

# GRADIENTE GEOTÉRMICO DA BACIA DE CAMPOS

## GEOHERMAL GRADIENT OF THE CAMPOS BASIN

Ricardo Jorge Jahner<sup>(1)</sup>

**RESUMO** — Visando a melhor conhecer o comportamento das temperaturas na Bacia de Campos, bem como a estudar suas possíveis causas e implicações, foi realizado o mapeamento das temperaturas de 404 poços perfurados até março de 1984. A configuração estrutural e as diferentes condutividades térmicas das rochas e fluidos são fatores fundamentais que controlam a distribuição das temperaturas na bacia. Entretanto, algumas áreas com temperaturas anormalmente altas estão associadas à maior proximidade de uma fonte térmica (feições intracrustais mapeadas por sísmica e gravimetria) e/ou a processos de transferência de calor por movimentação de fluidos. Foram elaborados mapas com superfícies isotérmicas limite de atuação e sobrevivência de bactérias. Quando da comparação destes com os mapas de topos das unidades litoestratigráficas, constatou-se uma possível atuação dos microorganismos nos reservatórios Carapebus e Macaé, na área dos campos de Pampo, Linguado e Bajejo. Essa atuação pôde ser atestada ainda pela análise dos óleos, sugestivamente biodegradados.

(Originais recebidos em 06-I-87.)

### 1 — INTRODUÇÃO

O estudo geotérmico de uma bacia sedimentar é de grande importância, uma vez que as características térmicas de suas áreas constituem ferramenta auxiliar na determinação de regiões favoráveis à exploração de hidrocarbonetos.

Estudando ocorrências de óleo em bacias dos EUA, MILLER (1974) observou que existe relação direta entre a ocorrência de petróleo, a presença de altas geotemperaturas e a existência de pressões anormalmente altas.

A temperatura, além de poder controlar o tipo de óleo nos reservatórios e de gerar fluxos hidrodinâmicos, constitui um dos fatores fundamentais para haver geração de hidrocarbonetos. Operacionalmente, dados de temperatura podem auxiliar na interpretação de perfis, em estudos de reservatórios, na cimentação de revestimentos e na determinação de áreas com alta pressão.

As primeiras investigações sobre as temperaturas na Bacia de Campos foram realizadas por MEISTER (1973), que utilizou valores de temperatura de cinco poços perfurados. Posteriormente, ROSS & PANTOJA (1978) realizaram um mapeamento das temperaturas em subsuperfície, discutindo suas causas e implicações.

Constituem os objetivos do presente trabalho a atualização do mapeamento geotérmico da bacia, a discussão dos processos que orientam e controlam a distribuição das temperaturas em subsuperfície, bem como as possíveis implicações dessas temperaturas com tipos de óleo e sua ocorrência nos reservatórios.

A área estudada situa-se entre os paralelos 23°42'44" e 21°14'56" (S) e meridianos 41°41'49" e 39°57'49" (W), equivalentes às seguintes coordenadas UTM: X = 7 650 000 e 7 375 000 m, Y = 400 000 e 225 000 m (MC = 39°).

### 2 — RESULTADOS OBTIDOS

Para o estudo geotérmico da Bacia de Campos, foram elaborados os seguintes mapas:

- Mapa de gradiente geotérmico (fig. 1)
  - Esse mapa, obtido através dos gradientes geotérmicos médios de 396 poços, evidenciou uma variação dos gradientes entre 30°F/km, no poço 3-BD-15-RJS, e 62°F/km, no poço 7-NA-13-RJS (16,6 a 34°C/km), tendo-se encontrado o valor de \* 42,05°F/km (23,36°C/km) como

valor obtido utilizando 80°F como temperatura média no fundo do mar.

<sup>1</sup> - Setor de Interpretação da Bacia de Campos, Divisão de Interpretação, Distrito de Exploração do Sudeste, Departamento de Exploração.

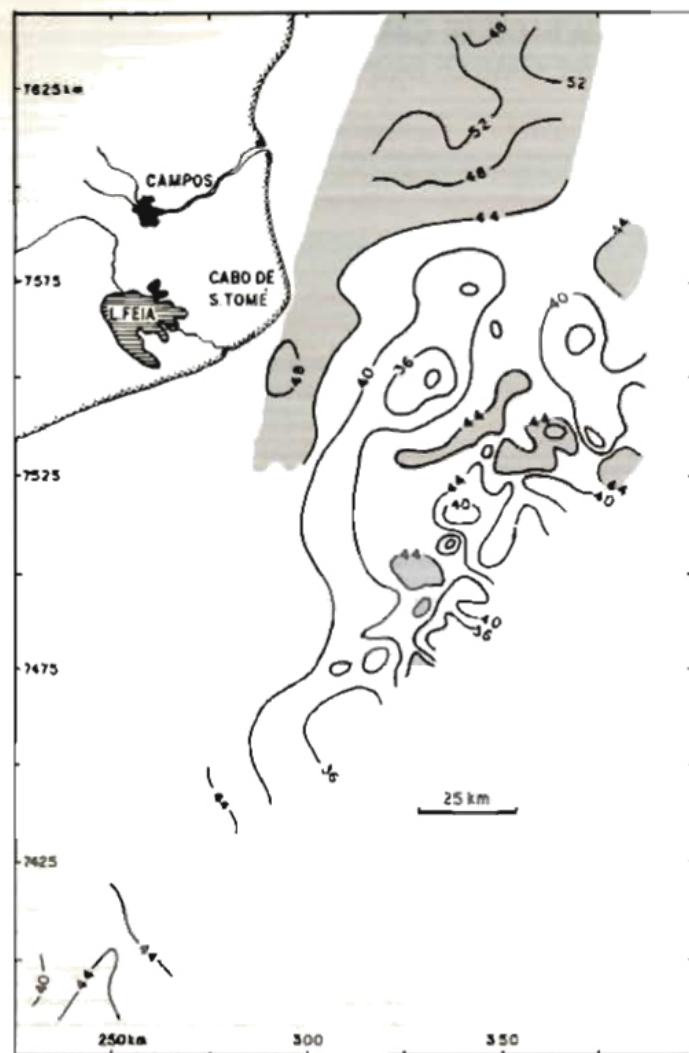


Fig. 1 - Mapa de gradiente geotérmico, Bacia de Campos (IC = 4°F/km).

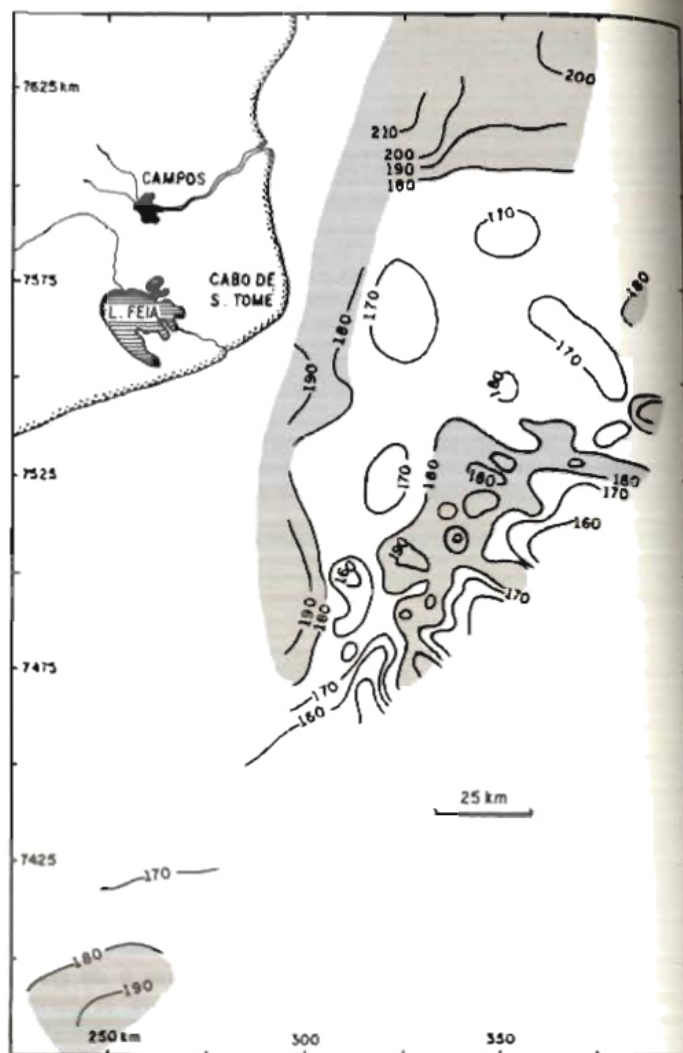


Fig. 2 - Mapa de isotermas a 2 500 m, Bacia de Campos (IC = 10°F/km).

gradiente geotérmico médio para a bacia. As áreas mais quentes estão situadas na região norte da bacia — onde os gradientes variam de 44 a 56°F/km — e na que se situa entre o Cabo de São Tomé e o Alto Regional de Badejo (área do 1-RJS-203), que apresenta gradientes entre 44 e 48°F/km. Na área dos campos de Pampo, Badejo, Linguado e adjacências, ocorrem os mais baixos gradientes geotérmicos da bacia.

— *Mapas de isotermas* (fig. 2) — Os mapas de isotermas, construídos em cinco níveis de profundidade (1 500, 2 000, 2 500, 3 000 e 3 500 m) a partir do fundo do mar, com base nos gradientes intervalares, de modo geral, confirmam a mesma distribuição das áreas mais e menos aquecidas evidenciada pelo mapa de gradiente geotérmico. Mostram, além disso, através das isotermas de 2 500 a 3 000 m, um *trend* orientado SW-NE, situado na

faixa de ocorrência da maioria dos campos de óleo de temperaturas mais elevadas.

— *Mapas de superfície isotérmica* — Elaborados com base nos gradientes geotérmicos intervalares a partir do nível do mar, os mapas de superfície isotérmica registram as profundidades em que ocorrem as temperaturas de 140 e 180°F, que são consideradas as temperaturas limite para a atuação e sobrevivência de bactérias, respectivamente.

— *Seções geotérmicas* — As isotermas calculadas através dos gradientes intervalares foram plotadas em seções geológicas esquemáticas. Visava-se a observar seu comportamento em relação à disposição estrutural e estratigráfica dos pacotes litológicos. Observa-se uma tendência das isotermas a concordarem com a disposição das camadas e com o relevo do fundo da

bacia.

### 3 — FATORES QUE CONTROLAM A DISTRIBUIÇÃO DAS TEMPERATURAS NA BACIA DE CAMPOS

Entre os fatores que controlam a distribuição da temperatura na Bacia de Campos, destacam-se:

a) *Configuração estrutural* (fig. 3). Os mapas de temperatura, quando confrontados com o mapa tectônico da bacia, mostram influência das grandes feições tectônicas na distribuição do calor, uma vez que orientaram o tipo e a quantidade de sedimentação, possibilitam contatos laterais entre pacotes litologicamente distintos, além de servirem de dutos ou passagens para a migração de fluidos e, conseqüentemente, para a transferência de calor.



As feições tectônicas que mais influenciam a distribuição das temperaturas na bacia são:

- Baixo de São Tomé;
- Alto Regional de Badejo;
- Falhamento limite da Bacia Pré-Aptiana;
- Falhamento terciário;
- Falhas com direção NW-SE situadas ao norte dos campos de Pargo e de Badejo, possíveis componentes de um sistema tectônico transcorrente.

b) *Condutividade térmica.* A análise qualitativa das temperaturas através dos gradientes geotérmicos intervalares (fig. 4) evidencia os distintos comportamentos das condutividades térmicas. Rochas pelíticas, tufos vulcânicos, óleo, gás e basaltos exibem caráter de isolantes térmicos, apresentando-se normalmente aquecidos. Por outro lado, temperaturas obtidas em evaporitos fornecem baixos gradientes intervalares, em decorrência de sua alta condutividade térmica.

c) *Fluxo hidrodinâmico.* Uma vez que a geração de óleo na bacia ocorre nos sedimentos mais profundos (Formação Lagoa Feia), houve e há migração de hidrocarbonetos, principalmente através de falhamentos, para os reservatórios em posição mais elevada. Os efeitos da ascensão de fluidos, segundo vários autores (MEINHOLD, 1971; PRICE, 1976; FOWLER, 1980; MEISTER, 1984), estão gravados nos campos, gerando anomalias geotérmicas locais. O lado de influxo, por sua vez, mostra temperaturas mais altas que as registradas no lado oposto da trapa.

As temperaturas em campos com vários poços perfurados foram plotadas quanto à acumulação de óleo, no intuito de se realizar um estudo sobre seu comportamento. Os resultados caracterizam as áreas dos reservatórios com maiores temperaturas, indicando as possíveis origens de fluxos de calor. Nas figuras 5 e 6, observa-se uma elevação dos gradientes em áreas próximas aos falhamentos a sudeste nos campos de Namorado e Garoupa.

Outra evidência de fluxo hidrodinâmico é constatada através da análise de seções geotérmicas que mostram isotermais acompanhando a disposição das camadas permoporosas. Esse fato está ligado provavelmente às correntes de convecção, que são geradas quando águas mais profundas se tornam mais quentes, perdendo densidade, e tendem a subir, forçadas pelo peso das águas superiores,



Fig. 3 - Mapa de alinhamentos estruturais, Bacia de Campos.

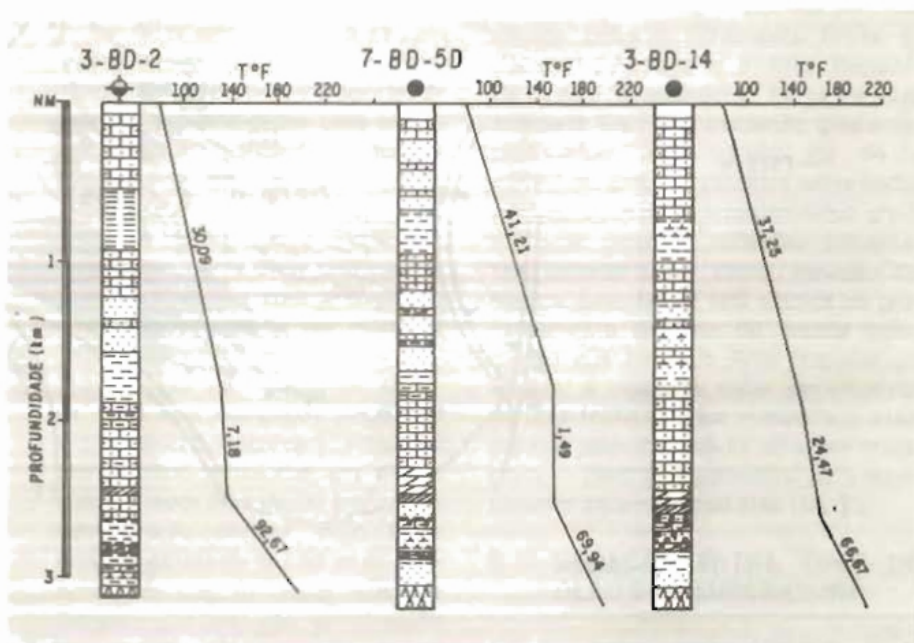


Fig. 4 - Comportamento dos gradientes intervalares comuns na área de Badejo.

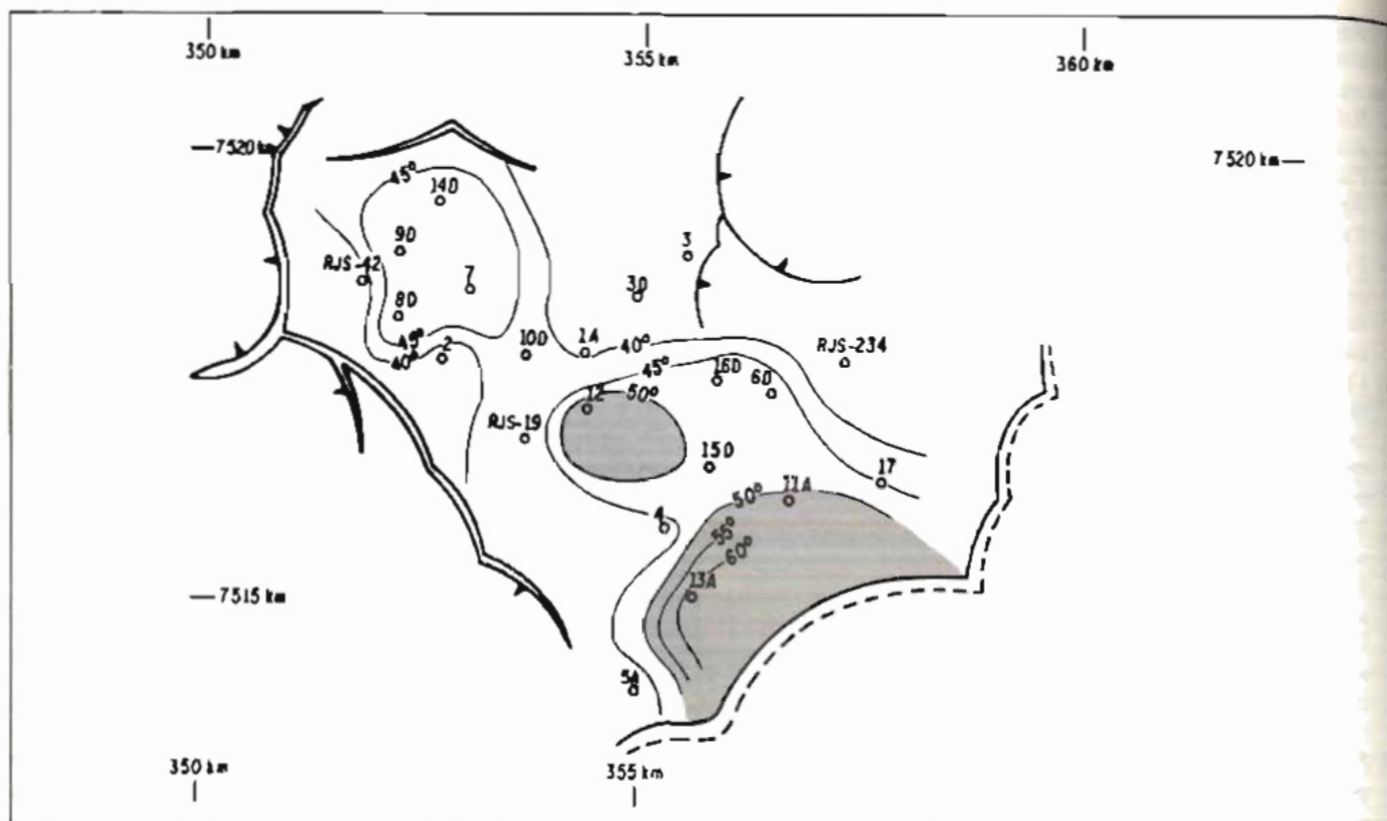


Fig. 5 - Mapa estrutural do reservatório Namorado e dos gradientes geotérmicos dos poços ( $IC = 5^{\circ}F/km$ ). Estruturação compilada de mapa do DIRSUL/SEDESU, 1983.

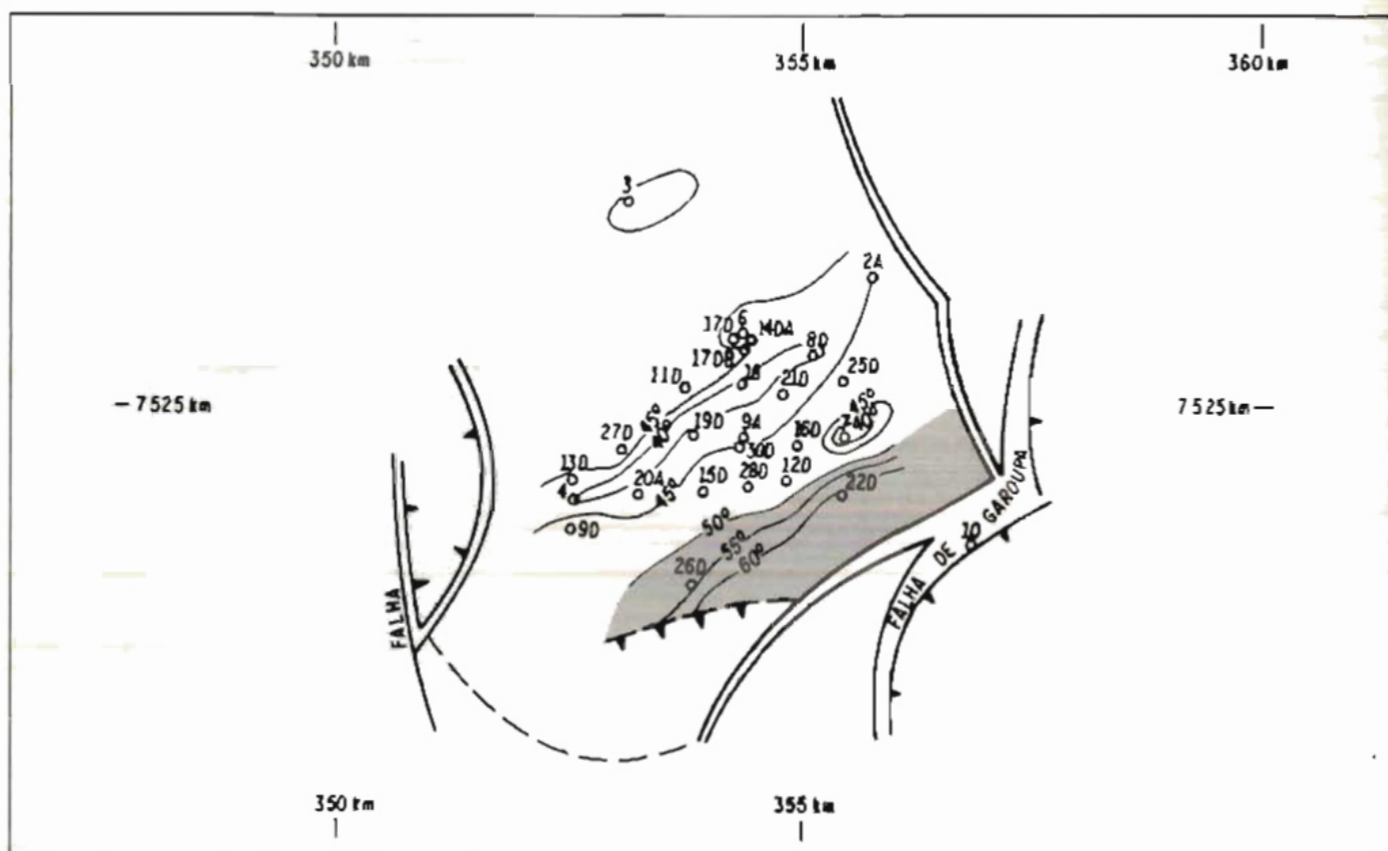


Fig. 6 - Mapa estrutural do topo do reservatório Garoupa e dos gradientes geotérmicos dos poços ( $IC = 5^{\circ}F/km$ ). Estruturação compilada de mapa do DIRSUL/SEDESU, 1983.



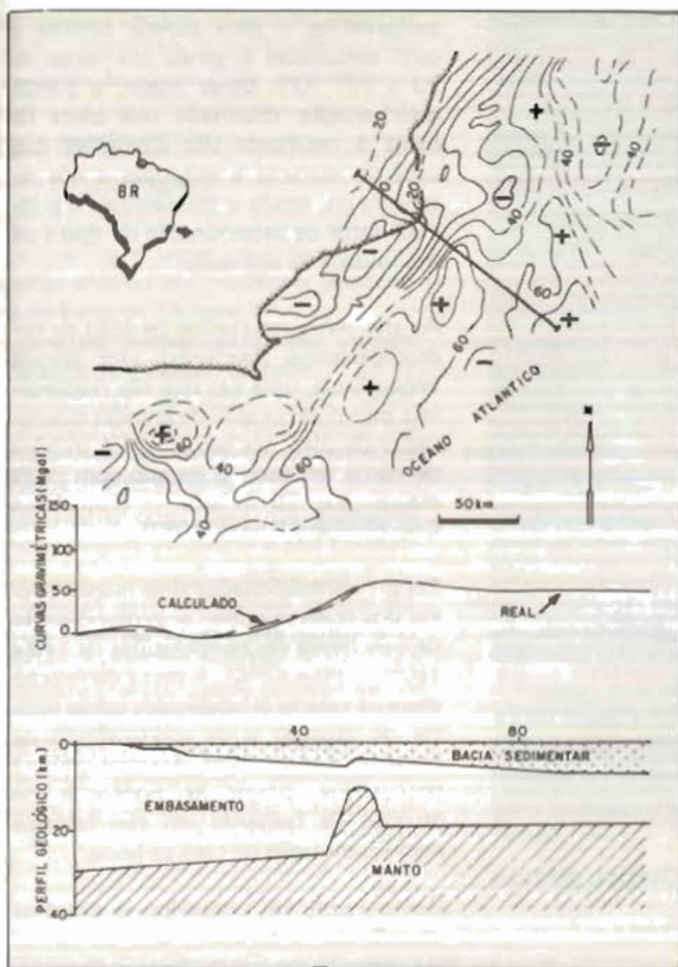


Fig. 7 - Mapa Bouguer, Bacia de Campos.

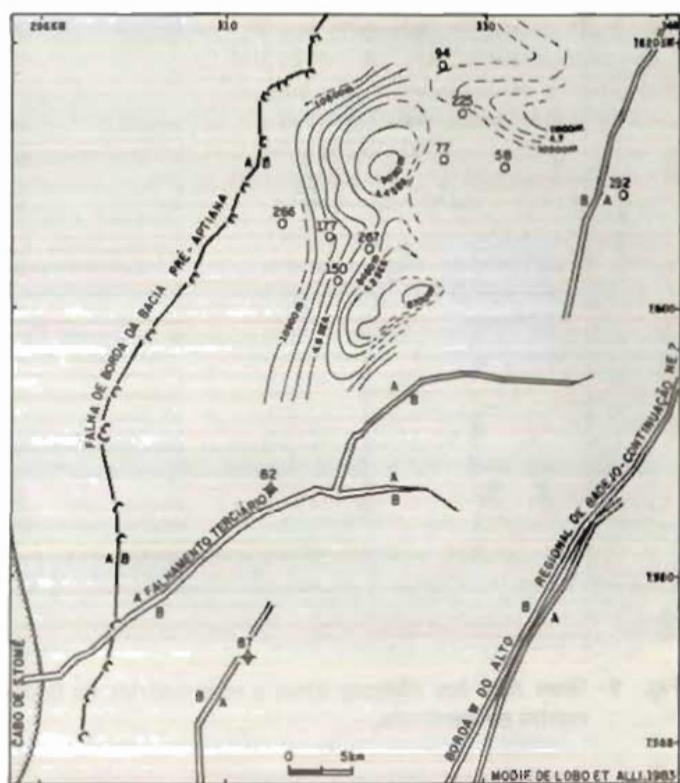


Fig. 8 - Mapa estrutural (sísmico) da reflexão profunda intra-embasamento na área noroeste da Bacia de Campos (área de ocorrência; IC = 0,10 s).

mais frias e mais densas.

d) **Intrusões.** Evidências em seções sísmicas da presença de feições intracrustais, atribuídas a intrusões ou elevação do manto, influenciam áreas adjacentes, aumentando as temperaturas.

#### 4 - ANOMALIAS DE TEMPERATURA E SUAS POSSÍVEIS ORIGENS

A área norte da Bacia apresenta sedimentos predominantemente arenosos, saturados de água, com elevados gradientes geotérmicos (de 44 a 56°F/km), distribuídos regionalmente mesmo em baixas profundidades. Fatores distintos dos já citados contribuem para o aquecimento anormal desta área. Duas hipóteses se apresentam como possíveis explicações:

1.ª) Falhamento terciário na área do Cabo de São Tomé - apresenta direção ENE e estende-se desde o continente até o Baixo de São Tomé. Esse falhamento possui gran-

de rejeito, até 1 000 m, na Formação Lagoa Feia. Terço em vista o porte e a época relativamente recente dessa estrutura, pode-se considerá-la responsável pela transferência de calor por transporte de grandes profundidades para menores, sendo a equalização das temperaturas realizada por correntes de convecção. A ocorrência de óleo leve e de gás na área do 1-RJS-150, situado ao norte desse falhamento, pode ter relação com a migração de fluidos através de seu plano de falha.

2.ª) Proximidade de uma fonte térmica - na área dos poços 1-RJS-150 e 1-RJS-225, ocorrem reflexões intracrustais profundas em seções sísmicas com área de 50 km<sup>2</sup>, com configuração dômica, cujo ápice está em torno de 8 700 m de profundidade (fig. 8). Essas reflexões intracrustais (intrusão ou elevação do manto) ocorrem, em outras áreas, normalmente em profundidades estimadas em torno de

25 000 m.

A área do 1-RJS-203, por sua vez, está situada entre o falhamento limite da Bacia Pré-Aptiana e o Alto Regional de Badejo, apresentando forma de faixa alongada SW-NE e contendo gradientes geotérmicos que variam de 44 a 48°F/km. Estudos recentes sobre dados obtidos através de levantamentos gravimétricos mostram reflexões intracrustais caracterizadas como elevação do manto. Essa feição está situada no prolongamento da base do grande falhamento que limita o Alto Regional de Badejo, a oeste. A maior proximidade de uma fonte térmica - associada a dutos que podem conduzir calor por transporte - deve ser responsável pelo aquecimento anormal dessa área (fig. 7).

#### 5 - RELAÇÃO ENTRE TIPOS DE ÓLEO E A TEMPERATURA

Atualmente se admite para a Bacia de Campos geração de óleo em sedimentos da Formação Lagoa Feia, sendo estes



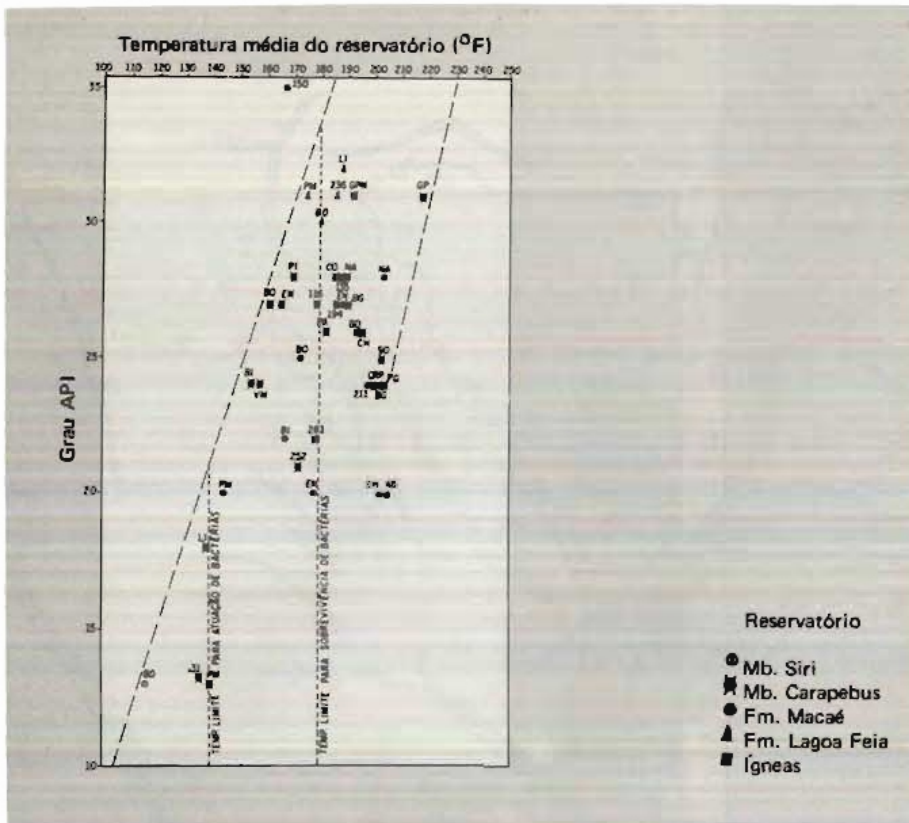


Fig. 9 - Graup API dos diversos óleos e reservatórios da Bacia de Campos, plotados contra temperatura.

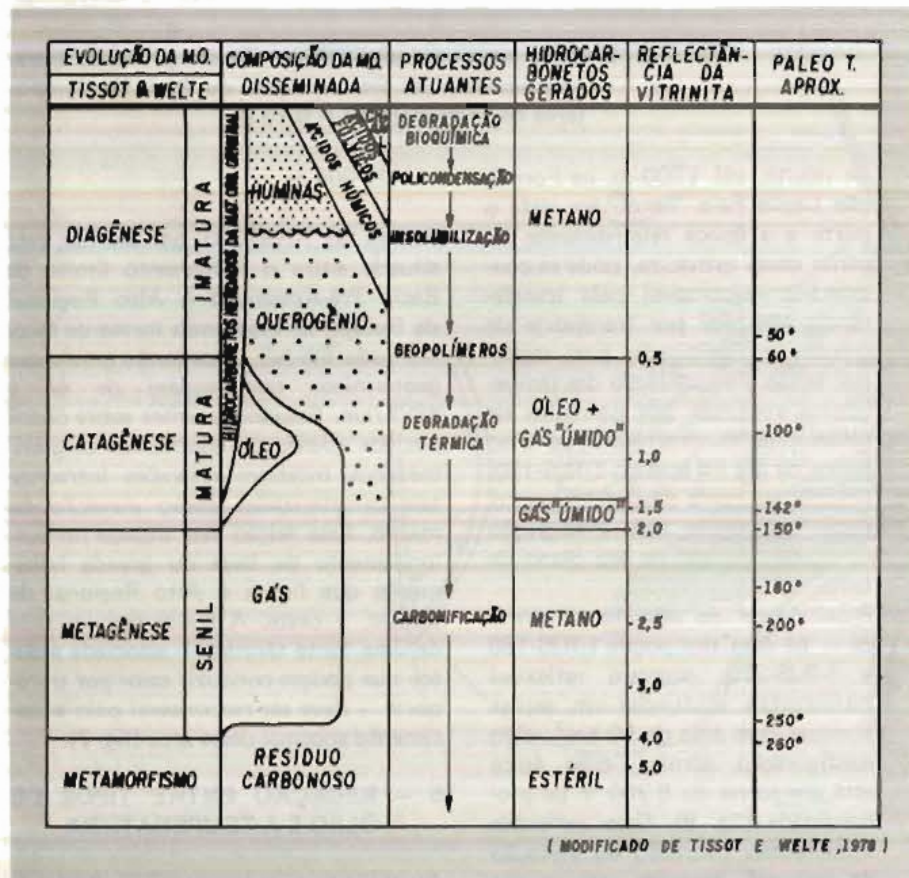


Fig. 10 - Diagrama de geração de óleo e gás.

pertencentes a uma mesma família e com densidades originais em torno de 30 a 35° API. Desse modo, a grande diferenciação observada nos óleos da bacia é resultante das alterações que ocorrem durante a migração e nos reservatórios, sendo a temperatura o principal fator de determinação do tipo e da intensidade da alteração.

As alterações resultantes de ação de microorganismos (bactérias) têm grande importância, uma vez que são responsáveis pela deterioração de grandes quantidades de óleo nas bacias - 4,4 trilhões de barris em todo o mundo com °API menor que 20 *in situ* - (Petroleum Geochemistry Group, 1983).

Foram confeccionados dois mapas através dos quais se obtêm as profundidades de ocorrência das temperaturas de 140 a 180°F (60 e 82°C). A partir da relação entre os valores estabelecidos como limites de atuação e de sobrevivência de bactérias e as unidades litoestratigráficas procurou-se chegar às evidências da atuação de bactérias em reservatórios com acumulação de óleo na bacia.

Como resultado, constatou-se provável atuação de bactérias na área sul da bacia, entre os campos de Pampo, Badejo e Linguado, com possibilidade de essa atuação atingir sedimentos da Formação Macaé. Análises cromatográficas dos óleos situados nestes campos, nos reservatórios Macaé e mais recentes revelam suas partes leves destruídas, provavelmente em decorrência da biodegradação. Além disso, como mostra a figura 9, os óleos de menores °API da bacia relacionam-se às baixas temperaturas que ocorrem dentro dos limites de atuação de bactérias.

## 6 - PALEOTEMPERATURAS

Entre os processos existentes, a reflectância da vitrinite tem sido muito utilizada para determinações paleotermométricas. Através da intensidade de reflexão à luz, pode-se não só definir a que temperatura máxima estiveram submetidos os sedimentos, como também determinar se eles atingiram ou não as temperaturas em que há geração efetiva de óleo (janela de geração). A figura 10 mostra a relação existente entre reflectância da vitrinite, paleotemperatura e tipo de hidrocarboneto gerado.

Em poços da Bacia de Campos, valores de reflectância e estimativas de paleotemperaturas mostraram que os sedi-



mentos do Terciário e Cretáceo Superior foram submetidos a temperaturas não superiores às atuais e que se encontram aquém ou no limite inferior para o início de geração de óleo.

## 7 - CONCLUSÕES

Resumem-se, a seguir, as principais conclusões relativas aos gradientes geotérmicos da Bacia de Campos.

- Grandes feições tectônicas influenciam a distribuição do calor.
- Anomalias de temperaturas locais, quando próximas a falhamentos nos reservatórios, indicam possíveis dutos de migração de óleo.
- A análise qualitativa dos gradientes intervalares evidencia a alta condutividade térmica dos evaporitos e carbonatos que apresentam temperaturas relativas baixas. Por outro lado, óleo, gás, tufos vulcânicos, pelitos e basaltos agem como trapeadores de temperaturas.
- Feições intracrustais (elevação do manto ou intrusões), associadas ou não à movimentação de fluidos através de falhas sobrepostas, provocam

anomalias positivas de temperaturas nas áreas do 1-RJS-203 e norte da bacia.

- As condições térmicas adequadas à atuação de bactérias nos reservatórios da área sul da bacia - sugeridas pelos mapas de superfície isotérmica - foram atestadas pelas análises dos hidrocarbonetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FOWLER, P. T. Telling live basins from dead one by temperature. *World Oil*, 190: 107-21, 1980.
- MEINHOLD, R. Hydrodynamic control of oil and gas accumulations as indicated by geothermal, geochemical and hydrological distribution patterns. In: WORLD PETROLEUM CONGRESS, 8, Moscou, 1971. *Proceedings* . . . ; geological and exploration. London, Applied Science Publishers, 1971. v. 2, p. 55-66.

## ABSTRACT

thermal conductivity of the rocks also influences the distribution of temperatures. In rocks with good thermal conductivities - evaporites and carbonates, for example - low geothermal gradients are observed. This fact is attested in the area of oil fields in the south of the basin where the majority of wells drilled the whole stratigraphic sequence. On the other hand, the presence of oil and gas, volcanic tuffs, pelites and basalts, causes the register of high geothermal gradients in consequence of the low thermal conductivity and non-conducting character of these rocks and fluids.

Two areas of the basin display positive anomalies of temperatures: the north area, where regionally distributed high temperatures occur, and the area situated between the Regional High of Badejo and the limit faulting of the Pre-Aptian Basin. In the north area of the basin, intracrust reflections identified in seismic sections display a dome structure with 50 sq km in area whose apex is 8 700 m deep, in contrast to the 25 000 m found in other areas. To the south of this structure, there is a tertiary reactivation faulting whose throw reaches 1 000 m in the deepest sediments. In the same way as this anomalous area, the other one shows an intracrust structure interpreted as a rise of the mantle (plug) situated on the base of a large-scale intrabasement faulting. Consequently, a close proximity to a thermal source, associated or not to ducts which transfer rising hot fluids, seems to be one of the causes of the overheating

MEISTER, E. M. Gradientes geotérmicos nas bacias sedimentares brasileiras. *B. téc. PETROBRÁS*, 16 (4): 221-32, 1973.

MEISTER, E. M. *A geologia histórica do petróleo na Bacia de Campos*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. DEPEX, 1984. (Relatório, 103-4015).

MILLER, B. M. Geothermal and geopressure relations as a tool for petroleum exploration. *AAPG Bull.*, 58 (5): 916, 1974.

PETROLEUM GEOCHEMISTRY GROUP MEETING, 1, Aberdeen, 1983. Heavy oil: origin, alteration, properties and production. *J. Pet. Geol.*, 5 (4): 443-4, Apr. 1983. Síntese dos trabalhos apresentados.

PRICE, L. C. Aqueous solubility of petroleum as applied to its origin and primary migration. *AAPG Bull.*, 60 (2): 213-44, 1976.

ROSS, S. & PANTOJA, J. L. *Estudo geotérmico da Bacia de Campos*; relatório interno. Vitória, PETROBRÁS. DEPEX. DISUD, 1978.

TISSOT, B. P. & WELTE, D. H. *Petroleum formation and occurrence*. New York, Springer-Verlag, 1978. 538 p.

Since the generation of oil occurs in the deepest sediments of the basin, a fluid flow takes place during the migration of hydrocarbons to the reservoirs located in higher positions. In order to study the effect of these flows upon the isotherms, the temperatures measured on the level of oil accumulation were plotted and an overheating, accentuated towards certain faultings, was observed. These local anomalous temperatures indicate probable points of oil entrance to the reservoirs. The fact that the isotherms follow the disposition of permeable beds is another evidence for heat transfer by thermal convection of fluids found in these reservoirs.

Mapping of the temperatures obtained in 404 wells drilled in the Campos Basin attested the influence of distinct factors on the orientation and control of heat distribution.

The influence of structural configuration on the isotherms is shown by their general disposition, concordant with the main tectonic features of the basin. Positive features of the basement govern the heating of the immediately overlaid sediments which directly absorb the greatest thermal flows originated from the granitic rocks. Furthermore, large-scale structures create lateral contacts between sequences with different thermal characteristics and permit the heat transfer through the faultings by migration of rising fluids.

Besides the factors mentioned above, the

observed in the overlaid sediments. This intracrust was identified in seismic sections and through gravimetry data.

Graphic analysis of the API values of the basin oils in relation to their temperature of occurrence pointed out a correspondence between the lowest temperatures and the densest oils. Chromatography analysis of these oils shows that their light parts were destroyed by alteration.

In order to improve the knowledge of the relationship between oil density and temperature, maps were made and through them the depths at which the 140 and 180°F (60 and 82°C) temperatures occur were obtained. These values are accepted as the limits to the activity and survival of bacteria respectively. These maps were also related to the lithostratigraphic units so as to produce evidence in support of bacteria activity in reservoirs with oil accumulation. The results show a possible bacteria activity in the south area of the basin, in the Pampo, Badejo and Linguado oil fields and adjacent areas, in the reservoirs of the Macaé, Campos and Emboré formations. These areas contain the great majority of heavy oils of the basin which are suggestively biodegraded. As a consequence of this fact, the knowledge of the present-day temperatures are useful in the delimitation of areas with altered oils, specially in tertiary reservoirs, not subject to deep variations in their paleogradients.

