

ALGUNS PARÂMETROS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO HIDROGEOQUÍMICA DE UM CAMPO PETROLÍFERO NA BACIA DE CAMPOS (RJ). ESTUDOS PRELIMINARES

Sergio Luiz Nogueira de Azevedo
Aluno do Curso de Graduação do Depto de Geologia

Carla Valéria Martins Rodrigues
CENPES/PETROBRÁS

Antonio Carlos Jacome de Castro
Professor Adjunto - Dept^o de Geologia

ABSTRACT

The study of the formation water is receiving a great importance, as a tool in the studies of migration, weathering and accumulation of hydrocarbons.

The present study is based on the interpretation of chemical and isotopic data of formation water belonging to Lagoa Feia and the Macaé Formations of the Campos Basin oil field. The purpose of mechanisms for evolution and genetic classification of formation water, that was intended in the recent study, determined their sources and hydrogeological environments in question. Finally, these basic facts were related with the possibility, or not, of accumulation of hydrocarbons.

The sample from Campo X point towards existence of "stagnated environments" with low circulation of water, inclined for accumulation of hydrocarbons, shutting out sample 4 (four), belong to Lagoa Feia Formation, is described how included in the hydrodynamic circulation zone.

The strong point of dolomitization and water reaction with clay minerals shows an influence of the meteoric diagenetic environments, proving that before the establishment of estagnated condition observed, probably the water of Campo X received a strong meteoric influence.

The waters studied are resulted of one mixture of waters from different brines among these waters originated by evaporation are included. It's possible, because high brines of Lagoa Feia Formation could have some volcanic contribution.

I - INTRODUÇÃO

Com a futura implantação da disciplina Geoquímica do Petróleo no Curso de Graduação de Geologia do Instituto de Geociências da UFRJ e, a possibilidade de aplicação de diversos segmentos do curso em estágios práticos para alunos de geologia em diversos setores da Geoquímica do Petróleo no CENPES/PETROBRÁS, adotamos, de comum acordo, o critério de divulgação dos trabalhos e resultados obtidos por nossos alunos durante o período de estágio. Em particular este trabalho refere-se a avaliação hidrogeoquímica de um campo petrolífero na Bacia de Campos tendo como base o estudo de águas-de-formação e, foi totalmente elaborado nos laboratórios do CENPES/PETROBRÁS.

Água-de-formação é a água que ocorre naturalmente nas rochas, presente imediatamente antes da perfuração (Case, 1955). Seu estudo em bacias sedimentares é de grande importância na indústria do petróleo, pois possibilita correlações com a evolução tectono-sedimentar, com a geopressão, a geotemperatura e principalmente com a ocorrência de hidrocarbonetos nessas bacias.

Baseado nos constituintes iônicos e isotópicos das águas-de-formação do Campo X da Bacia de Campos foi possível tecer considerações a respeito do grau de evolução hidroológica deste campo, sua caracterização hidroquímica e classificação genética das águas-de-formação, e da relação destas águas com a ocorrência de hidrocarbonetos.

As águas-de-formação estudadas foram coletadas a profundidades inferiores a 2.700 m na Formação Macaé, enquanto que na Formação Lagoa Feia foram coletadas em profundidades superiores a 2.990 m.

I.1 - TRABALHOS ANTERIORES

A Hidrogeologia do Petróleo é uma ciência relativamente nova, e como tal, possui poucos trabalhos publicados a nível mundial. Os primeiros trabalhos publicados sobre as águas-de-formação da Bacia de Campos foram os de Gonçalves & Tavares (1981) e Tavares (1984), que versaram sobre a caracterização química das mesmas. O primeiro estudo com enfoque específico na Hidrogeologia do Petróleo da Bacia de Campos foi realizado por Araújo (1989), o qual, através da reconstituição paleoambiental da mesma, teceu diversas conclusões sobre a origem e os mecanismos de concentração salina da água-de-formação da Bacia de Campos.

Outro importante trabalho foi o de Trindade & Carminatti (1987), que através do resultado de análises químicas completas e isotópicas de águas-de-formação, juntamente com análises cromatográficas e de biodegradação de óleos da Bacia de Campos, permitiu o levantamento de conclusões preliminares acerca de extensão da infiltração de águas meteóricas na bacia.

I.2 - GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia de Campos (Figura 1), limitada ao norte pelo Alto de Vitória e ao sul pelo Alto de Cabo Frio, é a área sedimentar mais prolifera em hidrocarbonetos da margem continental brasileira, respondendo atualmente por mais de 60% da produção de óleo do Brasil. Ocupa

cerca de 100.000 km², dos quais apenas 600 km² estão na parte terrestre, estendendo-se até áreas com lâmina d'água superior a 3.000 m.

A evolução tectônica da Bacia de Campos é associada com o rifteamento mesozóico do Atlântico Sul que resultou na quebra do Gondwana e na formação de diversas bacias marginais. A subsidência desta bacia é atribuída a um rifteamento inicial com subsequente recuperação termal da litosfera (Mohriak et al., 1990). A evolução estratigráfica da Bacia de Campos mostra quatro sequências tectono-estratigráficas, formações Lagoa Feia, Macaé, Campos e Emborê (Schaller, 1973), que estão associadas a três estágios de desenvolvimento: rifte, proto-oceânico e oceânico (Asmus & Porto, 1972).

Os depósitos lacustres neocomianos do estágio rifte, representados por um sistema de folhelhos, arenitos e coquinas, estão ligados ao falhamento de blocos rotacionados de uma crosta em rápida subsidência e a um vulcanismo máfico disperso, ocorridos acerca de 130 M.a..

O estágio proto-oceânico, de idade aptiana, se caracteriza pela deposição de rochas evaporíticas, que estão associadas à primeira entrada de água-do-mar pela *Walvis Ridge*. As rochas deste estágio, sobrepostas aos sedimentos da fase rifte, são compostas por clásticos avermelhados (de grossos a finos), evaporitos e carbonatos algálicos (Trindade & Carminatti, 1987). Estes dois estágios representados pela Formação Lagoa Feia.

A parte inferior do estágio oceânico é formada por calcarenitos, calcilitos, margas e arenitos, de idade albiana/cenomaniana, que representam um sistema de plataforma rasa. Esta sequência corresponde a Formação Macaé. Arenitos turbidíticos depositados neste período são denominados Membro Namorado.

O estágio oceânico superior, que se estendeu do Neocretáceo até o Cenozóico (formações Campos e Emborê), foi um período de quiescência tectônica e contínua subsidência. A Formação Campos é constituída por folhelhos e margas, sendo que os arenitos turbidíticos neles intercalados são referidos ao Membro Carapebus. As plataformas rasas siliciclásticas estão representadas pela Formação Emborê, que também inclui as duas plataformas carbonáticas, desenvolvidas no Oligoceno e Mioceno/Plioceno, representadas respectivamente pelos membros Siri e Grussaí.

A Figura 2 resume a estratigrafia da Bacia de Campos. A Formação Cabiúnas corresponde a rochas ígneas básicas da coluna litoestratigráfica.

I.3 - METODOLOGIA

O presente trabalho baseou-se no estudo de resultados de análises químicas completas e isotópicas de águas-de-formação, coletadas nas formações Lagoa Feia e Macaé, de um único campo petrolífero da Bacia de Campos, denominado neste trabalho de Campo X. No total, foram utilizadas 24 amostras de água-de-formação. Estes dados hidrogeoquímicos foram processados através do Sistema de Arquivamento de Dados Hidrodinâmicos e Hidrogeoquímicos - Sistema Hidro - onde estão disponíveis todas as análises de água-de-formação realizadas pela PETROBRÁS S.A..

A representação gráfica das assinaturas iônicas das águas (diagrama de Stiff) foi elaborada para todas as amostras, usando-se uma escala fixa para possibilitar a correlação das mesmas.

A classificação genética das águas-de-formação foi realizada com base nos sistemas propostos por (Palmer, Sullin, Bojarski e Schoeller, in Collins 1975), Rittenhouse (1967) e Matray (1990). Estes sistemas foram adotados por serem usualmente aplicados às águas associadas à ocorrência de petróleo.

Os dados disponíveis foram correlacionados com os indicadores de águas associadas a hidrocarbonetos, propostos por Collins (1975).

O resultado das análises isotópicas foram analisados através de gráficos, segundo o modelo proposto por Kharaka & Carothers (1986). Os dados analíticos foram obtidos por espectrometria de Absorção Atômica, Íon Específico e Espectrometria de Plasma.

II - COMPOSIÇÃO DAS ÁGUAS-DE-FORMAÇÃO

A salinidade (NaCl) e o total de sólidos dissolvidos (TSD) das águas estudadas, aumentam com a profundidade, observando-se uma nitida distinção entre o comportamento das águas da Formação Lagoa Feia, com salinidades maiores que 80.000 mg/l., e o das águas da Formação Macaé, com salinidades inferiores a 90.000 mg/l de salinidade (Figura 3). Os dados da composição química das águas-de-formação coletadas no Campo X, de profundidade de coleta das amostras e das respectivas unidades estratigráficas estão representados na Tabela 1.

II.1 - ÍONS DE METAIS ALCALINOS

O sódio é o cátion mais abundante nas águas-de-formação do Campo X. Este fato ocorre devido ao pequeno potencial iônico do sódio, aumentando a sua tendência a permanecer em solução (Araújo, 1993).

Este íon, na maioria das amostras, encontra-se depletado em relação à curva de evaporação da água-do-mar (Figuras 4 e 5), tanto no gráfico Na x Cl (Collins, 1975), quanto no gráfico Br x Na (Stueber et al., 1993). Segundo Collins (1975) esta depleção pode ser atribuída a processos diagenéticos como troca iônica ou reações de ultrafiltração envolvendo argilo-minerais e/ou carbonatos. Já Carpenter (1978) advoga que a perda de sódio nas águas-de-formação é frequentemente causada pela albitização de plagioclásio detritico, só que devido as litologias predominantes no campo estudado, esta hipótese se torna pouco provável. Os dados pertencentes à Formação Lagoa Feia, se comparados aos da Formação Macaé, apresentam-se geralmente mais concentrados em sódio.

O potássio encontra-se depletado em relação à curva de evaporação da água-do-mar (Figura 6), sendo esta depleção mais acentuada na Formação Lagoa Feia. Stueber & Walter (1991) justificaram esta depleção como sendo devido a reações das águas com argilo-minerais pobres em potássio, como a caulinita, produzindo argilo-minerais ricos em potássio, como a illita, além de K-feldspato autigênico.

Outro fato que corrobora a hipótese de reação destas águas com argilo-minerais é o enriquecimento em lítio (Figura 7), que segundo Sanders (1991) pode acontecer pela troca com potássio ou sódio dos argilo-minerais. Segundo Collins (1975) este enriquecimento em lítio também pode ser gerado pela simples liberação de lítio ou degradação de minerais que contenham este íon, ou ser proveniente de emanações vulcânicas. Os dados disponíveis sobre este íon pertencem à Formação Lagoa Feia e ainda são escassos, mas são entendidos como uma expectativa geoquímica.

II.2 - ÍONS DE METAIS ALCALINO-TERROSOS

A concentração de cálcio, bário, estrôncio e magnésio aumenta proporcionalmente com a salinidade, entretanto, enquanto o cálcio, bário e estrôncio encontram-se enriquecidos em relação à curva de evaporação da água-do-mar, o magnésio encontra-se depletado (Figura 7).

Araújo (1989) cita alguns processos possíveis para o aumento da concentração de cálcio nas águas-de-formação:

- alteração diagenética de plagioclásios para formar minerais mais estáveis como micas e esmectita;
- dissolução de sulfato e carbonato de cálcio;
- liberação dos cátions hidrossolúveis de cálcio pela conversão de montmorilonita em illita na diagênese; e
- liberação do cálcio durante o processo de dolomitização.

O alto teor de estrôncio, cuja concentração é ainda maior na Formação Lagoa Feia, pode ser atribuído ao processo de dolomitização e pela liberação deste cátion durante a recristalização de aragonita em calcita (Sanders, 1991).

II.3 - ÍONS DE HALOGÊNIOS

A concentração do íon cloreto nas águas-de-formação é muito variável de acordo com as peculiaridades dos reservatórios. As águas estudadas apresentam o cloreto como íon mais abundante. Enquanto a água-de-formação da Formação Lagoa Feia apresenta concentrações de cloreto superiores a 100.000 mg/l, a da Formação Macaé apresenta concentração máxima de 63.000 mg/l de Cl^- . Araújo (1989) explica o enriquecimento anômalo do íon cloreto nas águas da Formação Lagoa Feia, como sendo provavelmente associado a contaminação pela percolação de solução salina saturada.

A maioria das águas da Formação Macaé são enriquecidas em brometo em relação à curva de evaporação da água-do-mar (Figura 9). O aumento na concentração deste íon em águas-de-formação é esperado pois o brometo não forma mineral próprio, possibilitando que sua concentração aumente na fase líquida à medida em que se precipitam os sais de cloreto. O único dado confiável de brometo, pertencente à Formação Lagoa Feia, encontra-se bastante depletado. A depleção em brometo, segundo Rittenhouse (1967), poderia ser o resultado de dissolução congruente de halita proveniente de evaporitos ou de domos de sais.

O íon iodeto encontra-se enriquecido em relação à curva de evaporação da água-do-mar (Figura 9). Segundo Collins (1975), este enriquecimento está relacionado com solubilização ou lixiviação de compostos de iodo. Todos os dados de iodeto pertencem a Formação Macaé.

II.4 - ÍONS DE SULFATO, BICARBONATO E CARBONATO

O teor de íon sulfato está abaixo da sua concentração média na água-do-mar (900 mg/l) em todas as amostras estudadas, excetuando-se a amostra 4 (1943 mg/l $\text{SiO}_4^{=}$), classificada

como sulfato-sódica, ou seja, pertencente a uma zona hidrodinamicamente ativa, e a amostra 7 (1315 mg/l $\text{SO}_4^{=}$), que é cloreto-cálcica, característica de ambiente estagnante. A disponibilidade de cálcio, advinda da dolomitização, em uma água-de-formação pode causar a precipitação de sulfato na forma de gipsita ou anidrita, ocasionando a depleção deste ânion na água. O sulfato também pode ser depletado por processos de redução (Carpenter, 1978).

A concentração do ion bicarbonato normalmente diminui com a profundidade, logo as amostras da Formação Lagoa Feia apresentam menores teores deste ion do que as da Formação Macaé. Segundo Araújo (1989), a diminuição do teor deste ion nas águas mais antigas, como as da Formação Lagoa Feia, se deve ao decréscimo da atividade bacteriana com o aumento da temperatura, e também à precipitação de CaCO_3 .

Todas as amostras apresentam teor zero de carbonato, exceto a amostra sulfato-sódica 4, que possui 240 mg/l de $\text{CO}_3^{=}$ e pH 11.18.

II.5 - pH

O pH das águas-de-formação é controlado pelo sistema $\text{CO}_2\text{-HCO}_3$, sendo geralmente menor que 7.0. Nas águas em estudo o pH varia entre 6.18 e 7.70, excetuando-se a amostra 4, que pertence à Formação Macaé, com pH de 11.18, cujo alto valor deve estar relacionado à presença de $\text{CO}_3^{=}$ em solução.

II.6 - RAZÕES IÔNICAS

A relação Ca/Mg aumenta com a profundidade (Figura 10 e Tabela 2) e com o TSD, variando de 1.0 a 2.5 na Formação Macaé e de 4.4 a 10.0 na Formação Lagoa Feia. O aumento desta razão é explicado por Collins (1975), como sendo relacionado com a formação de dolomita e clorita, ou devido à reações com argilo-minerais.

Ao contrário da razão Ca/Mg, a relação Na/Ca+Mg diminui com a profundidade (Figura 11 e Tabela 2) e com o TSD, variando entre 6.0 e 10.0 para a Formação Macaé e entre 0.1 e 6.0 para a Formação Lagoa Feia. A depleção do sódio em relação ao cálcio + magnésio é atribuída por Collins (op. cit.) como sendo causada pela diagênese das águas envolvidas. Esta relação é correlacionável com o IBE, pois os dados que apresentam altos valores de IBE, indicando a troca de ions alcalinos das águas com os alcalino-terrosos das argilas, geralmente possuem baixos valores da razão Na/Ca+Mg, como é o caso das águas da Formação Lagoa Feia.

III - CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS-DE-FORMAÇÃO

Utilizando-se a classificação hidroquímica proposta por Palmer (Collins, 1975) para as águas em estudo, constatamos que em todas as amostras há o predomínio da salinidade primária (S1), que é o resultado da reação de ácidos fortes com bases de metais alcalinos, sobre a salinidade secundária (S2), que representa o resultado da combinação de ácidos fortes com bases de metais alcalino-terrosos, e da alcalinidade secundária (A2), que resulta da combinação de ácidos fracos com bases de metais alcalino-terrosos, sobre a alcalinidade primária (A1), que é o resultado da combinação de ácidos fracos com bases de metais alcalinos.

A maioria das amostras são classificadas como águas do tipo S1S2A2, embora as amostras 4, 11 e 19, todas pertencentes à Formação Macaé, classifiquem-se com S1A2S2. Os dados da Formação Lagoa Feia apresentam valores de salinidade secundária (S2).

Pela classificação hidroquímica introduzida por Sulin (Collins, 1975), a maioria das águas estudadas são cloreto-cálcicas, caracterizando águas de ambiente estagnante, típico de zonas de intercâmbio restrito de águas protegidas do regime de fluxo meteórico. A amostra 4, coletada na Formação Macaé, é classificada como sulfato-sódica, característica de condições meteóricas e/ou artesianas, de águas derivadas do continente ou de águas encontradas em zona de circulação hidrodinâmica e típicas de ambientes submetidos ao fluxo gravitacional. As amostras 11 e 19, pertencentes à Formação Macaé, são classificadas como cloreto-magnesianas, típicas de águas associadas a evaporitos.

Segundo a modificação da classificação de Sulin por Bojarski (Collins, 1975), a maioria das águas cloreto-cálcicas estudadas pertence às classes representativas de zonas hidrodinâmicas ativas com considerável movimentação de água (classe I) e a zonas de transição entre zonas hidrodinâmicas ativas e zonas hidrostáticas estáveis, com baixas condições de preservação de hidrocarbonetos (classe II). As águas da Formação Macaé estão inclusas nas classes I e II. As águas da Formação Lagoa Feia pertencem à classe IV (complexo isolamento das acumulações de hidrocarbonetos; presença de águas residuais), embora esta formação apresente águas pertencentes às classes I, II e III. Collins (op. cit.) critica este sistema, achando restrita a sua utilização.

Outro importante parâmetro para a classificação das águas-de-formação é o Índice de Troca de Bases (IBE) do sistema de Schoeller. Segundo Schoeller in Collins, 1975, quando os íons alcalinos da água trocam com os íons alcalino-terrosos das argilas, o valor de IBE

aumenta, e quando os íons alcalino-terrosos da água trocam com os íons alcalinos das argilas, o valor do IBE tende a zero, passando a valores negativos. De acordo com Schoeller, os valores de IBE superiores a 0.129 (valor típico da água marinha) são típicos de águas conatas associadas a hidrocarbonetos e os valores inferiores a 0.129 são característicos de água de origem meteórica infiltrada em sedimentos marinhos. No campo petrolífero em estudo a maioria das águas apresenta valores positivos do IBE, sendo que todas as águas da Formação Lagoa Feia possuem valores superiores a 0.129. Como a Formação Lagoa Feia é caracterizada por suas sequências evaporíticas, os altos valores de IBE desta formação podem ter sua origem na troca de íons de metais alcalinos da água pelos alcalino-terrosos dos argilo-minerais presentes nos folhelhos, mas devem estar preferencialmente relacionados com a lixiviação de evaporitos existentes na área. A amostra 4, classificada como sulfato-sódica pelo sistema de Sulin, é a única com IBE negativo, indicando forte influência meteórica. O IBE no campo estudado aumenta proporcionalmente a salinidade.

Segundo a classificação proposta por Rittenhouse (1967), que subdivide as águas-de-formação em cinco grupos com base nos seus teores de brometo dissolvido, as amostras da Formação Macaé estudadas pertencem ao grupo II, ou seja, o teor de brometo é superior ao esperado pela simples evaporação da água-do-mar (Figura 2). O excesso de brometo deve ter sido adicionado durante a diagênese inicial. Araújo (1989) classifica as águas da Formação Lagoa Feia como pertencentes ao grupo III, mas no campo em questão não é possível classificar as águas desta formação por falta de dados confiáveis.

Pela classificação de Matray (1990) a maioria das águas enfocadas neste estudo situa-se no intervalo entre "salmoura primária" e "salmoura mista" indicando a ocorrência de mistura de soluções (Figura 3). Uma dessas soluções pode ser uma "salmoura secundária" gerada por dissolução de halita primária como as águas das amostras 1 e 17. A amostra 22 é classificada como "salmoura primária".

Na Tabela 3 está sumarizada a classificação genética das águas-de-formação do Campo X.

IV - ISÓTOPOS ESTÁVEIS

Os dados de isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio disponíveis (Tabela 4 e Figura 4) mostram valores de ^{18}O enriquecidos em relação ao padrão da água-do-mar (SMOW). Todas as amostras estão levemente depletadas em deutério em relação ao SMOW (Standard Mean Ocean Water), exceto as amostras 8 e 24. Todos os dados isotópicos avaliados, com

exceção dos associados às amostras 8 e 24, situam-se na região de mistura de água meteórica com água conata de origem marinha acompanhada de processos de enriquecimento diferencial em ^{18}O e/ou depleção em deutério, segundo o proposto por Hitchon & Friedman (1969) na Figura 5.

O enriquecimento em ^{18}O ocorre geralmente associado a processos diagenéticos, através da reação das águas-de-formação com rochas carbonáticas presentes nas unidades estudadas e a depleção em deutério normalmente se relaciona com a reação das águas com argilo-minerais. As duas amostras enriquecidas em deutério estudadas (amostras 8 e 24) provavelmente tiveram sua evolução relacionada com a evaporação de bacias marinhas restritas ou fechadas.

V - REPRESENTAÇÃO HIDROQUÍMICA

A representação gráfica de dados analíticos de águas proposta por Stiff (1951), denominada de diagrama de Stiff, é a mais comumente utilizada na indústria do petróleo, pois possibilita a caracterização iônica das águas e foi consagrada pela denominação de diagrama de Stiff.

O diagrama de Stiff consiste de quatro segmentos de reta horizontais, cortados por uma reta vertical onde se inicia o zero da escala. No lado esquerdo são representados os cátions e no lado direito os ânions, ambos em miliequivalente por litro. As configurações de cada água representam o estágio de evolução hidrogeoquímica de cada sítio deposicional no espaço e no tempo, permitindo distinguir a origem similar de águas concentradas por evaporação ou diluídas pela água meteórica, pois suas formas gráficas se mantêm inalteradas.

Todos os diagramas de Stiff do Campo X, que pertencem a Formação Lagoa Feia, apresentam formas gráficas semelhantes, indicando uma origem similar para estas águas (Figura 17).

As águas da Formação Macaé têm seus diagramas de Stiff completamente diferentes dos da Formação Lagoa Feia, denotando origens e processos evolutivos distintos para as águas destas duas formações. Observando os gráficos das águas cloreto-cálcicas da Formação Macaé, pode-se notar a existência de dois padrões diferentes de diagramas, além do diagrama de Stiff da amostra 4 (sulfato-sódica), que possui assinatura química completamente distinta (Figura 18).

VI - INDICADORES DE ÁGUAS ASSOCIADAS A HIDROCARBONETOS

Collins (1975) definiu doze indicadores positivos, de caráter prospectivo, da ocorrência de hidrocarbonetos, oito dos quais correspondem a características hidrogeoquímicas. Os indicadores favoráveis citados são:

- água tipo cloreto-sódica;
- água da classe S1S2A2;
- teor de brometo > 300 mg/l;
- teor de iodeto > 1 mg/l;
- $(\text{SO}_4^{=}\text{ x }100)/\text{Cl} < 1$;
- águas em condições hidrostáticas ou semi-hidrostáticas;
- metano, etano e benzeno dissolvidos na água;
- temperatura da água entre 66 e 149°C;
- pressão normal (< 2.13 psi/m);
- potencial de oxi-redução negativo;
- ácidos orgânicos em solução na água; e
- existência de rochas geradoras.

No campo petrolífero estudado, 87% das amostras de água são cloreto-cálcicas, características de ambiente estagnante. Todas estas águas cloreto-cálcicas tem valores da razão $(\text{SO}_4^{=}\text{ x }100)/\text{Cl}$ menores do que uma unidade, exceto a amostra 7, com o valor de 2.626 (Tabela 5).

Todos os dados disponíveis da concentração de iodeto são maiores ou iguais a 1 mg/l. Já a concentração do brometo só é superior a 300 mg/l na amostra 22, cuja qualidade da análise foi considerada duvidosa.

Todas as águas cloreto-cálcicas pertencem a classe S1S2A2 pela classificação de Palmer.

Conclui-se pelos resultados acima que as águas cloreto-cálcicas do Campo X possuem características que indicam sua associação com acumulações de óleo ou gás, apesar das águas estudadas apresentarem teores de brometo inferiores a 300 mg/l.

VII. - DISCUSSÃO

Todas as águas-de-formação do Campo X, pertencentes à Formação Lagoa Feia, são classificadas como cloreto-cálcicas pelo sistema de Sulin, e em sua maioria são de classe IV, segundo a modificação proposta por Bojarski, o que denota origem relacionada a um ambiente estagnante propício à preservação de hidrocarbonetos (Collins, 1975).

As águas estudadas da Formação Lagoa Feia estão todas incluídas na classe S1S2A2 pelo sistema de Palmer (Collins, 1975), embora uma importante característica das mesmas seja os altos valores da salinidade secundária. Esta elevada salinidade secundária é corroborada pelos baixos valores da razão Na/Ca+Mg e pelo IBE, o último sempre superior a 0.129. A alta concentração dos íons de metais alcalino-terrosos provavelmente relaciona-se com a dissolução de rochas evaporíticas, encontradas na parte superior da Formação Lagoa Feia, hipótese reforçada pela depleção de brometo em relação a curva de evaporação da água-do-mar e pelo sistema de classificação de Matray (Matray, 1990), pois a única amostra confiável desta formação (amostra) foi classificada como "salmoura secundária", originada provavelmente por dissolução congruente de halita primária.

Os dados disponíveis das águas da Formação Lagoa Feia indicam que as mesmas sofreram intensa atividade diagenética. O enriquecimento de sódio deve estar relacionado a trocas iônicas com argilo-minerais e carbonatos, assim como o enriquecimento em lítio e a depleção em potássio, que devem ter sua origem na reação de transformação de caulinita em illita. O elevado conteúdo de cálcio e estrôncio, e a depleção do magnésio em relação à curva de evaporação da água-do-mar, observados nas águas da Formação Lagoa Feia, são provavelmente originados a partir de um intenso processo de dolomitização, fato corroborado pelos altos valores da razão Ca/Mg. Bertani (1983), ao estudar a diagênese da Formação Lagoa Feia, informa que o crescimento autigênico de gipsita e anidrita, e a fase inicial de dolomitização são feições de diagênese lacustre freática. O forte enriquecimento em estrôncio também pode ser causado pela recristalização de aragonita em calcita.

Os baixos valores de bicarbonato são devidos, provavelmente, à precipitação de calcita. A forte depleção em sulfato deve estar relacionada à precipitação de gipsita, anidrita ou sais sulfatados de bário, já que estas águas têm apreciável quantidade de cálcio, estrôncio e bário disponíveis. O processo de redução, através da atuação de bactérias anaeróbicas, também deve ter tido importante papel na depleção de sulfato, mas a não disponibilidade de dados a este respeito, impossibilitam qualquer afirmação concreta.

Um fato marcante nestas águas é a salinidade extremamente elevada, cuja origem deve estar relacionada à mistura com soluções evaporíticas ou à emanções vulcânicas, sendo esta última possibilidade corroborada pelo enriquecimento de lítio nas águas da Formação Lagoa Feia. Estas emanções seriam provenientes do vulcanismo de idade eocretácea bastante difundido na Bacia de Campos.

As águas estudadas da Formação Lagoa Feia apresentam um mesmo padrão de diagrama de Stiff, denotando uma origem similar para as mesmas.

Todas as amostras cloreto-cálcicas pertencentes à Formação Macaé são classificadas como S1S2A2 (Coolins, op. cit.). Segundo a modificação do sistema de Sulin por Bojarski estas águas se enquadram nas classes I e II, mas a composição iônica destas águas não se adequa a uma zona hidrodinâmica ativa, levando a desconsideração deste sistema para estas águas. As águas cloreto-cálcicas desta formação apresentam dois padrões distintos de diagramas de Stiff.

O IBE das águas da Formação Macaé, com exceção de um dado com valor negativo, varia de 0.051 a 0.197. Estes dados de IBE são menores que os da Formação Lagoa Feia, o que é coerente com os valores da razão $Na/Ca+Mg$, também inferiores na Formação Macaé. A atividade diagenética nesta formação parece não ter sido tão intensa quanto na Formação Lagoa Feia, devido aos menores teores de cálcio, sódio, estrôncio e bário, menor depleção do íon potássio e menores valores da razão Ca/Mg . Estes dados indicam um menor grau de dolomitização e de reação da água com argilo-minerais na Formação Macaé. Segundo Marçal (1993), que estudou as feições diagenéticas dos calcarenitos da Formação Macaé, a dolomitização na Bacia de Campos pode ter ocorrido por influxo de água meteórica sindeposicional.

A inclusão das águas da Formação Macaé no grupo II da classificação de Rittenhouse, indica um excesso de brometo, advindo, provavelmente, de processos diagenéticos (Rittenhouse, 1967). Segundo a classificação de Matray, todas as amostras estão situadas no intervalo entre "salmoura primária" e "salmoura mista", exceto a amostra 17 classificada como "salmoura secundária" (Matray, 1990).

Todos os dados isotópicos das águas-de-formação da Formação Macaé, com exceção da amostra 24, são enriquecidos em ^{18}O e ligeiramente depletados em deutério, provavelmente devido a reações da água com rochas carbonáticas e/ou argilo-minerais.

A amostra 4, pertencente à Formação Macaé, apresenta características únicas dentro do campo em estudo, sendo esta a única classificada como sulfato-sódica segundo a classificação de Sulin (Collins, 1975) e a apresentar o IBE com valor negativo (-0.401), caracterizando uma

água de origem meteórica e pertencente à uma zona de circulação hidrodinâmica ativa. Esta água é S1A2S2 segundo a classificação de Palmer (Collins, op. cit.). Esta amostra possui a maior concentração de sulfato das águas do Campo X, além de ser a única que apresenta teores de carbonato dissolvido, o que resulta no elevado valor de 11.18 para o seu pH. Esta composição ímpar, está claramente evidenciada no seu diagrama de Stiff, que apresenta um padrão bem distinto de todas as outras amostras estudadas, indicando uma origem e/ou evolução diferente para esta água.

Entre as águas estudadas da Formação Macaé também se encontram duas amostras cloreto-magnesianas, indicando a associação destas águas com depósitos evaporíticos. Segundo a classificação de Palmer, estes dois dados são considerados S1A2S2.

VII - CONCLUSÕES

1. A maioria das águas-de-formação do Campo X da Bacia de Campos são classificadas como cloreto-cálcicas e S1S2A2, segundo a classificação de (Sulin e Palmer in Collins, 1975), respectivamente, indicando ambiente de águas estagnantes com intercâmbio restrito de águas.

2. As águas cloreto-cálcicas deste campo, segundo os indicadores propostos por Collins (1975), estão associados a acumulações de hidrocarbonetos.

3. As unidades estratigráficas enfocadas sofreram intensa atividade diagenética, caracterizada principalmente pela dolomitização, reação de argilo-minerais com as águas-de-formação e pelo enriquecimento em ^{18}O em relação ao SMOW. Esta atividade diagenética foi mais forte na Formação Lagoa Feia. Esta atividade diagenética e a classificação genética dessas águas indica influência meteórica (ambiente diagenético meteórico). Como as águas-de-formação deste campo são cloreto-cálcicas, a entrada provável de águas meteóricas teria ocorrido em uma época específica, após a qual passou a reinar um ambiente hidrostático.

4. As águas-de-formação da Bacia de Campos, em sua maioria classificada no intervalo entre "salmoura primária" e "salmoura mista" (Matray, 1990), são originadas a partir da mistura de diversas soluções, com salinidades variadas, incluindo "salmouras primárias", geradas pela evaporação avançada da água-do-mar, soluções salinas saturadas e águas meteóricas. As águas-de-formação da Formação Lagoa Feia provavelmente sofreram influência da atividade vulcânica máfica observada na bacia estudada.

5. A amostra 4 (sulfato-sódica) representa um ambiente de condições meteóricas, típico de zonas de circulação hidrodinâmica, não propício à acumulação de hidrocarbonetos.

6. A baixa densidade de informação sobre um ou outro conjunto de íons não invalida a formulação de hipóteses para a confecção de modelos geoquímicos críticos. Poucos dados sobre um determinado íon, independentemente da área ou escala de trabalho, cria uma expectativa geoquímica que pode gerar uma densidade amostral se houver a necessidade de se desenvolver novos conhecimentos técnicos-científicos.

7. O projeto sobre águas de formação é relativamente novo na Petrobrás e os dados disponíveis e os que estão sendo atualmente processados, muito em breve, irão melhorar a relação densidade amostral x área em um contexto geológico conhecido.

8. A metodologia de amostragem e analítica estão citadas na bibliografia contida, em grande parte, no texto. Maiores detalhes poderão ser conseguidos junto ao CENPES/PETROBRÁS - Sistema Hidro da PETROBRÁS.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de transmitir nossos agradecimentos ao Dr. Márcio Rocha Mello, CENPES/PETROBRÁS, pelo apoio e incentivo prestado ao longo desses anos aos alunos-estagiários do Curso de Geologia da UFRJ no Setor de Geoquímica do Petróleo. A jovem geóloga Valéria Martins Rodrigues, PETROBRÁS/CENPES/DIVEX/SEGEQ - Rio de Janeiro, pela inestimável colaboração e orientação na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, L.M. (1989). Estudo das águas de formação da Bacia de Campos. PETROBRÁS/DESUD/DIRGEO/SERPET, Macaé-RJ. Relatório Interno, 192 p.
- ARAÚJO, L.M. (1993). Origem e evolução geoquímica das águas e regime de fluxo das bacias sedimentares. Apostila do curso: Água de Formação, PETROBRÁS/NEXPAR/SERINT, 113 p.
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. (1972). Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 26. Belém, 1972. Anais... Belém, SBG, 2, 67-90.
- BERTANI, R.T. & CAROZZI, A.V. (1983). Microfácies, depositional models and diagenesis of Lagoa Feia Formation (Lower Cretaceous), Campos Basin, offshore Brazil. *Ciência Técnica Petróleo*, 14: 1-104.
- CARPENTER, A.B. (1978). Origin and chemical evolution of brines of in sedimentary basins. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 79: 60-77.
- CASE, L.C. (1955). Origin and current usage of the term "connate water". *A.A.P.G. Bull.*, 39: 2438-2447.
- COLLINS, A.G. (1975). *Classification of Oilfield Waters*. Elsevier, Amsterdam, 496 p.
- DIAS, J.L.; SCARTON, J.C.; ESTEVES, F.R.; CARMINATTI, M. & GUARDADO, L.R. (1990). Aspectos da evolução tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos. In: PETROBRÁS, *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*, Rio de Janeiro, PETROBRÁS, p. 333-360.
- GONÇALVES, M.A.C. & TAVARES, A.F.C. (1981). Estudo das águas de formação da Bacia de Campos. PETROBRÁS, Macaé-RJ, Relatório Interno.
- HITCHON, B. & FRIEDMAN, I. (1969). Geochemistry and origin of formation waters in the western Canada sedimentary basin-I. Stable isotopes of hydrogen and oxygen. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 33: 1321-1349.

- KHARAKA, Y.K. & CAROTHERS, W.W. (1986). Oxygen and hydrogen isotopic geochemistry of deep basin brines. In: Fritz, P. & Fontes, J.Ch., (eds.). *Handbook of environmental isotope geochemistry*, v. 2. Elsevier, Amsterdam, p. 305-360.
- MARÇAL, R.A. (1993). Caracterização das feições diagenéticas e fatores controladores da diagênese em rochas carbonáticas albianas da margem continental brasileira. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, 160 p.
- MATRAY, J.M. & FONTES, J.C. (1990). Origin of the oil fields in the Paris basin. *Geology*, 18: 501-504.
- MEISTER, E.M.; GUARDADO, L.R. & BELTRAMI, C.V. (1983). Carta estratigráfica da Bacia de Campos. PETROBRÁS/DEPEX, Rio de Janeiro-RJ, Relatório Interno, 3 p.
- MOHRJAK, W.U.; MELLO, M.R.; DEWEY, J.F. & MAXWELL, J.R. (1990). Petroleum geology of the Campos Basin, offshore Brazil. *Geological Society Special Publication*, 50: 119-141.
- RITTENHOUSE, G. (1967). Bromine in oil-field waters and its use in determining possibilities of origin of these waters. *A.A.P.G. Bull.*, 51(2): 2430-2440.
- SANDERS, L.L. (1991). Geochemistry of Formation Waters from the Lower Silurian Clinton Formation (Albian Sandstone), Eastern Ohio. *A.A.P.G. Bull.*, 75(1): 1593-1608.
- SCHALLER, H. (1973). Estratigrafia da Bacia de Campos. In: CONGR. BRAS. GEOL., 27. Aracajú, 1973. Anais... Aracajú, SBG, 3. 247-258.
- STIFF, H.A. (1951). The interpretation of chemical water analysis by means on patterns. *J. Pet. Technol.*, 3: 15-17.
- STUEBER, A.M. & WALTER, L.M. (1991). Origin and chemical evolution of formation waters from Silurian-Devonian strata in the Illinois basin, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 309-325.
- STUEBER, A.M.; WALTER, L.M.; HUSTON, T.J.; PUSHKAR, P. (1993). Formation waters from Mississippian-Pennsylvanian reservoirs, Illinois basin, USA: Chemical and isotopic constraints on evolution and migration. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 763-784.
- TAVARES, A.F.C. (1984). Análises químicas e sistemáticas desenvolvidas para caracterização da água de formação da Bacia de Campos. PETROBRÁS, Macaé-RJ, Relatório Interno.
- TRINDADE, L.A.F. & CARMINATTI, M. (1987). Estudo na migração secundária de hidrocarbonetos nas áreas dos campos de Albacora e Marlim, Bacia de Campos. PETROBRÁS/CENPES/DIVEX/SEGEQ, Rio de Janeiro, Relatório Interno, 62 p.

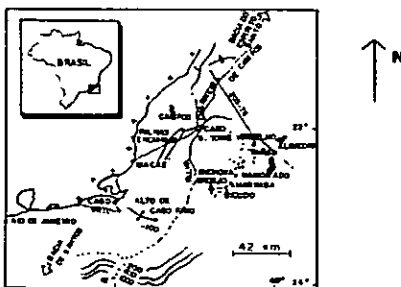


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia de Campos (Dias et al., 1990)

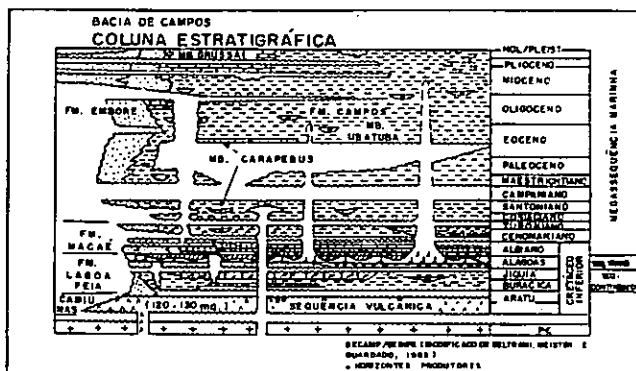


Figura 2 - Coluna estratigráfica da Bacia de Campos (Meister et al., 1983)

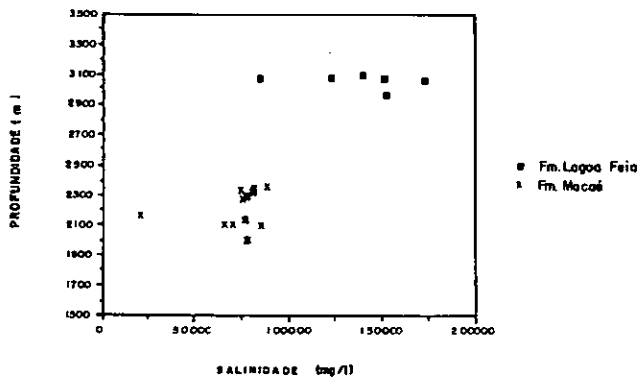


Figura 3 - Gráfico de Salinidade vs. Profundidade das águas-de-formação do Campo X.

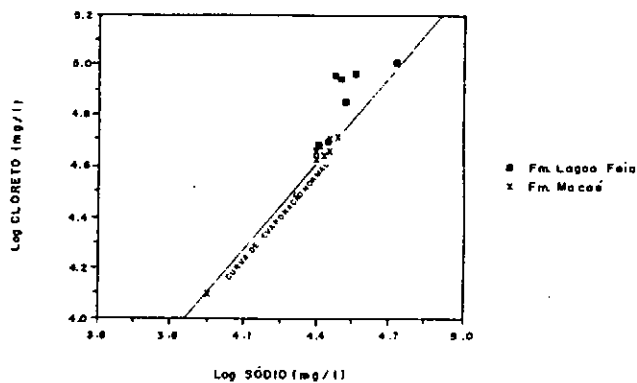


Figura 4 - Gráfico Na vs. Cl- das águas-de-formação do Campo X.

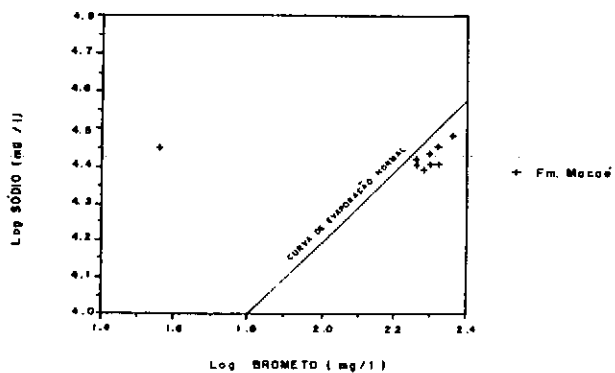


Figura 5 - Gráfico Br- vs. Na das águas-de-formação do Campo X.

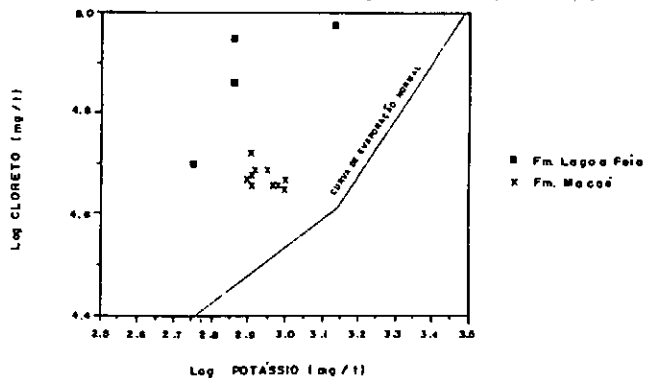


Figura 6 - Gráfico K vs. Cl- das águas-de-formação do Campo X.

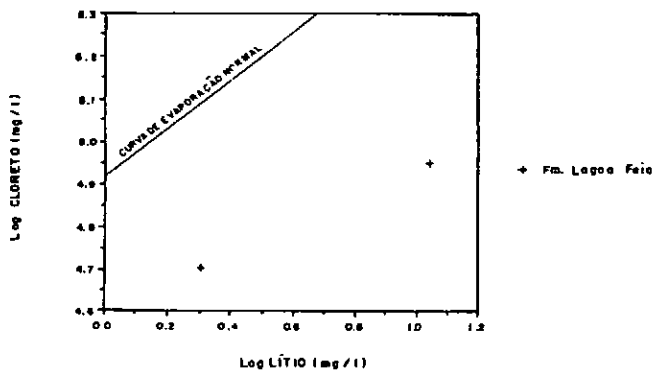


Figura 7 - Gráfico Li vs. Cl- das águas-de-formação do Campo X.

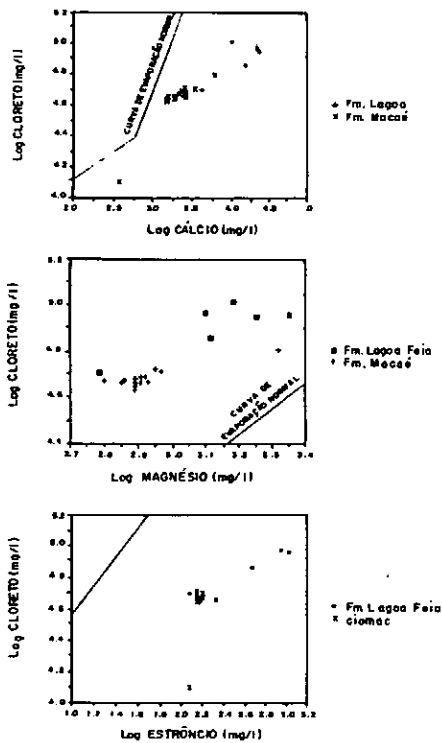


Figura 8 - Gráfico Ca vs. Cl⁻, Mg vs. Cl⁻ e Sr vs. Cl⁻ das águas-de-formação do Campo X.

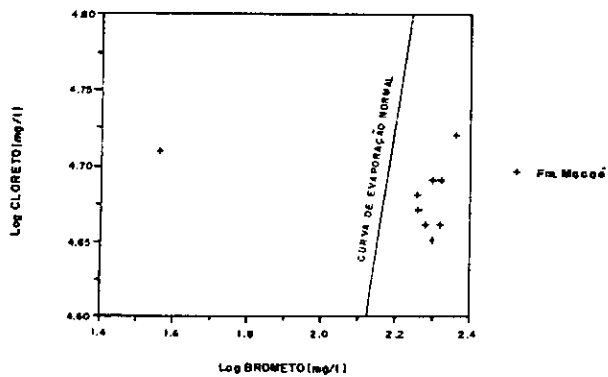


Figura 9 - Gráfico Br⁻ vs. Cl⁻ das águas-de-formação do Campo X.

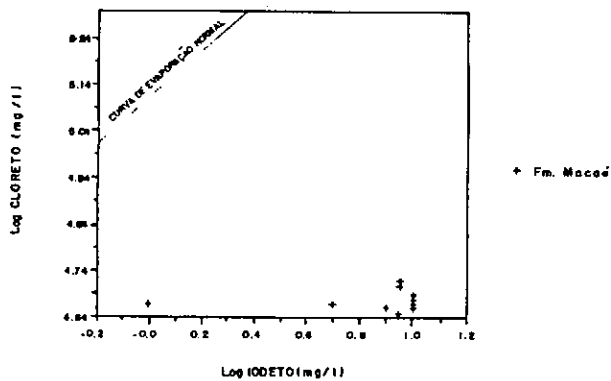


Figura 10 - Gráfico I⁻ vs. Cl⁻ das águas-de-formação do Campo X.

AMOSTRA	Formação	Profundidade (m)	pH	Salinidade (mg/l)	TSD (mg/l)	Sódio (mg/l)	Potássio (mg/l)	Cálcio (mg/l)	Magnésio (mg/l)	Bário (mg/l)	Estrôncio (mg/l)	Lítio (mg/l)	Clorato (mg/l)	Bicarbonato (mg/l)	Sulfato (mg/l)	Carbonato (mg/l)	Tóxico (mg/l)	Brometo (mg/l)	Qualidade análise
1	Lagoa Feia	3078.0	7.00	176396.0		52780.0		10020.0	1520.0				103310.0	280.0	110.0	0.0		17.0	boa
2	Maceá	2112.0	7.55	89537.0		24468.0		1433.0	778.0				42170.0	540.0	109.0				boa
3	Maceá	2112.0	7.55	85708.0		24468.0		1450.0	780.0				42170.0	540.0	110.0	0.0			boa
4	Maceá	2163.0	11.18	20740.0		8902.0		401.0			120.0		12378.0		1843.0	240.0			boa
5	Lagoa Feia	3096.0	6.30	136881.0		35500.0	1380.0	20800.0	1280.0	67.0	910.0		82300.0	130.0					requer
6	Maceá	2841.0		101173.0				5950.0	2070.0				83009.0						requer
7	Lagoa Feia	3073.0	6.65	82527.0	84826.0	27747.0	558.0	4144.0	588.0	6.0	120.0	2.0	50080.0	54.0	1313.0	0.0			requer
8	Lagoa Feia	2874.0	7.70	48259.0		29520.0		21630.0	2220.0				80530.0	150.0					boa
9	Maceá	2368.0	7.10	87000.0	89000.0	10000.0	820.0	2500.0	900.0	3.3	140.0		53000.0	500.0	470.0		9.0	230.0	requer
10	Maceá	2338.0	7.12	79000.0	78500.0	25000.0	840.0	2200.0	810.0	6.0	140.0		48500.0	650.0	80.0	0.0	10.0	198.0	
11	Maceá	2310.0	7.10	78000.0	78000.0	28000.0	930.0	1800.0	770.0	11.0	140.0		48000.0	500.0	100.0		8.0	210.0	requer
12	Maceá	2388.0	7.00	74000.0	78000.0	27000.0	990.0	1500.0	770.0	15.0	140.0		45000.0	500.0	33.0		9.0	200.0	requer
13	Maceá	2288.0	7.04	74800.0	74300.0	24400.0	980.0	1600.0	700.0	22.0	150.0		45300.0	840.0	50.0	0.0	10.0	190.0	
14	Maceá	2358.0	7.04	80460.0	79500.0	25400.0	900.0	2350.0	830.0	4.0	140.0		48800.0	720.0	100.0	0.0	10.0	208.0	
15	Maceá	2015.0	8.98	78200.0	77900.0	25400.0	810.0	2400.0	770.0	3.0	180.0		47500.0	580.0	80.0	0.0	10.0	180.0	
16	Maceá	2305.0	7.05	77400.0	77500.0	25600.0	800.0	2300.0	830.0	5.0			47000.0	780.0	180.0	0.0	10.0	180.0	
17	Maceá	2109.0	7.30	84405.0		27870.0		3378.0	930.0		180.0		51220.0	474.0	468.0	0.0	9.0	36.0	
18	Maceá	2145.0	7.32	78800.0	78700.0	25400.0	1000.0	2000.0	730.0	20.0	150.0		48500.0	580.0	70.0	0.0	1.0	180.0	
19	Maceá	2145.0	7.30	75000.0	78000.0	28500.0	820.0	1900.0	780.0	18.0	225.0		45500.0	850.0	80.0			210.0	requer
20	Maceá	2011.0	8.18	78520.0		25748.0		2418.0	855.0	10.0			48312.0	275.0	61.0	0.0	3.0		boa
21	Lagoa Feia	3087.0	6.78	147722.0		30785.0	728.0	22121.0	1780.0	125.0	1060.0	11.0	89842.0	110.0	58.0	0.0			
22	Lagoa Feia	3087.0	6.30	120000.0	124000.0	32000.0	130.0	15000.0	1300.0	41.0	470.0		73000.0	350.0	120.0			710.0	ruim
23	Lagoa Feia	3087.0	6.78	147722.0	148400.0	30785.0	728.0	22121.0	1780.0	125.0	1060.0	11.0	89842.0	110.0	58.0	0.0			boa
24	Maceá	2110.0																	

Tabela 1 - Composição química, profundidade de coleta e unidades estratigráficas das águas-de-formação do Campo X.

Tabela 2 - Razão Ca/Mg e Na/(Ca+Mg) para as águas-de-formação do Campo X.

AMOSTRA	Ca/Mg	Na/(Ca+Mg)
1	6.592	4.475
2	1.966	10.966
3	1.899	10.966
4		
5	16.587	1.802
6	2.879	
7	8.930	8.851
8	8.833	1.227
9	2.778	8.824
10	2.716	8.306
11	2.338	10.895
12	1.848	11.928
13	2.284	10.809
14	2.831	7.887
15	3.117	8.013
16	3.851	8.737
17	3.630	8.496
18	2.740	9.304
19	2.405	10.409
20	2.828	7.886
21	12.428	12.87
22	11.536	1.963
23	18.428	1.287

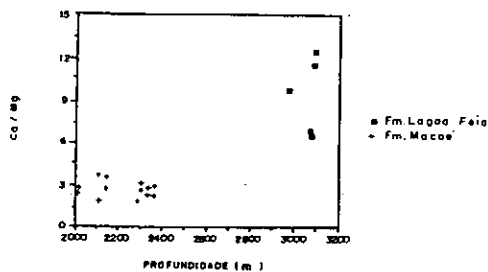


Figura 11 - Gráfico Profundidade vs. Ca/Mg das águas-de-formação do Campo X.

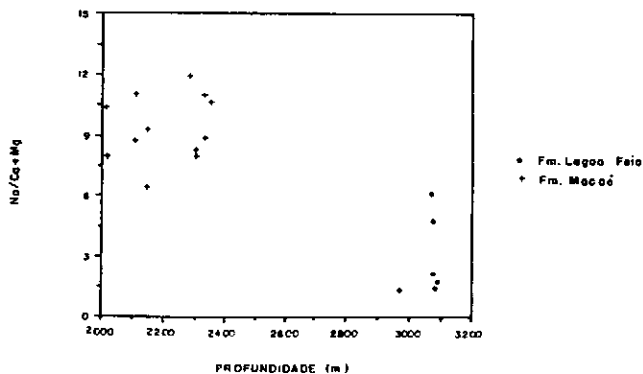


Figura 12 - Gráfico Profundidade vs. Na/(Ca+Mg) das águas-de-formação do Campo X.

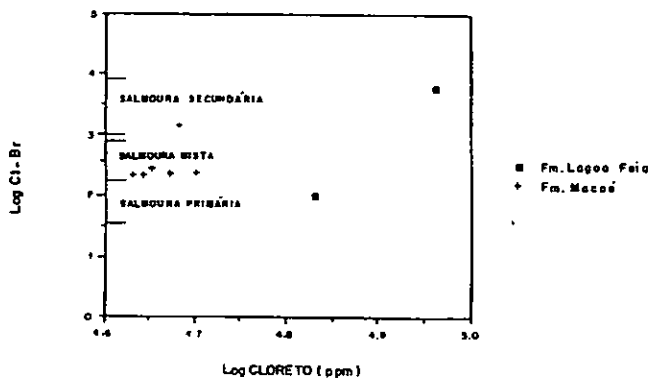


Figura 14 - Gráfico Cl⁻ vs. Cl⁻/Br⁻ das águas-de-formação do Campo X (Matrey, 1990)

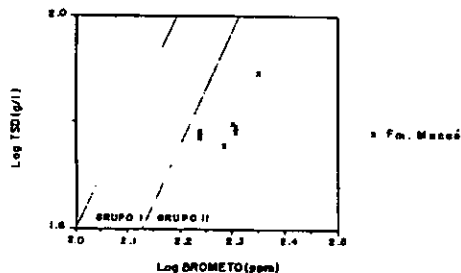


Figura 13 - Gráfico Br⁻ vs. TSD das águas-de-formação do Campo X (Rittenhouse, 1969).

Tabela 3 - Classificação genética das águas-de-formação do Campo X.

AMOSTRA	Palmer	Sulm	Bojarski	IBE (Schoeller)	Rittenhouse	Matrey
1	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,212	grupo II	salmoura secundária
2	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I	0,103		
3	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I	0,106		
4	S1A2S2	sulfato-cálcico	classe I	-0,401		
5	S1S2A2	clorato-cálcico	classe IV	0,407		
6	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I			
7	S1S2A2	clorato-cálcico				
8	S1S2A2	clorato-cálcico	classe	0,497		
9	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I	0,127	grupo II	salmoura primária mista
10	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II			
11	S1A2S2	clorato-magnésico	classe I	0,061	grupo II	salmoura primária mista
12	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I	0,075	grupo II	salmoura primária mista
13	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II			
14	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,197	grupo II	salmoura primária mista
15	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,175	grupo II	salmoura primária mista
16	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,162	grupo II	salmoura primária mista
17	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,158	grupo II	salmoura secundária
18	S1S2A2	clorato-cálcico	classe II	0,051	grupo II	salmoura primária mista
19	S1A2S2	clorato-magnésico	classe I	0,143	grupo II	salmoura primária mista
20	S1S2A2	clorato-cálcico	classe I	0,143		
21	S1S2A2	clorato-cálcico	classe IV	0,471		
22	S1S2A2	clorato-cálcico	classe III	0,321	grupo II	salmoura primária
23	S1S2A2	clorato-cálcico	classe IV	0,471		

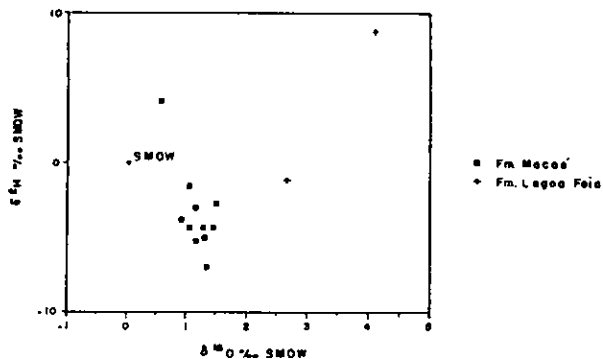


Figura 15 - Gráfico ^{18}O vs. ^2H das águas de formação do Campo X

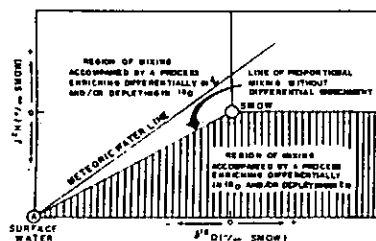


Figura 16 - Gráfico esquemático de ^{18}O vs. ^2H mostrando efeito de vários processos de mistura e fracionamento na composição isotópica de águas de formação (Hitchon & Friedman, 1969).

Tabela 4 - Dados de isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio das águas de formação do Campo X.

AMOSTRA	$\delta^{18}\text{O}$ ‰ SMOW	$\delta^2\text{H}$ ‰ SMOW
8	+4.05	+8.80
9	+1.47	-2.70
10	+1.13	-5.20
11	+1.33	-7.00
12	+0.03	-3.60
13	+1.27	-4.40
14	+1.03	-1.50
15	+1.05	-4.30
16	+1.26	-5.00
18	+1.12	-3.00
19	+1.43	-4.30
21	+2.79	-0.60
24	+0.54	+4.20

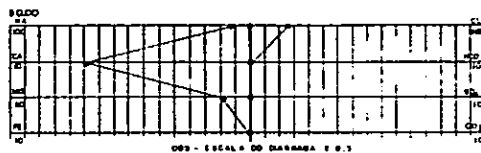


Figura 17 - Padrão de diagrama de Stiff para as águas-de-formação pertencentes à Formação Lagoa Feia.

a)



b)



c)



Figura 18 - Padrões de diagrama de Stiff para as águas-de-formação pertencentes à Formação Macaé: a) amostras 2, 3, 11, 12, 13, 18, 19; b) amostras 9, 10, 14, 15, 16, 17, 20; c) amostra 4.

Tabela 5 - Valores da razão $(SO_4 \cdot 100) / Cl$ para as águas-de-formação cloro-cálcicas do Campo X.

AMOSTRA	$(SO_4 \cdot 100) / Cl$	AMOSTRA	$(SO_4 \cdot 100) / Cl$
1	0.106	15	0.126
2	0.256	16	0.383
3	0.261	17	0.914
7	2.626	18	0.181
9	0.887	20	0.132
10	0.165	21	0.065
12	0.078	22	0.164
13	0.110	23	0.065
14	0.205		