

UTILIZAÇÃO DE ELEMENTOS DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO NA AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

USE OF PARAMETERS OF GEOLOGICAL MONITORING IN RESERVOIR EVALUATION

Taismar Zanini e Antonio Raimundo Corsino⁽¹⁾

RESUMO — A partir da análise de gráficos de inter-relação de dados de acompanhamento geológico — tempo de penetração, litologia, textura e indícios observados em fragmentos de amostras de calha — e de resultados de testes de formação, foram definidos parâmetros preditivos do comportamento dos reservatórios tão logo estes sejam atravessados pela broca. O emprego do conceito de “percentual de quebra de tempo de penetração” possibilitou minimizar a influência de fatores não-litológicos, tais como fluidos e equipamentos de perfuração, peso sobre a broca e o elemento humano, que afetam o tempo de perfuração de uma dada litologia. O tratamento estatístico das inter-relações permitiu estabelecer uma tabela de pesos proporcionais para cada elemento variável — granulometria, seleção, argilosidade, coesão, porosidade estimada e percentual de quebra —, possibilitando calcular a probabilidade matemática para o resultado de um teste. A utilização dessa metodologia de acompanhamento geológico otimizou as programações de avaliação dos poços em perfuração e tem mostrado bons resultados na avaliação em tempo real dos reservatórios da Formação Pendência, Bacia Potiguar emersa, Nordeste do Brasil.

(Originais recebidos em 06.01.87.)

1 — INTRODUÇÃO

A Formação Pendência, predominantemente constituída por folhelhos e arenitos pré-aptianos, tem apresentado resultados animadores na mais recente fase exploratória na parte emersa da Bacia Potiguar. Na avaliação dessa unidade estratigráfica, têm-se utilizado parâmetros de acompanhamento geológico como elementos preditivos do comportamento de seus reservatórios quando submetidos a testes de formação, o que facilita a avaliação de poços.

Este trabalho tem três objetivos principais: a) relacionar quantitativamente padrões de textura, litologia, indícios de hidrocarbonetos e tempo de penetração com resultados de testes de formação; b) introduzir, na rotina de trabalho de campo, o uso destas relações nas decisões acerca da avaliação de poços; c) enfatizar a importância das descrições de amostras de calha, realizadas na boca do poço, e do tempo de penetração como atributos para o julgamento da qualidade dos reservatórios.

2 — METODOLOGIA

A metodologia utilizada consta da preparação de *plots* cruzados ou gráficos de inter-relações e do emprego do conceito de “percentual de quebra de tempo de penetração” (PQ), definido pela primeira vez por CORSINO & ZANINI (1985) como o “complemento, percentualmente expresso, da razão entre o tempo de penetração de um arenito e o tempo de penetração do folhelho sobrejacente. Esta definição é expressa pela equação:

$$PQ = (100) - (T_{pa}/T_{pf}) \times 100,$$

onde:

PQ = percentual de quebra de tempo de penetração (%)

T_{pa} = tempo de penetração no arenito (min/m)

T_{pf} = tempo de penetração no folhelho (min/m)''.

Inúmeros fatores, tais como peso sobre a broca, fluidos e equipamen-

1 - Setor de Operações Geológicas Terrestres, Divisão Regional de Operações Geológicas, Distrito de Exploração da Bacia Potiguar, Departamento de Exploração.

tos de perfuração, profundidades e o elemento humano, afetam a taxa de penetração. Entretanto, verificou-se que o PQ, justamente por minimizar a influência desses fatores, variava pouco. Daí sua consistência na discriminação de folhelhos e arenitos e na predição da qualidade do reservatório.

Os *plots* cruzados foram elaborados a partir dos dados de acompanhamento geológico de 45 poços exploratórios e da interpretação qualitativa de 79 testes de formação. As construções gráficas que inter-relacionam parâmetros qualitativos e quantitativos foram organizadas em histogramas, com campos específicos para o *plot* de cada variável. Ressalte-se que, para as descrições de amostras de calha (litologia, granulometria, seleção, coesão, porosidade estimada e argilosidade), foi utilizada lupa bi-

nocular com aumento de dez vezes.

3 – CALIBRAÇÃO DE PARÂMETROS

3.1 – Relação entre Percentual de Quebra e Tipos de Amostras de Calha

Observou-se que o PQ, em arenitos desagregados e friáveis, tende a se posicionar em valores acima de 40%, enquanto, em arenitos compactos, concentra-se abaixo desse percentual. Não há, entretanto, resolução em arenitos semifriáveis (fig. 1).

Valores de PQ inferiores ou iguais a 40% caracterizam arenitos normalmente argilosos com porosidades estimadas fechadas. Por outro lado, os arenitos se apresentam limpos e com porosidades regulares a boas em PQs maiores que 40%

(fig. 2).

Arenitos mal selecionados, com granulometria de fina a grosseira, apresentam, em média, PQs acima de 40% (fig. 3). Em contrapartida, arenitos bem selecionados (de finos a muito finos) tendem a apresentar valores de PQ menores que 40 pontos percentuais.

O PQ exibe comportamento bem definido em relação aos resultados de testes (fig. 4). Nos intervalos com PQs superiores a 40%, situam-se 91% dos testes com bons resultados, 89% dos testes com resultados regulares e apenas 5% dos testes indicadores de reservatórios fechados (tabela I). Como reflexo deste comportamento, o PQ revelou média de 55%, com desvio padrão de 8, para resultados de bons a regulares, e média de 35%, com desvio padrão de 6,5,

TABELA I

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA RELATIVA DOS ELEMENTOS DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO EM RELAÇÃO AO RESULTADO DO TESTE (FORMAÇÃO PENDÊNCIA – PARTE EMERSA DA BACIA POTIGUAR)

Parâmetros de Acompanhamento Geológico		Resultado do Teste (Produtividade/Transmissibilidade)		
		Boa	Regular	Baixa
PQ	> 40	0,91	0,89	0,05
	≤ 40	0,09	0,11	0,95
Porosidade estimada	Boa (B)	0,38	0,31	0,07
	Regular (R)	0,50	0,46	0,12
	Fechada (F)	0,12	0,23	0,81
Argilosidade	Arenito limpo (ARO)	0,96	0,69	0,17
	Arenito argiloso (AGO)	0,04	0,31	0,83
Granulometria	Médio (MED)	0,50	0,46	0,12
	Fino a médio (FNO/MED)	0,29	0,08	0,12
	Muito fino a fino (MFN/FNO)	0,21	0,46	0,76
Seleção	Má (M)	0,63	0,46	0,14
	Regular (R)	0,33	0,23	0,48
	Boa (B)	0,04	0,31	0,38
Coesão	Desagregado (DSG)	0,38	0,31	0,07
	Semifriável (SFR)	0,58	0,54	0,62
	Compacto (CMP)	0,04	0,15	0,31

quando o reservatório é fechado.

3.2 — Relação entre Resultados de Testes e Amostras de Calha

Consideraram-se os seguintes atributos das amostras de calha: porosidade estimada, argilosidade, seleção, granulometria e coesão.

Relacionando-se a porosidade estimada

e a argilosidade com os resultados de testes, constatou-se que aqueles com boas produtividades foram efetuados em arenitos limpos (96% dos casos), com porosidade estimada de regular a boa (88% dos casos). Já os testes reveladores de reservatórios fechados estão relacionados aos arenitos argilosos e com porosidade estimada fechada em 83 e 81% dos casos, respectivamente (fig. 5).

Testes com boas produtividades se relacionam com arenitos mal selecionados (63% dos casos) e com granulometria mais grosseira que a da classe dos finos (79% dos casos) (fig. 6). Testes com baixas produtividades estão associados com arenitos de finos a muito finos (76% dos casos) e de bem a regularmente selecionados (86% dos casos). Resalte-se que a associação de arenitos mal selecionados aos melhores reservatórios

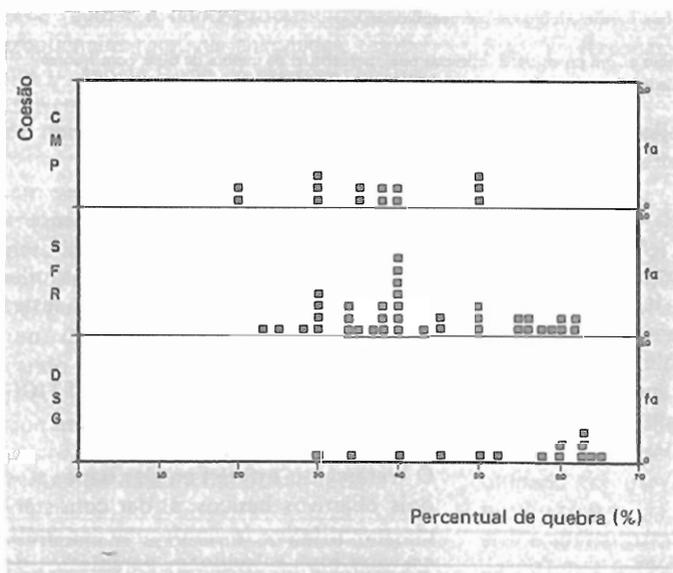


Fig. 1 - Percentual de quebra x coesão.

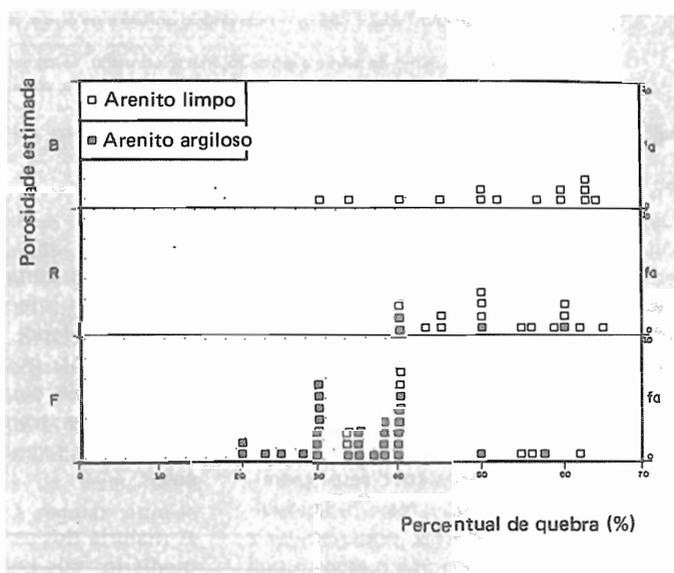


Fig. 2 - Percentual de quebra x porosidade estimada.

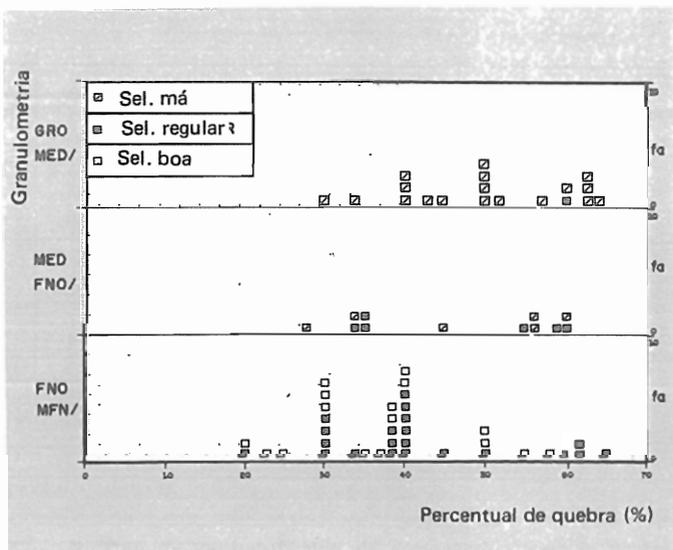


Fig. 3 - Percentual de quebra x granulometria e seleção.

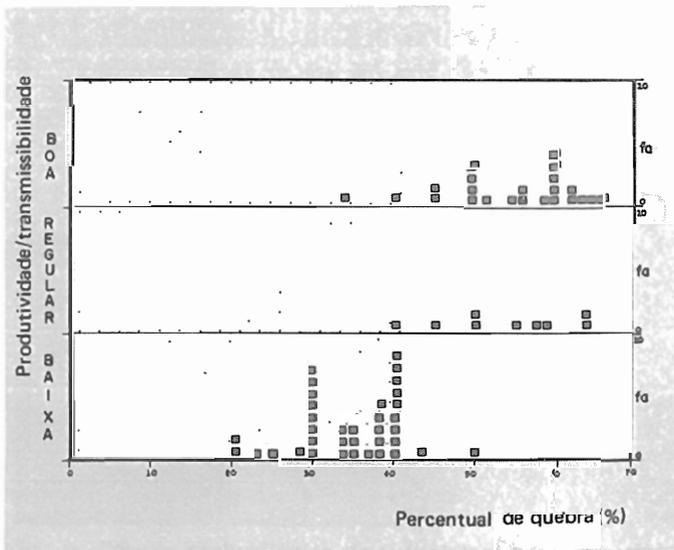


Fig. 4 - Percentual de quebra x resultados de testes.

TABELA II

PESO DOS ELEMENTOS DE ACOMPANHAMENTO GEOLÓGICO NA FORMAÇÃO PENDÊNCIA
PARTE EMERSA DA BACIA POTIGUAR

Elemento		PQ		Argilosidade		Coesão			Seleção			Porosidade Estimada			Granulometria		
		>40	≤ 40	ARO	AGO	DSG	SFR	CMP	M	R	B	B	R	F	>MED	FNO/MED	MFN/FNO
Resultado do Teste	Boa	0,68	0,05	0,59	0,02	0,56	0,30	0,06	0,56	0,26	0,05	0,56	0,52	0,075	0,52	0,54	0,12
	Regular	0,26	0,03	0,23	0,10	0,25	0,15	0,13	0,22	0,10	0,19	0,25	0,26	0,075	0,26	0,08	0,14
	Baixa	0,06	0,92	0,18	0,88	0,19	0,55	0,81	0,22	0,64	0,76	0,19	0,22	0,85	0,22	0,38	0,74

$$P = \frac{\sum \text{pesos dos elementos}}{n.º \text{ de elementos}} \times 100$$

Exemplo: Poço 1-CAC-1-RN

TF-02, intervalo 1 386-1 408 m – reservatório portador de óleo e gás com boa transmissibilidade/permeabilidade.

Atributos – arenito de médio a grosso, mal selecionado, desagregado (limpo e com porosidade estimada boa), percentual de quebra de 60%, com fluorescência de total a esparsa (70-80%), amarelo-claro, corte provocado.

$$P_B = \frac{0,68 + 0,59 + 0,56 + 0,56 + 0,56 + 0,52}{6} \times 100 = 58\%$$

$$P_R = \frac{0,26 + 0,23 + 0,25 + 0,22 + 0,25 + 0,26}{6} \times 100 = 25\%$$

$$P_F = 100 - (P_B + P_R) = 100 - 83 = 17\%$$

poderia estar refletindo a influência de fatores (tais como intervalo de amostragem, espessura dos corpos, profundidades, fluidos e equipamentos de perfuração) que afetam a representatividade de amostras de calha. Deste modo, corpos de arenito distintos, com constituintes mineralógicos similares em classes granulométricas diferentes, mas individualmente bem selecionados, poderiam vir a ser descritos como um único arenito mal selecionado.

Os arenitos compactos concentram resultados em intervalos fechados (fig. 7). Por outro lado, os arenitos friáveis e desagregados, invariavelmente, têm correspondência com os melhores resultados de testes: transmissibilidade/permeabilidade de regular a boa, em 69% dos casos.

A maioria dos atributos de caráter intermediário, tais como coesão semifrável, seleção e porosidade estimada regulares,

apresentam valores de frequência similares para diferentes resultados de testes (figs. 5, 6, 7 e tabela I).

4 – TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

O tratamento estatístico dos dados teve dois objetivos básicos: a) dar consistência quantitativa às confrontações gráficas que inter-relacionam parâmetros de acompanhamento geológico e resultados

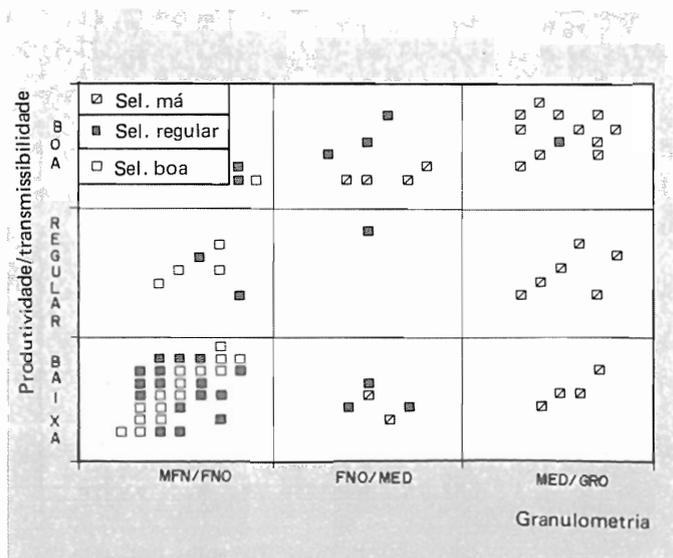
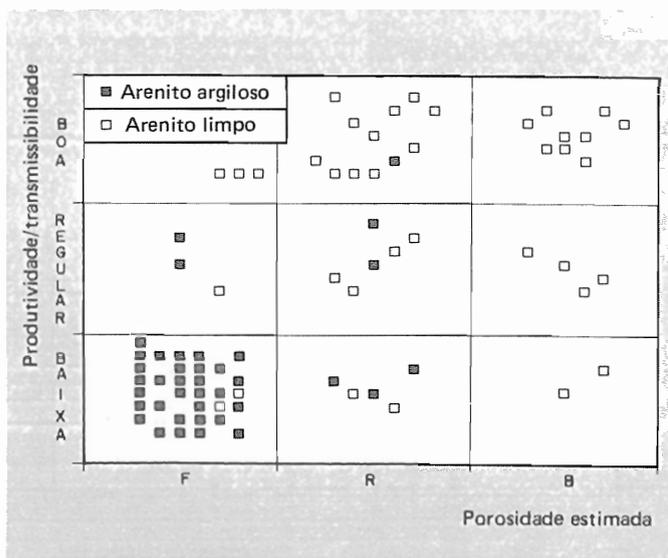


Fig. 5 - Resultados de testes x porosidade estimada e argilosidade.

Fig. 6 - Resultados de testes x granulometria e seleção.

de testes; b) estabelecer uma tabela de pesos proporcionais para cada elemento variável — granulometria, seleção, argiloidade, porosidade estimada, coesão e percentual de quebra —, possibilitando calcular a probabilidade matemática do resultado de um teste.

Assim, foi estabelecida a distribuição de freqüências absolutas para cada elemento, considerando-se isoladamente os subconjuntos de resultados de teste com boa, regular e baixa produtividades. As freqüências relativas calculadas, resumidas na tabela I, são compatíveis quantitativamente com as confrontações gráficas apresentadas nas figuras de 4 a 7.

Em seguida, efetuou-se a distribuição de freqüência para cada variável oriunda de descrições de amostras de calha e percentual de quebra, admitindo-se todos os possíveis resultados de teste como um único espaço amostral. Considerando-se o elevado número de eventos pesquisados (79 testes), pode-se admitir que as freqüências relativas representam o próprio peso com que cada variável influencia o resultado de um teste.

A tabela II apresenta os pesos proporcionais dos parâmetros de acompanhamento geológico a serem rotineiramente

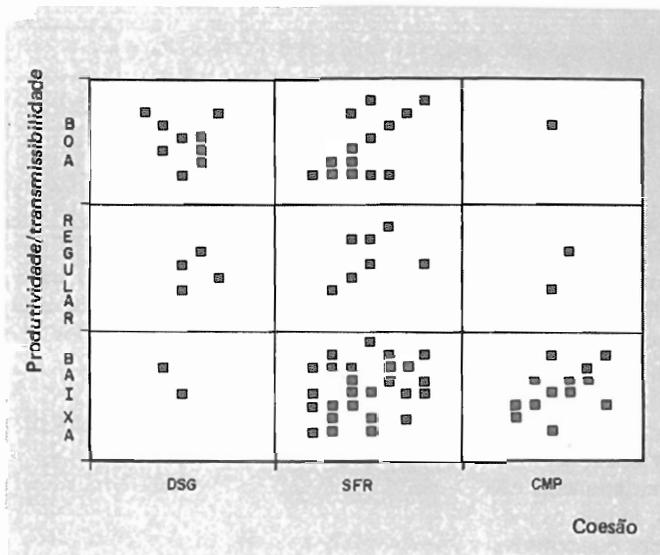


Fig. 7 - Resultados de testes x coesão.

utilizados no cálculo da probabilidade de resultados de teste.

Com o intuito de verificar a coerência destes pesos, foi calculada a probabilidade para o conjunto de testes já realizados e com resultados sabidamente ruins (fig. 8) e bons (fig. 9). Estas figuras permitem concluir pela consistência e validade da utilização destes pesos na predição do resultado do teste. No exemplo da figura 8, arenitos fechados, a probabilidade de ocorrência de testes com produtividade de boa a regular situa-se em torno de 20%.

5 — INDÍCIOS DE HIDROCARBONETOS

A calibração das características dos índices de hidrocarbonetos constatados em amostras de calha com o tipo de fluido recuperado nos testes de formação permite as seguintes observações:

- fluorescência esparsa superior ou igual a 20%, associada a tonalidades claras (amarelo-claro, castanho-claro) e a corte de provocado a moderado, tem confirmado sistematicamente as expectativas em relação aos intervalos testados, recuperando-se óleo;
- os testes com recuperação de água estão relacionados com dois tipos

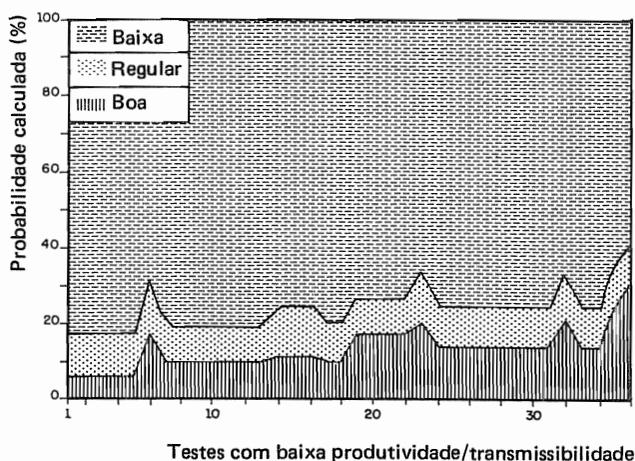


Fig. 8 - Cálculo probabilístico da expectativa para os testes realizados em reservatórios com baixa produtividade na Formação Pendência.

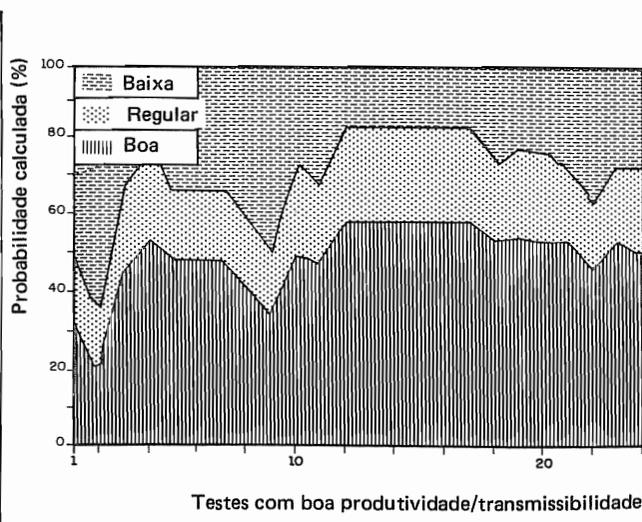


Fig. 9 - Cálculo probabilístico da expectativa para os testes realizados em reservatórios com boa produtividade na Formação Pendência.

básicos de indícios: a) fluorescência inferior a 20%, cores claras (amarelo-claro) e corte de provocado a moderado; b) fluorescência com percentual variável, cores escuras (castanho-escuro) e corte de moderado a imediato.

Estes critérios devem ser encarados apenas como elementos orientadores, e não como limites definitivos, já que os indícios podem ser mascarados quantitativamente tanto pela ação do fluido de perfuração como pelo processo de lavagem das amostras.

6 — CONCLUSÕES

A textura da rocha, observada em amostras de calha, permite prever os resultados de testes de formação a poço aberto, otimizando as decisões acerca da avaliação dos poços durante a perfuração.

O percentual de quebra (PQ) pode ser aplicado com sucesso na identificação de litologias, de texturas e na seleção de intervalos para testes e testemunhagens. Na Formação Pendência, Bacia Potiguar emersa, valores de PQ acima de 40% implicam testes com produtividade de boa a regular.

Fluorescências esparsas superiores ou iguais a 20%, com tonalidades claras e cortes de provocados a moderados, se relacionam a intervalos com recuperação de óleo em teste.

Em função dos resultados práticos consistentes obtidos desde a formulação desta metodologia, recomendamos sua aplicação rotineira às operações de campo, bem como sua adaptação a outras unidades estratigráficas e bacias sedimentares.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CORSINO, A. R. & ZANINI, T. *Elementos de acompanhamento geológico e a avaliação de reservatórios*, relatório. Natal, PETROBRÁS. DEBAR, 1985.

BIBLIOGRAFIA

PETROBRÁS. DEBAR. *Documentos de poços exploratórios perfurados na Bacia Potiguar no período 1976-86*.

Natal, 1986.
PETROBRÁS. DEPEX. *Manual de sub-superfície*; roteiro básico para acompanhamento geológico de poços. 2. ed. Rio de Janeiro, IBP, 1984. 256 p.

ABSTRACT

Parameters of geological monitoring: drilling time per meter, lithology, texture and oil shows observed in cuttings, have been used as predictive tools to estimate the quality of Pendência Formation reservoirs before open hole drill stem tests in the onshore Potiguar Basin.

The method was developed through graphs comparing the above-mentioned geological parameters and the results of formation tests. In order to properly evaluate the correlation of test results with drilling time, the concept of Percentage Break of Drilling Time per Meter was introduced, as defined by CORSINO & ZANINI (1985): "the complement, percentually expressed, of the ratio between the drilling time of a sand and the drilling time of an adjacent shale". The concept of PQ makes it possible to minimize the influence of non lithological factors, such as fluids and perforation equipment, weight on bit and the human element.

Data obtained from geological monitoring of 45 exploratory wells and qualitative interpretation of 79 formation tests were used in this study. Analysis of cuttings were performed under a ten time power lens.

The calibration of reservoir quality was achieved by the comparison of test results with two groups of parameters:

- a) percentage break of drilling time and
- b) textural characteristics of cuttings.

It was further demonstrated that a correlation between texture of cuttings and percentage break exists, the latter being a reliable estimate of the former.

The analysis of these crossplotted characteristics led to the following conclusions:

- a) *the textural characteristics of rock cuttings can be used to predict the open hole formation test results;*
- b) *the percentage break index can be successfully applied to infer lithology, texture and sorting of drilled sections, and to select intervals for testing and coring. In the Pendência Formation, PQs higher than 40% correlate with reservoirs of regular to good productivity.*

The statistical treatment of data supports the conclusions drawn from the graphs. It permits, based on the absolute and relative frequency distributions, to establish the weighed contribution of each variable — grain size, sorting, clay content, cohesion, estimated porosity and percentage break of drilling time — to the correlation with test results, allowing for the calculation of the probability of a test outcome.

This new method emphasizes the importance of wellsite cuttings description and of drilling time as tools for estimation of reservoir quality. It's utilization optimizes programs and decisions in the process of open well evaluation, and has shown good results in the timely evaluation of reservoirs of Pendência Formation, onshore Potiguar Basin, northeast Brazil.

Additionally, from this study, it was shown that more than 20% fluorescence in sandstone cuttings, of light colors and tones, associated with slow to provoked dissolution of oil in CCl₄, corresponds to oil bearing intervals. This limit, however, is not rigid, since quantitative evaluation of oil shows may be misleading due to differential effects, drilling fluids or sample washing.