this area a fluvio-deltaic system, the deltaic fronts and distributary channel features being the most frequent ones.

The current utilization of dip logs in stratigraphic interpretation is likely to turn this tool not only a structural anomalies finder and bed's attitude supplier, but also a powerful tool to the identification of environments, stratigraphic features and sedimentary body geometries.

