



Estimativas de Propriedades Térmicas de Rochas Através de Perfis Sônicos – Aplicação na Bacia de Campos

Cardoso, R.A. e Hamza, V.M. - Observatório Nacional / MCT

Copyright 2006, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do II SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGF ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGF.

Resumo

Devido a grande dificuldade encontrada na obtenção de amostras de testemunhos para a realização de medidas de propriedades térmicas, foi utilizada uma relação empírica entre a condutividade térmica e a velocidade de ondas compressoriais, obtida nos perfis sônicos. Os resultados obtidos foram comparados com valores de condutividade térmica medidos em amostras de bacias contíguas à Bacia de Campos e valores tabelados. Estes indicaram uma boa correlação entre as duas propriedades, com a utilização de diferentes constantes para cada tipo de formação geológica.

Introdução

O presente trabalho é parte de um projeto que tem por objetivo a determinação da evolução termo-tectônica da plataforma continental do estado do Rio de Janeiro. Para isto é necessária a determinação do estado térmico atual da Bacia de Campos, através de dados de gradiente, condutividade e fluxo geotérmico. Foram utilizados valores de condutividade térmica obtidos através de dados de formações de bacias contíguas e valores tabelados, para seis poços com perfis litológicos disponíveis. Perfis sônicos de três destes seis poços foram utilizados na determinação de uma relação empírica entre a condutividade, para a determinação desta propriedade térmica de poços sem perfil litológico. A disponibilidade de amostras de testemunho para a realização de medidas de propriedades térmicas geralmente é limitada, fazendo com que seja necessário o emprego de outros métodos indiretos para a estimativa destas propriedades. Perfis geofísicos de poço apresentam muita informação a cerca da litologia e presença de fluidos em uma determinada formação geológica, podendo ser utilizados para complementar estudos petrofísicos. Atualmente, torna-se mais fácil a utilização destes perfis devido ao elevado número de poços perfurados na bacia de Campos, à grande realização de diversos tipos de perfilagem e a maior disponibilidade destes dados. A determinação de propriedades termofísicas de rochas pode ser feita a partir de relações empíricas entre a condutividade térmica e outra propriedade física da rocha, assim como

através de dados mineralógicos detalhados obtidos em perfilagem. Uma vantagem do método utilizando dados de perfilagem consiste na obtenção de valores de condutividade térmica sob condições *in situ* de pressão, temperatura e presença de fluidos, diferente do ocorrido com medidas realizadas em testemunhos. Para a determinação da condutividade térmica podem ser utilizadas as relações entre esta propriedade e a porosidade, a densidade, captura fotoelétrica, temperatura e velocidade de ondas compressoriais. No caso da Bacia de Campos, optou-se por utilizar dados de velocidade de trânsito obtida em perfis sônicos de 3 poços para a determinação das condutividades térmicas das formações, podendo assim calcular o fluxo térmico para outras localidades na bacia.

Estimativas das Propriedades Térmicas

Diversos métodos foram anteriormente propostos para estimativa de condutividade térmica. Williams e Anderson (1990) obtiveram uma relação entre a condutividade térmica e perfis de poços baseados na teoria da condução de fônons. Houbolt e Wells (1980) chegaram a uma relação empírica entre a condutividade e dados de perfil sônico. Demongodin *et al* (1991) desenvolveram uma metodologia para estimativa de condutividade a partir de perfis de gamma ray, sônico, densidade e porosidade neutrônica.

Condutividade térmica a partir de dados de perfis litológicos - Através de dados de relatórios geológicos com descrição de amostra de calha foram elaborados perfis litológicos de seis poços (RJS_5B, RJS_13, RJS_23, RJS_33, RJS_70, RJS_99) da Bacia de Campos, como mostra o exemplo do poço RJS_33 na Figura 1. Com base em medidas de condutividade térmica de formações correlacionáveis de bacias contíguas e valores tabelados foram elaborados perfis de condutividade térmica para os seis poços. A Figura 2 apresenta como exemplo perfis de condutividade térmica de três poços.

Condutividade térmica a partir de dados de perfis sônicos - Devido à falta de perfis litológicos de outros poços foi feita uma estimativa da condutividade térmica baseada na relação empírica de Houbolt e Wells (1980). Esta relação demonstra que a condutividade térmica é diretamente proporcional à velocidade de propagação das ondas compressoriais e inversamente proporcional à temperatura vigente.

$$\lambda_s = \frac{aV_p}{b(c+T)} \quad (1)$$

onde λ_s é a condutividade térmica (denominada aqui de condutividade sônica). Os demais fatores a , b e c são constantes, V_p é a velocidade acústica e T , a temperatura.. A constante a é relacionada diretamente com a velocidade, enquanto as constantes b e c referem-se à dependência com a temperatura.

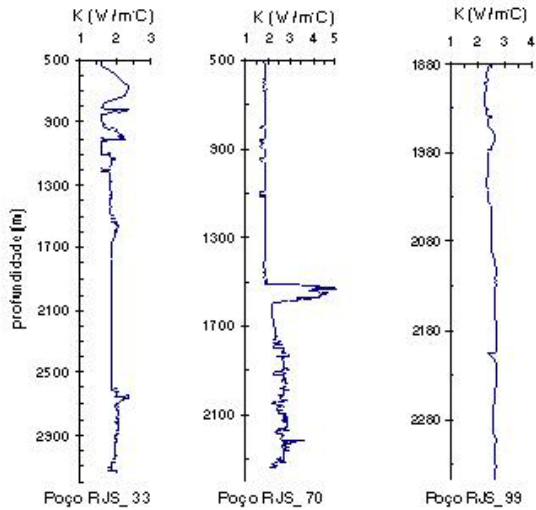


Figura 2: Exemplos de perfis de condutividade térmica determinados a partir de medidas e valores tabelados.

A relação empírica apresentada na equação (1) foi determinada para sedimentos siliciclásticos, com poros preenchidos por água. A aplicação desta relação é simples, porém o termo T utilizado por Houbolt e Wells (1980) como indicativo da dependência da temperatura foi, neste trabalho, considerado como um termo relacionado também com a variação da porosidade em função da profundidade.

Para aplicação da equação (1) foram elaborados perfis de temperatura dos poços (Figura 3). A partir de dados de gradiente geotérmico (Γ), temperatura BHT (*bottom hole temperature* - T_{BHT}), profundidade da medida BHT (Z_{BHT}) e profundidade (Z) dos três poços estudados, foram determinados seus perfis de temperatura, segundo a relação:

$$T(Z) = T_{BHT} - \Gamma(Z_{BHT} - Z) \quad (2)$$

A Figura 4 apresenta os três perfis de condutividade térmica determinados pela equação (1).

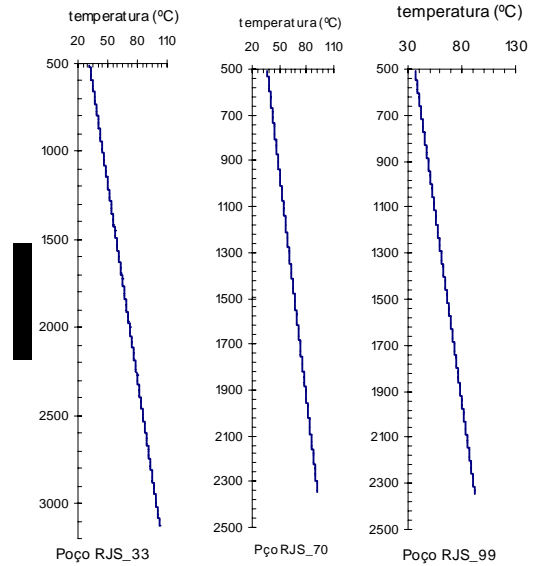


Figura 3: Perfil de temperatura de três poços na bacia.

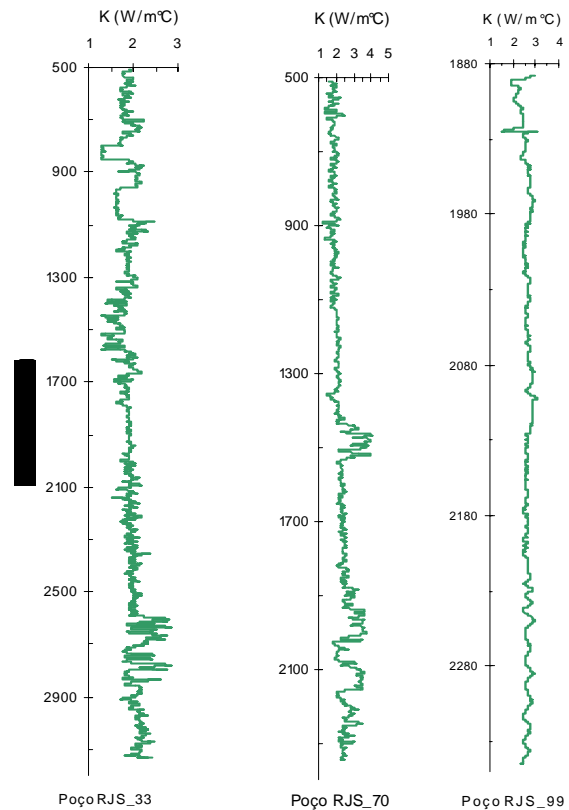


Figura 4: Exemplos de perfis de condutividade térmica determinados a partir de perfis sônicos.

Análise Comparativa das Estimativas- Na elaboração dos perfis através de dados sônicos observou-se que, adotando o mesmo valor da constante a citado em Houbolt e Wells (1980) na equação (1), os valores de condutividade encontrados eram subestimados em comparação com os valores medidos. Para solucionar esta questão adotou-se um processo iterativo com diversos valores para a constante a. Os resultados do processo iterativo indicaram que os valores de a são característicos das formações geológicas distintas. A Tabela 1 apresenta os valores desta constante utilizados no cálculo da condutividade sônica, para cada formação. A Figura 5 apresenta a superposição dos perfis de condutividade determinados pelos dois métodos descritos acima.

Tabela 1: Valores da constante a utilizados na equação (1) para determinação da condutividade sônica das formações. As marcações com x indicam ausência da formação no perfil litológico do poço e #, ausência de dados no perfil sônico.

Poço	Formações Geológicas					
	Emborê		Campos		Macaé	Lagoa Feia
	Grussaí	Siri	Ubatuba	Carapebus		
RJS_33	120	90	x	x	x	92
RJS_70	105		x	x	x	110
RJS_99	x		115	115	#	#

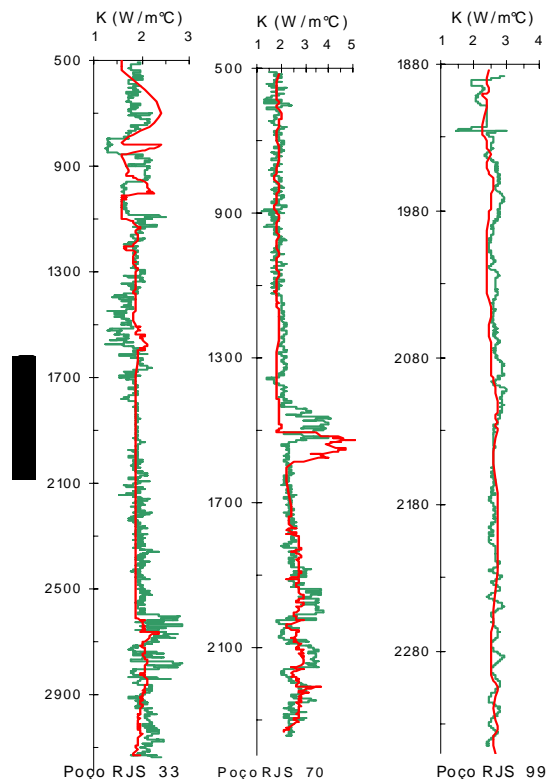


Figura 5: Exemplos de perfis de condutividade térmica determinados a partir de medidas e valores tabelados (linha vermelha) e condutividade sônica (linha verde).

Discussão e Conclusões

Os perfis de condutividade obtidos através da relação apresentada na equação (1) (Figura 5, linha verde) são mais detalhados devido ao menor intervalo de medidas do perfil sônico (de ordem centimétrica), em relação ao perfil estimado em medidas (Figura 5 - linha vermelha), realizado com intervalos de 2 metros.

No perfil do poço RJS_70 ocorre uma defasagem entre a condutividade medida e a sônica, a 1509 metros de profundidade. Analisando o perfil litológico encontra-se nesta profundidade uma camada de anidrita, responsável pelo pico na condutividade térmica, observado apenas no perfil de condutividade medido. O perfil de condutividade sônica apresenta um pico abaixo desta camada, originado possivelmente por erro do instrumento no momento da medida.

Os perfis de condutividade sônica demarcaram de maneira mais clara os limites entre as formações geológicas, como é apresentado na Figura 6.

Observou-se uma boa correlação entre os perfis de condutividade medida e estimada através dos dados de perfil sônico, sendo este método satisfatório na estimativa de condutividades térmicas quando não é possível a realização de medidas diretas em amostras de testemunho. Assim, torna-se possível o cálculo de valores de fluxo térmico para determinação do estado térmico atual da bacia.

Agradecimentos

A Agência Nacional de Petróleo (ANP) concedeu dados de temperaturas dos poços e respectivos relatórios geológicos, além dos perfis sônicos. O primeiro autor deste trabalho recebe bolsa de Mestrado pela Capes.

Referências

Asquith, G.B. 1991. Log evaluation of shaly sandstones: A Pratical guide. Continuing Education Course Note Series No 31. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists.

Demongodin, L., Pinoteau, B., Vasseur, G. e Gable, R. 1991. Thermal conductivity and well logs: a case study in Paris Basin. Geophysics Journal International, 105, 675-91.

Houbolt, J.J.H.C., e Wells, P.R.A. 1980. Estimation of heat flow in oil wells based on a relation between heat conductivity and sound velocity. Geologie en Mijnbouw, 59(3), 215-24.

Williams, C.F. e Anderson, R.N. 1990. Thermophysical properties of the Earth's crust: In situ measurements from continental and ocean drilling. Journal of Geophysical Research, 95(B6), 9209-36.

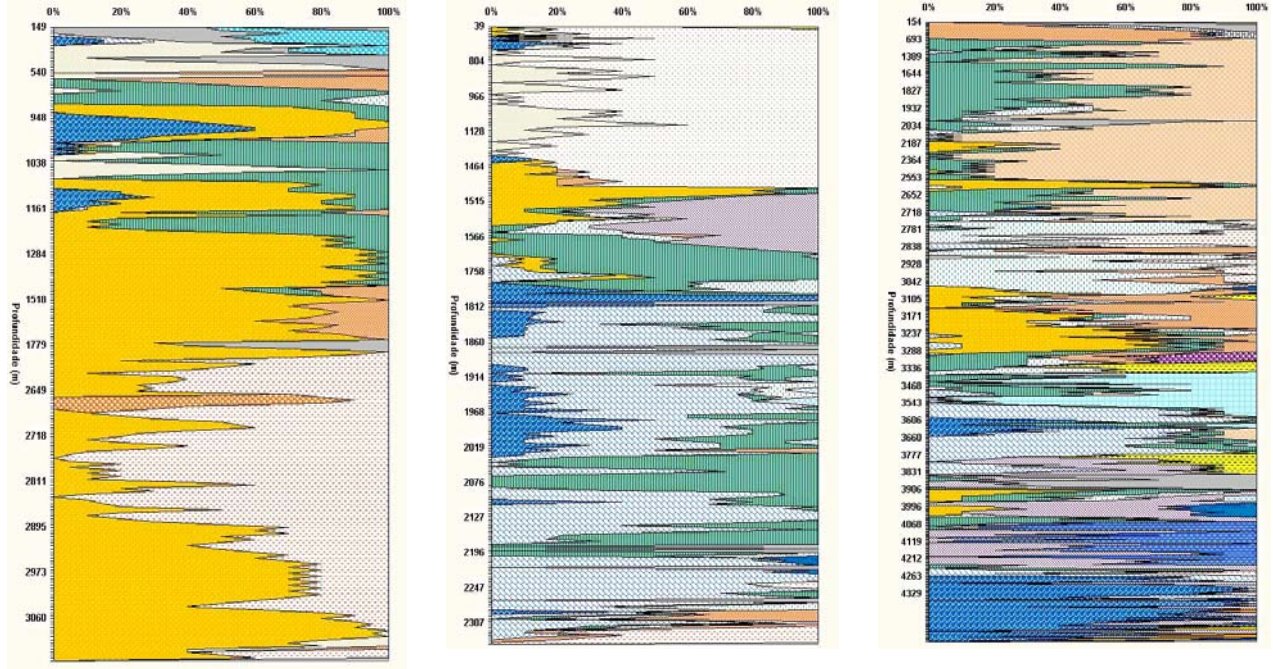


Figura 1: Perfis litológicos de três poços na bacia.RJS_33, RJS_70 e RJS_99.

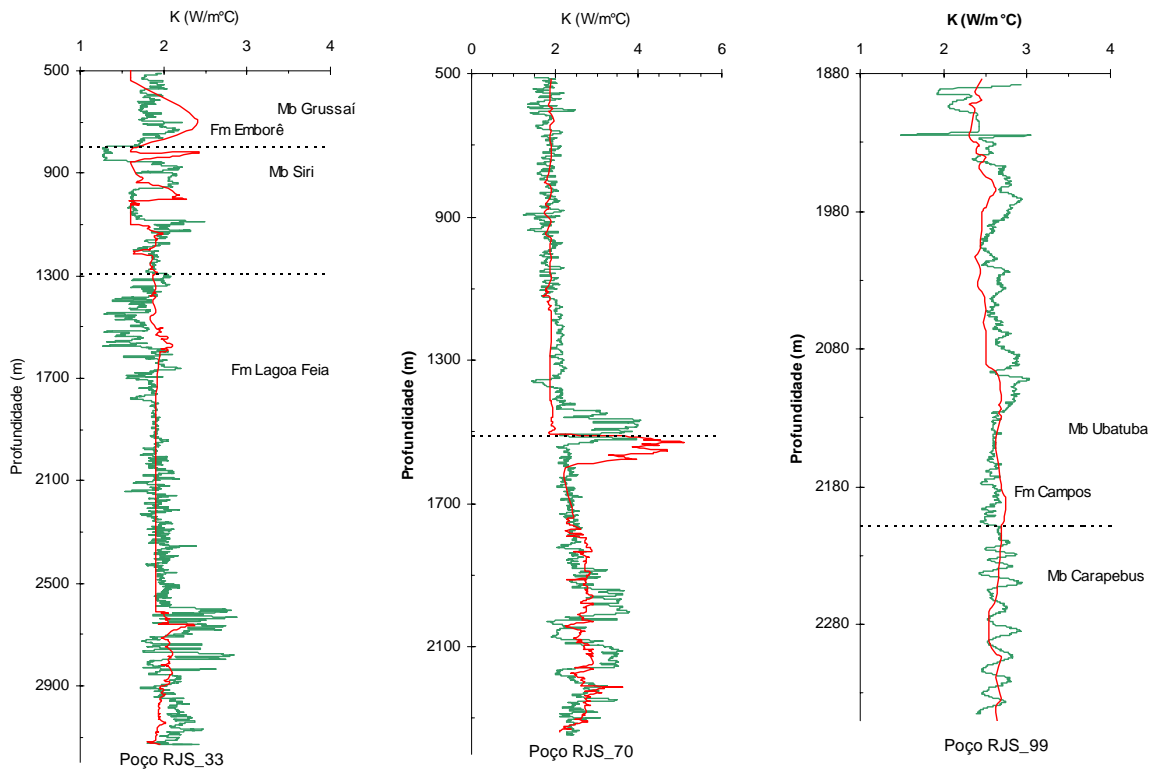


Figura 6: Superposição dos perfis de condutividade térmica medida e estimada. As linhas tracejadas indicam os limites entre as formações geológicas definidos pelo perfil litológico.