

# PETROGRAFIA E DIAGÊNESE DOS ARENITOS DO MEMBRO GOMO/FORMAÇÃO CANDEIAS (CRETÁCEO INFERIOR) NO CAMPO DE RIO DO BU, BACIA DO RECÔNCAVO

PETROGRAPHY AND DIAGENESIS OF GOMO MEMBER SANDSTONES — CANDEIAS FORMATION (LOWER CRETACEOUS), RIO DO BU OIL-FIELD, RECÔNCAVO BASIN

Luiz Ferradans Mato<sup>(1)</sup> e Edson Meneses Souza<sup>(2)</sup>

**RESUMO** — Os arenitos do Membro Gomo da Formação Candéias (Cretáceo Inferior) constituem as principais rochas-reservatório produtoras de óleo do Campo de Rio do Bu, Bacia do Recôncavo. Possuem granulação média, seleção moderada e teores de matriz inferiores a 1,0% do volume total da rocha. Apresentam variação composicional significativa ao longo da seção vertical. Na porção basal, predominam os subarcósios e sublitoarenitos, enquanto na porção superior predominam arcósios líticos e litoarenitos feldspáticos. Estas variações, assim como as similaridades composicionais com a matriz arenosa dos conglomerados da Formação Salvador, indicam que a proveniência destes arenitos, na área de Rio do Bu, está relacionada à borda leste da Bacia do Recôncavo. A seqüência diagenética observada nestes arenitos pode ser ordenada, do estágio precoce ao tardio, da seguinte forma: a) soterramento e compactação; b) primeira fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos; c) cimentação do espaço intergranular e substituição de silicatos por calcita; d) dissolução do cimento calcítico e grãos do arcabouço — incremento da porosidade; e) retomada da compactação; f) precipitação de cimentos tardios: segunda fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos; dolomita; ankerita e clorita.

(Originais recebidos em 21.10.87.)

## 1 — INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é caracterizar aspectos texturais e composicionais, analisar a proveniência e propor uma seqüência de evolução diagenética para os arenitos do Membro Gomo no Campo de Rio do Bu, Bacia do Recôncavo (fig. 1), relacionando as variações dos teores e tipos de cimentos autigênicos presentes nos arenitos às fácies sedimentares.

O Membro Gomo da Formação Candéias é uma unidade predominantemente pelítica, com somente 5 a 10% da espessura total correspondendo a arenitos e carbonatos. O Membro Gomo, Cretáceo Inferior, Andar Rio da Serra (fig. 2), representa a porção basal do preenchimento da fase *rift* da Bacia do Recôncavo e atinge espessuras da ordem de 1 800 metros nas áreas mais profundas do compartimento nordeste da Bacia. No Campo de Rio do Bu (figs. 1 e 3), os arenitos compõem até 20% da espessura total do Membro Gomo e constituem as principais rochas-reserva-

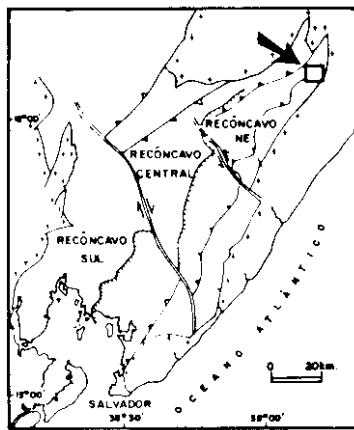
tório produtoras de óleo do referido campo.

Foram analisadas e descritas amostras obtidas por meio de testemunhos e amostragem lateral, utilizando-se lâminas delgadas, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difratometria de raios X (DRX), abrangendo um intervalo de profundidades entre 900 e 1 800 metros.

A descrição faciológica de testemunhos cortados no Membro Gomo permitiu a caracterização de cinco fácies sedimentares, aqui denominadas depósitos de lobos de supraleque (DLSL), depósitos de canais de supraleque (DCSL), depósitos de leque externo (DLE), depósitos de planície bacial (DPB) e depósitos de canais (DC), relacionadas a uma sedimentação por correntes de turbidez que recorrem nesta unidade estratigráfica (SOUSA & MATO, 1988).

No intuito de realçar as variações composicionais observadas nos arenitos ao longo da seqüência vertical analisada, utilizaram-se os marcos elétricos da For-

- 1 - Seção de Laboratório, Divisão Regional de Geologia de Desenvolvimento, Distrito de Exploração da Bahia, Departamento de Exploração.
- 2 - Setor de Geologia de Desenvolvimento II, Divisão Regional de Geologia de Desenvolvimento, Distrito de Exploração da Bahia, Departamento de Exploração.



Mapa de localização da área

8692 km

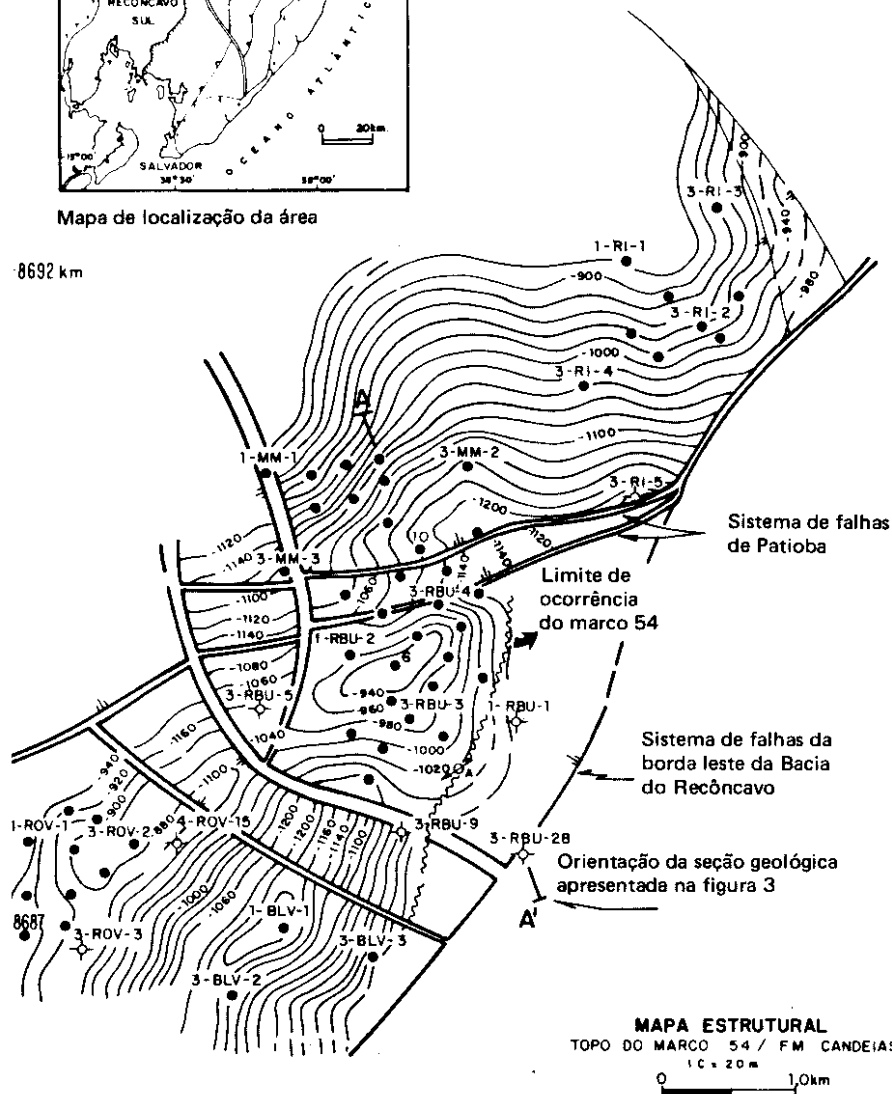


Fig. 1 - Mapa estrutural ao nível do topo do marco 54 - Formação Candeias, Membro Gomo.

mação Candeias para subdividir o intervalo estratigráfico do Membro Gomo em que ocorrem os arenitos turbidíticos. Denominou-se seqüência superior o intervalo estratigráfico compreendido entre os marcos 50 e 54, e de seqüência inferior o intervalo estratigráfico entre os marcos 54 e 58 (fig. 3).

## 2 - PETROGRAFIA DOS ARENITOS

A composição e os parâmetros texturais dos arenitos do Membro Gomo, no Campo de Rio do Bu, foram determinados a partir da descrição de 44 lâminas delgadas, 36 das quais foram analisadas quantitativamente. Genericamente, a granulometria dos arenitos do Membro Gomo situa-se na faixa da areia média.

Subordinadamente, eles são grosseiros ou finos e possuem seleção moderada.

Estes arenitos possuem teores de matriz silto-argilosa (fração  $< 30 \mu$ ), inferiores, em média, a 1,0% do volume total da rocha. A presença de matriz limita-se aos arenitos depositados em ambientes de baixa energia (DLE e DPB) e àqueles submetidos à ação de organismos bioturbadores ou de processos de fluidificação. Os processos de bioturbação e fluidificação possibilitaram a destruição, e posterior incorporação, de níveis silto-argilosos como matriz em arenitos originalmente bem selecionados.

A tabela I sumariza os dados composicionais dos arenitos das seqüências inferior e superior do Membro Gomo. Os grãos do arcabouço, predominantemente quartzo, feldspato e fragmentos de rocha, representam 75-80% do volume total dos arenitos.

O quartzo é o mineral detrítico mais abundante nestes arenitos, correspondendo a 55-60% do volume total da rocha. A maioria, 75 a 85% dos grãos, é monocristalina e exibe extinção reta; em menor proporção, têm-se grãos com extinção ondulante. Muito subordinadamente, ocorrem grãos de quartzo policristalino.

Os feldspatos formam, em média, de 8 a 11% do volume total dos arenitos, por vezes representando até 16% da rocha; o teor de feldspatos aumenta em direção ao topo da seqüência superior (tabela I). Predominam os K-feldspatos, seguidos pelos plagioclásios; dentre os K-feldspatos, o ortoclásio é a variedade mais abundante, acompanhada pelo microclínio.

Os grãos de feldspato apresentam diferentes graus de alteração: os ortoclásios mostram-se de leve a intensamente sericitizados ou vacuolizados, ao passo que os plagioclásios se mostram heterogeneamente alterados - de límpidos a intensamente sericitizados ou vacuolizados. Os microclínios, geralmente, estão límpidos. A dissolução parcial dos feldspatos, ao longo de planos de clivagem, resulta em grãos alveolados e desenvolvimento de porosidade intragra-

nular. Alguns cristais de feldspato encontram-se parcialmente substituídos por cimento calcítico, ou incipientemente caulinizados.

Os componentes líticos presentes nos arenitos do Membro Gomo são fragmen-

tos de rochas metamórficas (granulito, quartzito, metarenito e metassilito) e de rochas sedimentares (sílex e arenito). Também ocorrem intraclastos carbonáticos (calcarenitos e calcilitos), oolitos, oncolitos, carapaças de ostracodes e fosfato (escamas de peixe). Intraclastos la-

mosos ocorrem com tamanho que varia de areia fina a grossa e em teores inferiores a 3,0% do volume total da rocha (tabela 1); sua origem está relacionada ao retrabalhamento de níveis argilosos parcialmente consolidados, que são arrancados e redepositados com os arenitos. Devido a sua origem local, os intraclastos argilosos não foram incluídos na categoria dos fragmentos de rocha.

Nestes arenitos, observa-se uma variação composicional significativa entre as duas seqüências: na inferior, a composição média do arcabouço (quartzo, feldspato e fragmentos de rocha) é  $Q_{81}F_{10}L_9$ , predominando os subarcósios e sublitoarenitos (fig. 4), compostos por fragmentos de rochas sedimentares e intraclastos carbonáticos (foto 1); na seqüência superior, predominam arcósios líticos e litoarenitos feldspáticos (fig. 4), compostos, principalmente, por fragmentos de rochas metamórficas (foto 2); a composição média do arcabouço é  $Q_{66}F_{16}L_{18}$ .

Como tendência geral, nota-se que, à medida que se passa para intervalos estratigráficos mais novos, ocorre um aumento no teor de feldspatos e, de forma mais expressiva, dos fragmentos de rochas metamórficas; por outro lado, tem-se uma redução significativa nos teores de quartzo e de fragmentos de rochas sedimentares (tabela 1). Estas observações sugerem que, durante a deposição dos arenitos da seqüência inferior, o próprio Membro Gomo atuou de forma mais significativa como fonte de sedimentos, sendo que sua importância relativa diminui em direção ao topo da seqüência superior, com o embasamento arqueano e o Grupo Estância passando, gradativamente, a serem as principais fontes. Deve-se salientar que a matriz arenosa dos conglomerados da Formação Salvador (CAROZZI *et alii*, 1976) apresenta, na área de Rio do Bu, similaridades composicionais em relação aos arenitos da seqüência superior do Membro Gomo.

Como componentes acessórios, com teores inferiores a 1,0% do volume total da rocha, ocorrem granada, turmalina, rutilo, esfeno, muscovita, biotita, anfi-

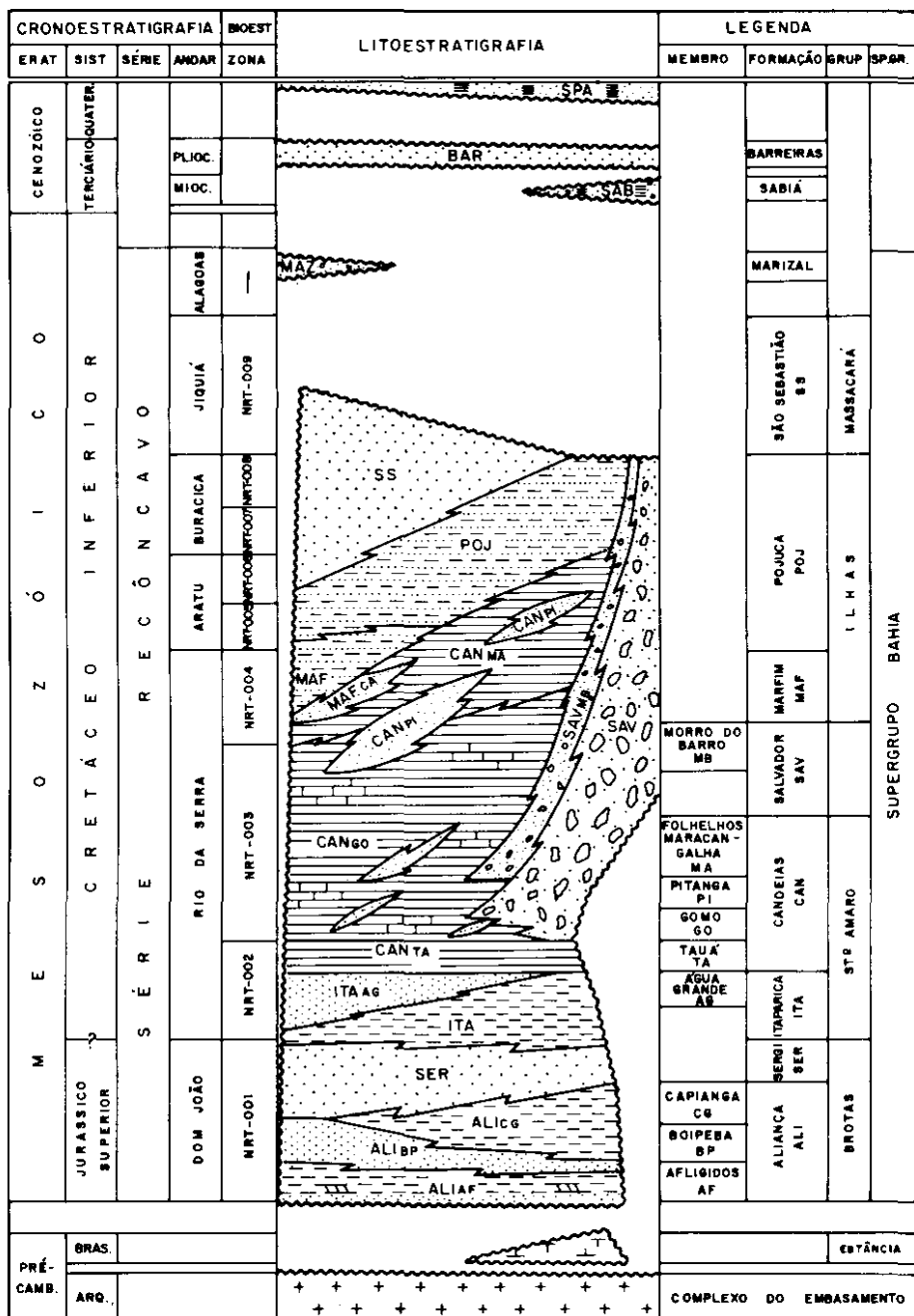


Fig. 2 - Coluna estratigráfica da Bacia do Recôncavo (modificada de VIANA *et alii*, 1971).

TABELA I

ANÁLISE MODAL DOS ARENITOS DO MEMBRO GOMO  
NOS POÇOS 7-RBU-6-BA E 7-RBU-10-BA

Constituintes	Seqüência	
	Superior (10) <sup>a</sup> (%)	Inferior (26) <sup>a</sup> (%)
Quartzo	55,2	61,5
Plagioclásio	2,4	1,5
K-feldspato	8,4	6,4
Fragmentos de rocha		
Sedimentar	1,0	2,1
Metamórfica	13,5	5,0
Intraclastos argilosos	2,5	0,6
Outros grãos <sup>b</sup>	0,1	0,1
Matriz (< 30 μ)	TR	TR
Minerais autigênicos		
Quartzo	1,0	1,6
Feldspato	0,2	0,3
Calcita	4,4	9,7
Dolomita/anquerita	0,6	4,0
Clorita	0,2	TR
Porosidade		
Intergranular	9,1	5,9
Intragranular	1,5	1,2

<sup>a</sup> Número de lâminas delgadas analisadas;<sup>b</sup> Estão incluídos minerais pesados, opacos, micas e fragmentos de matéria orgânica.

bolio, piroxênio e minerais opacos. Fragmentos de matéria orgânica são comuns em algumas camadas de arenito.

As informações sobre variações composicionais, aliadas àquelas obtidas a partir da análise de paleocorrentes (SCARTON *et alii*, 1987), reforçam a idéia de que a proveniência dos arenitos do Membro

Gomo, na área estudada, está relacionada à borda leste da Bacia do Recôncavo.

## 3 - FOLHELHOS E CARBONATOS ASSOCIADOS

Os resultados de análises composicionais dos folhelhos nos quais se encontram intercalados os arenitos, obtidos por difra-

tometria de raios X, indicam que na fração argila predominam os interestratificados de illita-esmectita (I/S) e illitas, representando 61-62% e 30-35% do volume total, respectivamente, não sendo observadas variações composicionais significativas, tanto na fração total como na fração argila, com o aumento da profundidade (tabela II). O interestratificado illita-esmectita é ordenado ( $R > 0$ ), com a percentagem de illita variando entre 60 e 80%, sendo que no intervalo amostrado não se observa, com o aumento da profundidade, um enriquecimento nos teores de illita no I/S, provavelmente devido ao fato de a amostragem limitar-se a um intervalo pequeno de variação de profundidade (892-1 268 m).

A porção basal do Membro Gomo, particularmente o intervalo posicionado abaixo do marco 58 (fig. 3), caracteriza-se pela intercalação de folhelhos e delgadas camadas de carbonato, cujos tipos litológicos predominantes são: calcarenitos bioclásticos, calcilutitos e dolomicrospatitos.

Os calcarenitos representam a litologia predominante, possuem granulação de fina a média e são constituídos predominantemente por carapaças desarticuladas de ostracodes e, localmente, por carapaças de branquiópodes. Quando articuladas, estas carapaças apresentam-se preenchidas por micrita, dolomita de

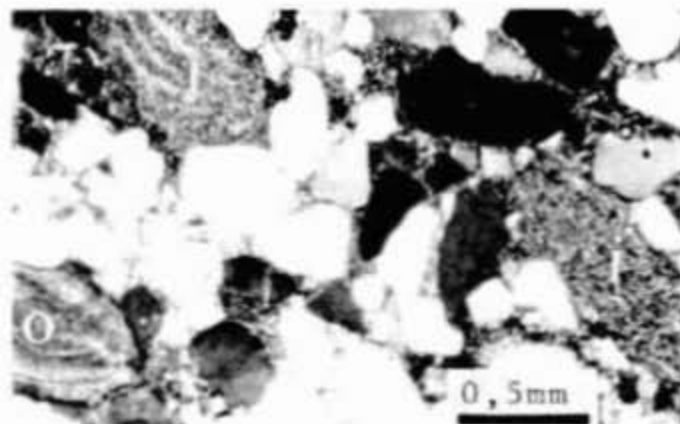


Foto 1 - Fotomicrografia (nicóis cruzados); aspectos composicionais: sublitoarenito composto por fragmentos de rochas sedimentares e intraclastos carbonáticos (I), oncolitos (O) com núcleo de carapaças de ostracodes. Poço 7-RBU-6-BA, 1 235,9 m.

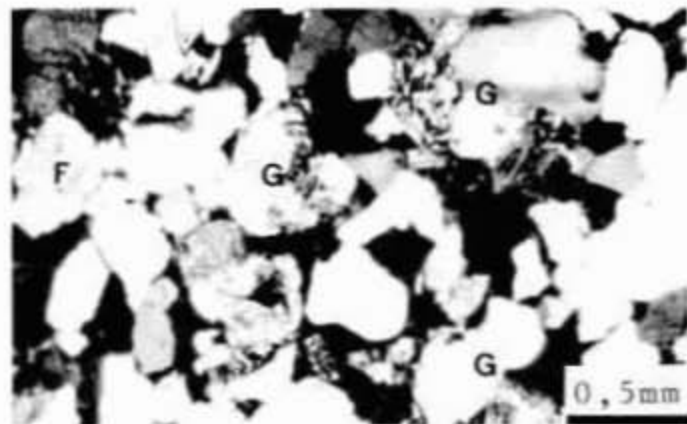


Foto 2 - Fotomicrografia (nicóis cruzados); aspectos composicionais: litoarenito feldspático composto por fragmentos de rochas metamórficas - granulito (G) e feldspatos (F). Poço 7-RBU-6-BA, 932,1 m.

TABELA II

TEORES MÉDIOS, EM PORCENTAGEM, DOS MINERAIS PRESENTES NA FRAÇÃO ARGILA E FRAÇÃO TOTAL DOS FOLHELHOS DO MEMBRO GOMO NO CAMPO DE RIO DO BU, DETERMINADOS A PARTIR DA DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

7-RBU-6-BA <sup>a</sup>	Fração Argila < 2 $\mu$					Fração Rocha Total > 2 $\mu$					
	N <sup>b</sup>	I/S <sup>b</sup>	I <sup>b</sup>	CL <sup>b</sup>	K <sup>b</sup>	QTZ <sup>b</sup>	FELD <sup>b</sup>	CALC <sup>b</sup>	DOL <sup>b</sup>	ANALC <sup>b</sup>	ARG <sup>b</sup>
Seqüência superior 892-1 004 m	7	62	30	4	4	8	2	5	5	5	75
Seqüência inferior 1 175-1 268 m	5	61	35	4	TR	11	5	7	5	3	69

<sup>a</sup> Amostras de testemunhos;

<sup>b</sup> N – número de amostras; I/S – interestratificado illita-esmectita; I – illita; CL – clorita; K – caulinita; QTZ – quartzo; FELD – feldspato; CALC – calcita; DOL – dolomita; ANALC – analcima; ARG – argila.

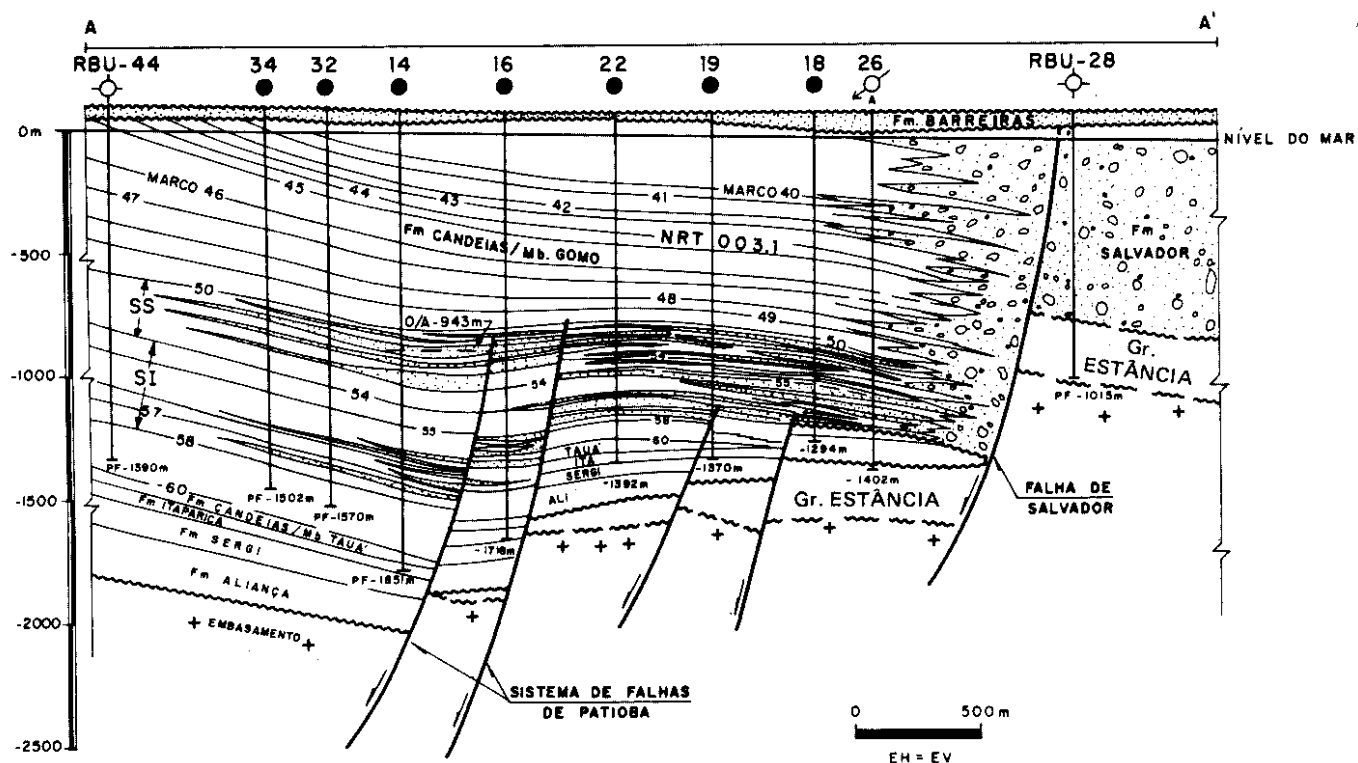


Fig. 3 - Seção geológica – Campo de Rio do Bu. SS – seqüência superior e SI – seqüência inferior (ver localização da seção na fig. 1).

crystalinidade muito fina, calcita neomor-  
fizada ou terrígenos de granulacão silte-  
argila. São freqüentes as intercalações  
milimétricas com maior concentraçã  
de terrígenos, granulacão de areia fina a  
silte, compostos predominantemente  
por quartzo e feldspato.

Os calcilutitos são dos tipos *mudstone* e  
*wackestone* (DUNHAM, 1962), conten-

do carapaças de ostracodes, as quais se  
encontram preenchidas por micrita, dol-  
omita de cristalinidade muito fina, cal-  
cita neomorfeizada ou terrígenos com  
granulacão de areia fina a silte. É co-  
mum a presença de níveis de dolomi-  
croespátitos, constituídos por cristais  
euédricos de dolomita, cujos tamanhos  
variam entre 10 e 60  $\mu$ , com moda si-  
tuada entre 10 e 30  $\mu$ .

As feições diagenéticas comumente  
observadas e com ampla distribuiçã  
nestes carbonatos são compactaçã  
e dolomitizaçã.

#### 4 – DIAGÊNESE DOS ARENITOS

Os principais processos diagenéticos que  
afetam os arenitos do Membro Gomo  
são: compactaçã, precipitaçã de mine-

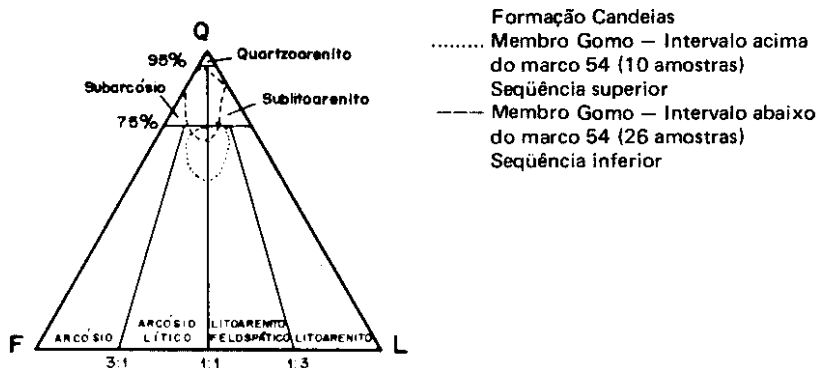


Fig. 4 - Classificação composicional dos arenitos (modificada de FOLK, 1974). Q = quartzo, F = feldspato (K-feldspatos e plagioclásios) e L = fragmentos de rocha (granulito, quartzito, metarenito, metassilito, sílex, arenito).

rais autigênicos e dissolução de grãos do arcabouço e dos cimentos autigênicos. Ao longo de todo o intervalo, estes processos diagenéticos atuaram de forma similar, independentemente das fácies sedimentares. Nota-se, entretanto, que, em determinadas fácies, algumas fases diagenéticas atuaram com maior intensidade e/ou encontram-se mais bem preservadas.

Dentre os cimentos autigênicos, incluindo substituições, destacam-se o cimento quartzo-feldspático (crescimento secundário de quartzo e feldspato), o cimento carbonático (calcita, dolomita e anquerita), as argilas autigênicas (cloritas ferríferas) e, em quantidades menores, barita, pirita e anatásio. Nos arenitos das fácies de depósitos de lobos de supraleque e depósitos de canais de supraleque, estes cimentos raramente perfazem mais de 10,0% do volume total da rocha. Entretanto, nos arenitos das fácies de depósitos de leque externo e depósitos de planície bacial, somente o cimento carbonático representa mais de 10,0% do volume total, afetando sobremaneira a qualidade dos reservatórios.

**Compactação mecânica:** começa a atuar na primeira centena de metros após o soterramento dos sedimentos. Consiste na deformação dúctil de intraclastos argilosos, micas, intraclastos carbonáticos e fragmentos de rochas metamórficas de baixo grau (metassilitos) e na rotação, escorregamento e fraturamento de grãos rígidos e carapaças de ostracodes, resultando num arcabouço

mais estável e, conseqüentemente, ocasionando redução da porosidade primária. A compactação química (dissolução por pressão) possui importância relativamente menor na redução da porosidade destes arenitos, uma vez que a presença de contatos suturados e estilólitos é muito subordinada.

Após a fase de dissolução de grãos do arcabouço e cimentos autigênicos — geração de porosidade secundária —, o arcabouço da rocha torna-se mais frouxo, propiciando condições para que a compactação mecânica, devida ao soterramento, volte a atuar. Esta retomada da compactação é evidenciada pela presença de cristais de calcita autigênica e grãos de feldspato com porosidade intra-granular fraturados/deformados. Nos arenitos do Membro Gomo, o índice médio de fechamento é 41 (KAHN, 1956).

**Cimento de quartzo e feldspato:** ocorre em teores inferiores a 2,0% do volume total da rocha, sendo que o crescimento secundário de quartzo e feldspato corresponde, em média, a 1,3% e 0,3% do volume total da rocha, respectivamente. Podem ser reconhecidas, tanto para o crescimento secundário de quartzo como para o de feldspato, duas formas principais de ocorrência: (a) uma caracterizada pelo desenvolvimento de delgada camada de crescimento secundário, em continuidade ótica, sobre núcleos detríticos de quartzo (foto 3) e feldspato. É comum constatar-se a substituição desta variedade de cimento sili-

coso por cimento calcítico (foto 3) e a presença de feições de dissolução/corrosão (foto 4); (b) e outra sob a forma de delgados cristais euédricos de feldspatos e quartzo (fotos 5 e 10), com tamanhos inferiores a 60  $\mu$ , os quais não apresentam evidências de substituição por carbonatos ou dissolução/corrosão e ocupam, por vezes, poros de origem nitidamente secundária. Conforme se concluirá posteriormente, essas duas formas de ocorrência do cimento de quartzo e feldspato correspondem, respectivamente, à primeira e à segunda principais fases de precipitação destes cimentos presentes nos arenitos do Membro Gomo.

**Cimentos carbonáticos:** estes cimentos são volumetricamente muito importantes (tabela 1), ocorrendo ao longo de todo o intervalo estratigráfico, sendo que nos arenitos das fácies DLE e DPB, nos níveis ricos em intraclastos lamosos e nas zonas de contato de camadas arenosas com folhelhos, seus teores ultrapassam 15,0% do volume total da rocha, perfazendo, às vezes, 39,0% do volume da rocha.

O cimento carbonático é constituído por diferentes minerais (calcita, dolomita e anquerita), identificados por meio da técnica de coloração com alizarina e ferrocianeto de potássio (EVAMY, 1963) e microscópio eletrônico de varredura (MEV) com analisador elementar de energia dispersiva (EDAX).

A calcita é o mineral mais abundante, com teores médios de 4,4% e 9,7% do volume total da rocha, nas seqüências superior e inferior, respectivamente. As dimensões dos cristais variam entre 50 e 300  $\mu$ , estando a moda entre 150 e 200  $\mu$ ; por vezes, tem-se textura poiquilótópica. A calcita ocorre ocupando o espaço intergranular e substituindo de parcial a totalmente grãos do arcabouço e crescimentos secundários de quartzo (fotos 3 e 6). Composicionalmente, têm-se calcita e calcita rica em ferro, sendo que a última ocorre com teores inferiores a 1,0% do volume total.

Dolomita e anquerita, com morfologia romboédrica, ocorrem ao longo de todo o intervalo, com teores médios de 0,6% e 4,0% do volume total da rocha, nas

seqüências superior e inferior, respectivamente. Localmente, a soma desses componentes atinge teores da ordem de 14,0% do volume total. Têm-se cristais em duas faixas distintas de tamanho: (a) cristais com dimensões que variam entre 50 e 150  $\mu$ , compostos por dolomita ou zonados, com núcleo de dolomita e bordas de anquerita; geralmente, ocorrem substituindo grãos do arcabouço ou cimento calcítico (foto 6); (b) cristais com tamanhos médios entre 10 e 50  $\mu$  e moda variando entre 15 e 20  $\mu$ ; constituídos por dolomita ou anquerita; ocupam o espaço intergranular (fotos 7 e 8) ou desenvolvem-se sobre intraclastos lamosos.

**Argilas autigênicas:** em teores médios inferiores a 0,2% do volume total da rocha, mas com ampla distribuição nos arenitos do Membro Gomo, têm-se as cloritas e, secundariamente, interestratificados de illita-esmectita. Devido aos baixos teores, a identificação destes minerais foi realizada com o MEV e o EDAX, e confirmada com difratometria de raios X.

A clorita ferrífera é o argilomineral predominante, ocorrendo como uma delgada "cobertura" sobre poros de origem nitidamente secundária (foto 9), grãos do arcabouço (fotos 8 e 10) e crescimentos secundários (1ª fase) de quartzo. Por vezes, tem-se crescimento secundário da segunda fase desenvolvido sobre a clorita ferrífera ou englobando-a. Os cristais de clorita apresentam morfologia tabular ou roseta, características das variedades com maiores concentrações de ferro (WILSON & PITTMAN, 1979); cristais individuais possuem, ao longo de sua maior dimensão, de 2 a 5  $\mu$  de tamanho.

**Outros cimentos autigênicos:** dentre os cimentos associados, com teores inferiores a 0,1% do volume total, têm-se barita, pirita e anatásio.

Dentre estes cimentos, a barita destaca-se por, localmente, representar até 2,0% do volume total da rocha. Apresenta textura poiquilótópica e ocorre preenchendo o espaço intergranular, substituindo grãos do arcabouço e o cimento quartzo-feldspático (1ª fase).

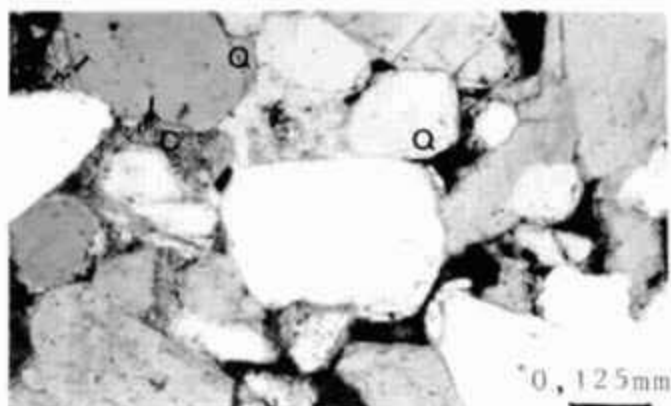


Foto 3 - Fotomicrografia (nicóis cruzados); crescimento secundário (1ª fase) de quartzo (Q), parcialmente substituído por calcita espática (C). Poço 7-RBU-6-BA, 1 100,5 m.

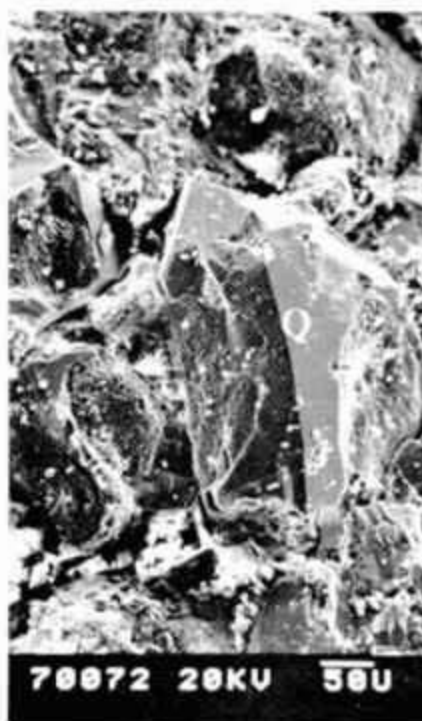


Foto 4 - Crescimento secundário (1ª fase) de quartzo (Q) apresentando feições de corrosão/dissolução. Poço 7-RBU-6-BA, 894,2 m - MEV.



Foto 5 - Crescimento secundário de feldspato (A - albita) formado na segunda fase de cimentação. Poço 7-RBU-6-BA, 899,7 m - MEV.

**Dissolução - geração de porosidade secundária:** a dissolução de grãos do arcabouço e cimentos autigênicos resulta num incremento considerável da porosidade.

A porosidade intragranular resultante da dissolução do cimento calcítico, de grãos de feldspato (plagioclásios e ortoclásios) e, secundariamente, dos fragmentos de rocha ricos em feldspatos

(fotos 9 e 11) atinge valores expressivos (tabela I), representando, em média, 14-18% da porosidade total.

Baseando-se nos critérios petrográficos estabelecidos por SCHMIDT & MCDONALD (1979a), estima-se que 20-30% da porosidade intergranular (tabela I) dos arenitos do Membro Gomo se formaram pela dissolução do cimento calcítico. Evidências texturais que dão supor-

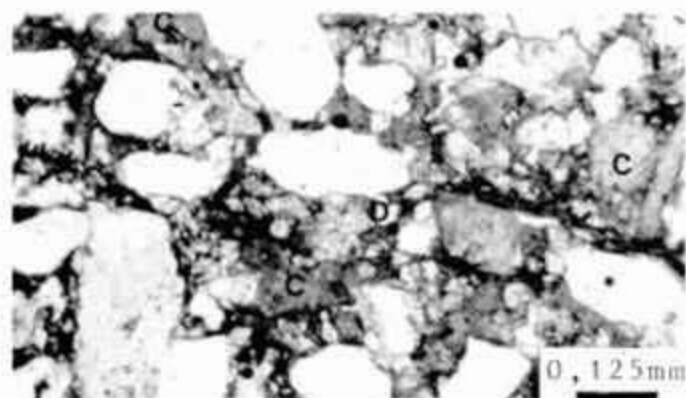


Foto 6 - Fotomicrografia (nicóis descruzados); observar intensa cimentação calcítica (C) ocupando o espaço intergranular e substituindo grãos do arcabouço. Presença de dolomita (D). Nesta lâmina, o teor de cimento carbonático é de 39% do volume total da rocha, sendo 31% calcita e 8% dolomita/anquerita. Poço 7-RBU-6-BA, 1 174,5 m.

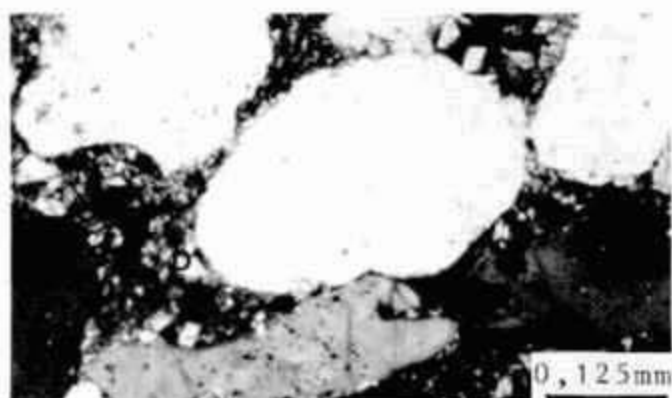


Foto 7 - Fotomicrografia (nicóis cruzados); observar a presença de cristais romboédricos de dolomita/anquerita (D) ocupando o espaço intergranular. Poço 7-RBU-6-BA, 1 261,0 m.

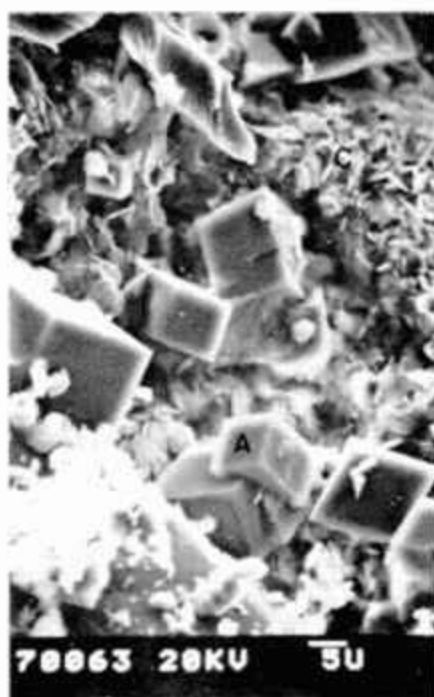


Foto 8 - Cristais de anquerita (A) ocupando o espaço poroso; destaca-se também a clorita ferrífera (C), que recobre grãos do arcabouço. Poço 7-RBU-6-BA, 1 172,3 m - MEV.

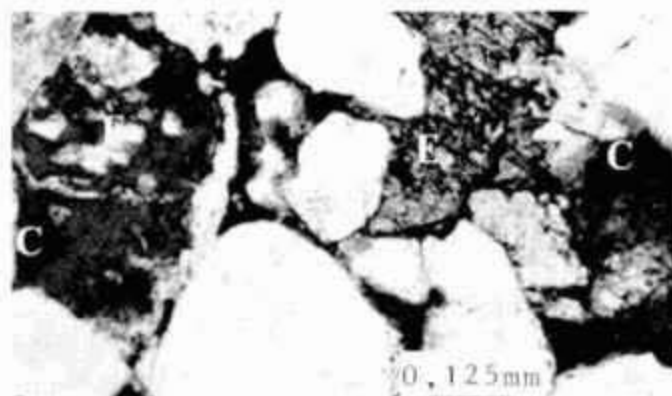


Foto 9 - Fotomicrografia (nicóis descruzados); porosidade intergranular resultante da dissolução de grãos de feldspato (F); calcita espática (E); clorita ferrífera (C) ocupando poros intragranulares. Poço 7-RBU-6-BA, 998,5 m.



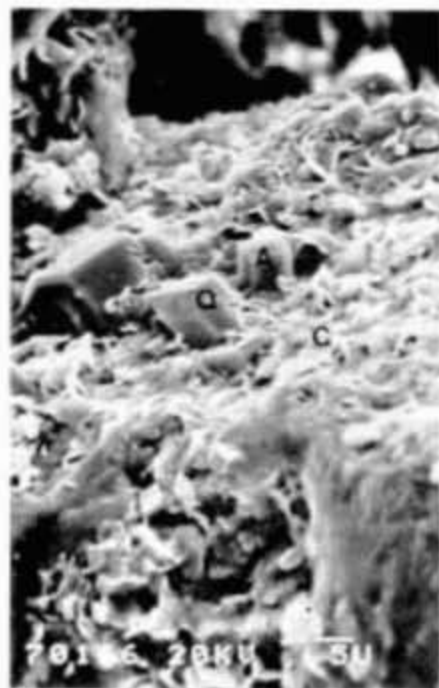


Foto 10 - Associação de clorita-ferrifera (C) recobrando grãos do arcabouço; crescimento secundário de quartzo (Q) da segunda fase de cimentação e cristais de anquerita (A). Poço 7-RBU-6-BA, 1 218,5 m - MEV.

te a esta afirmativa incluem empacotamento heterogêneo, bordas dos grãos do arcabouço e crescimentos secundários de quartzo e feldspato corroídos, e poros alongados ou alargados (foto 12) e móldicos.

## 5 - FRATURAS E FALHAS

A evolução estrutural da área resultou no desenvolvimento de um conjunto de deformações rígidas - fraturas e falhas -, que afetaram os arenitos do Membro Gomo. Os planos de fratura e falha são subverticais, com ângulos de inclinação que variam entre 50 e 80 graus; são feições que possuem, nos testemunhos descritos, porte de pequeno a médio - 5 a 60 centímetros de extensão, raramente ultrapassando um metro. Na maior parte dos casos, os planos de fratura e falha estão preenchidos por cimento calcítico em mosaico grosseiro. A calcita que ocupa os planos de falha apresenta, comumente, estrias subverticais e, em raríssimos casos, sub-horizontais, indicando o sentido de movimentação dos blocos.

Algumas falhas com rejeitos centímetri-

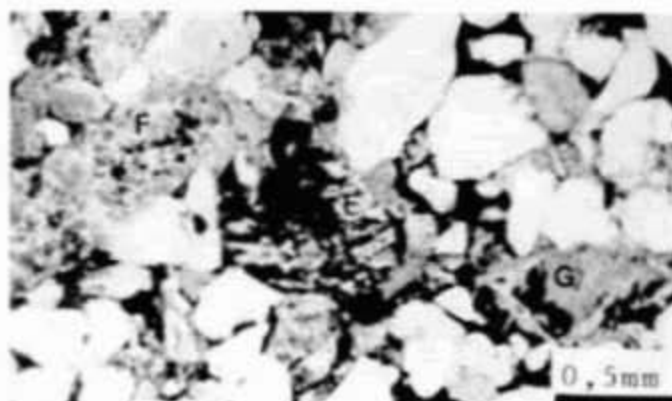


Foto 11 - Fotomicrografia (nicóis descruzados); litoarenito feldspático; observar porosidade intragranular (cor escura) em feldspatos (F) e granulitos (G). Nesta amostra, têm-se  $\phi$  lâmina = 11%,  $\phi$  porosímetro = 12,4% e permeabilidade horizontal = 16,3 mD. A porosidade intragranular corresponde a 18% da porosidade total da rocha. Poço 7-RBU-6-BA, 1 046,0 m.

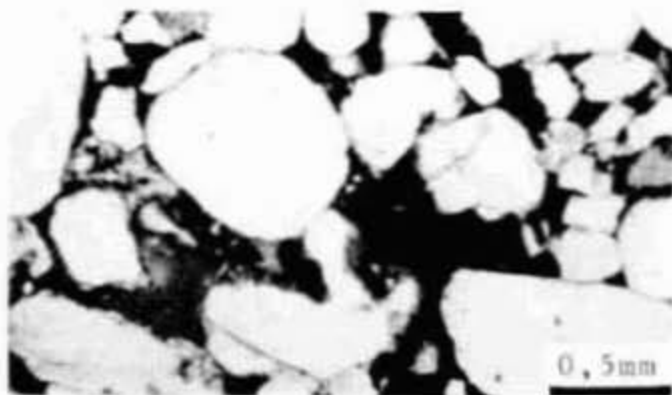


Foto 12 - Fotomicrografia (nicóis descruzados); litoarenito feldspático; notar a presença de grãos corroídos e empacotamento heterogêneo. Nesta amostra, têm-se  $\phi$  lâmina = 13%,  $\phi$  porosímetro = 14,6% e permeabilidade horizontal = 250 mD. A porosidade intragranular representa 10% da porosidade total da rocha. Poço 7-RBU-6-BA, 899,7 m.

cos e fraturas caracterizam-se pelo desenvolvimento de uma zona de cataclase com espessura milimétrica, ao longo da qual se podem observar grãos intensamente quebrados e moídos, desenvolvendo uma microgranulação característica e ocasionando a obliteração do sistema poroso.

Como um todo, verifica-se que a densidade de fraturas e falhas presentes nos testemunhos é baixa, constituindo, localmente, barreiras de permeabilidade ao fluxo de fluidos nos arenitos-reservatório.

## 6 - SEQUÊNCIA DIAGENÉTICA

As relações petrográficas observadas entre os cimentos autigênicos permitem propor a ordenação temporal relativa para os eventos diagenéticos que atuaram nos arenitos do Membro Gomo. A sequência diagenética interpretada para os arenitos do Membro Gomo na área de Rio do Bu (fig. 5) assemelha-se àquela proposta por BRUHN (1985), a qual foi baseada num estudo regional.

A evolução diagenética destes arenitos pode ser condensada, do estágio precoce ao tardio, na seguinte ordem:

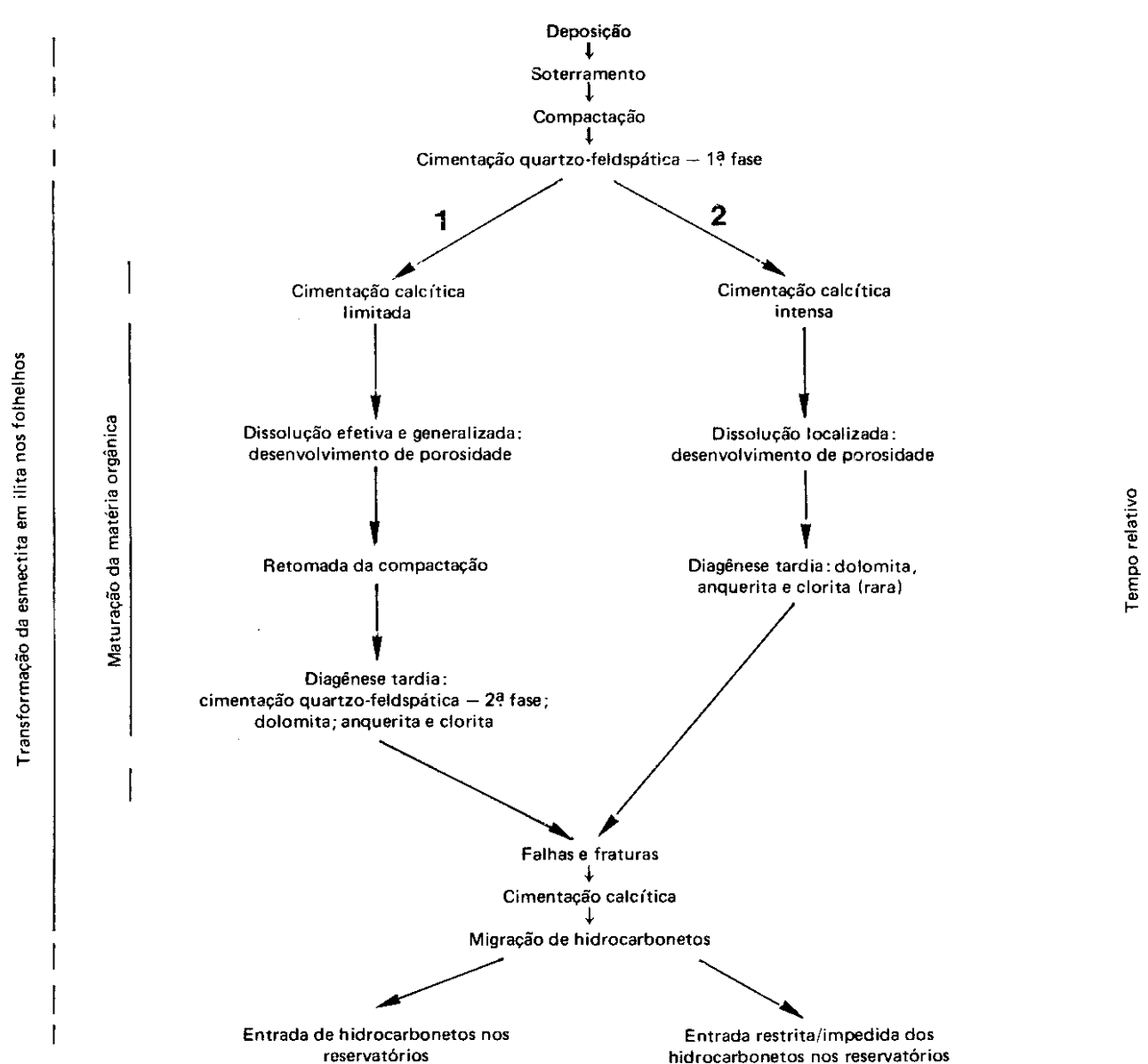


Fig. 5 - Seqüência diagenética para os arenitos do Membro Gomo no Campo de Rio do Bu.

- Soterramento e compactação;
- Primeira fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos;
- Cimentação do espaço intergranular e substituição de grãos por calcita;
- Dissolução do cimento calcítico e grãos do arcabouço (feldspatos e fragmentos de rocha ricos em feldspatos) – incremento da porosidade;
- Retomada da compactação;
- Cimentos tardios: segunda fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos; dolomita, anquerita e clorita ferrífera – redução parcial da porosidade.

É possível caracterizar uma seqüência

diagenética completa e outra parcialmente inibida devido à intensa cimentação calcítica (fig. 5). Nesta última, a fase de dissolução atuou de forma muito incipiente, impossibilitando a remoção do cimento calcítico e a dissolução de grãos do arcabouço. Como regra geral, esta seqüência diagenética incompleta está registrada nas camadas de arenito com menos de 1,5-2,0 metros de espessura – em particular aquelas geneticamente relacionadas aos depósitos de leque externo e depósitos de planície basal – e nas zonas de contato de espessas camadas de arenito com os folhelhos sobrejacentes e sotopostos. Nestes arenitos, o sistema poroso encontra-se totalmente

obliterado pelo cimento carbonático.

Os dados de reflectância da vitrinite (Ro) dos folhelhos da Formação Candeias indicam que os eventos diagenéticos observados nos arenitos do Membro Gomo, Campo de Rio do Bu, ocorreram em paleotemperaturas de no mínimo 120 °C. Na área em estudo, os pelitos da metade basal do Membro Gomo e aqueles do Membro Tauá possuem, em média, de 0,7% a 1,0% de carbono orgânico total e encontram-se dentro da janela de geração de hidrocarbonetos líquidos (0,60% < Ro < 1,35%). A matéria orgânica presente nestes folhelhos é predominantemente do tipo II (favorável à gera-

ção de óleo e gás), tendo também uma contribuição do tipo I (favorável à geração de hidrocarbonetos líquidos) (DANIEL *et alii*, 1987).

**Seqüência de eventos:** vários autores têm sugerido que os processos diagenéticos que se desenvolvem nos arenitos estão intimamente relacionados e são, em grande parte, controlados por reações químicas orgânicas e inorgânicas que ocorrem nos folhelhos associados (CURTIS, 1978; SCHMIDT & MCDONALD, 1979; BOLES & FRANKS, 1979; SURDAM *et alii*, 1984; FRANKS & FORESTER, 1984).

FRANKS & FORESTER (1984) destacam a importância das reações de maturação térmica da matéria orgânica e de transformações nos argilominerais — conversão de esmectita para ilita —, por serem reações que comumente ocorrem nos folhelhos associados e pela grande influência que exercem na evolução geoquímica dos fluidos presentes no sistema poroso dos arenitos.

Nesta linha de abordagem, faremos uma análise das possíveis inter-relações entre os vários processos diagenéticos desenvolvidos nos arenitos do Membro Gomo e aqueles que atuaram nos folhelhos e carbonatos associados, e das prováveis fontes de material para a formação dos cimentos autigênicos e processos de dissolução.

Durante a fase de soterramento efetivo, começaram a atuar, nos arenitos do Membro Gomo, os processos de compactação mecânica e, em menores proporções, a compactação química, ocasionando redução da porosidade primária.

A primeira fase de cimentação, sob a forma de crescimento secundário de quartzo e feldspato sobre núcleos detriticos, contribuiu para a obliteração parcial do sistema poroso; relações texturais observadas nas lâminas delgadas permitem posicionar esta fase diagenética como um evento que precedeu a cimentação calcítica. Já a segunda fase de cimentação, sob a forma de cristais euédricos de quartzo e feldspato, é posterior à fase de dissolução, uma vez que

esses cristais não apresentam evidências de dissolução/alteração e ocupam, em alguns casos, poros de origem secundária.

A compactação química-dissolução por pressão dos próprios arenitos do Membro Gomo, devido a seu caráter localizado e pouco expressivo, não pode ser relacionada como fonte principal de sílica para o sistema. A substituição generalizada de silicatos durante a fase de cimentação calcítica (WALKER, 1960) nos arenitos sotopostos ou a transformação de esmectitas em ilitas nos folhelhos associados (BOLES & FRANKS, 1979) têm sido indicadas como as principais fontes de sílica para o sistema, embora outros estudos mostrem que os folhelhos retêm grande parte dos produtos diagenéticos (HOWER *et alii*, 1976).

As carapaças de ostracodes presentes nos folhelhos e os fragmentos de rochas sedimentares carbonáticas dos arenitos do Membro Gomo, assim como os níveis carbonáticos que ocorrem em sua porção basal, são aqui considerados as fontes primárias de íons para a cimentação calcítica. A mobilização do material carbonático seria decorrente de processos de dissolução por pressão em resposta ao contínuo soterramento a que essas rochas foram submetidas.

A cimentação calcítica é seguida por um processo efetivo de dissolução do próprio cimento calcítico e de grãos do arcabouço, possibilitando o incremento da porosidade inter- e intragranular. Processos de dissolução eficazes requerem a atuação de soluções ácidas; SCHMIDT & MCDONALD (1979b) sugerem que o principal agente responsável pela dissolução do cimento calcítico é o ácido carbônico formado pela geração de CO<sub>2</sub> durante a descarboxilação da matéria orgânica nos folhelhos. Recentemente, SURDAM *et alii* (1984) demonstraram experimentalmente o efeito da ação de ácidos carboxílicos sobre os aluminossilicatos e minerais carbonáticos, indicando que a interação dos fatores temperatura, ácidos orgânicos e CO<sub>2</sub> influencia sobremaneira o processo de preservação, incremento ou obliteração da porosidade em arenitos. Segundo esses autores, a melhor condição para incre-

mento da porosidade seria aquela em que os fluidos intersticiais têm seu pH mantido constante pelos ácidos orgânicos, ocorrendo uma redução na pCO<sub>2</sub>, que propicia a dissolução e a remoção do cimento carbonático, bem como de aluminossilicatos.

Dolomita, anquerita e clorita ferrífera são posteriores à cimentação calcítica e à fase de dissolução. As faces dos cristais de dolomita e anquerita não apresentam evidências de corrosão/dissolução, sugerindo que não ocorreu dissolução significativa de carbonatos após a precipitação destes cimentos. A ocorrência de cristais zonados, com núcleos de dolomita e bordas de anquerita, é um forte indicador de que a dolomita precedeu a anquerita e atuou como um núcleo para precipitação ou substituição por anquerita. BOLES & FRANKS (1979) sugerem que a ocorrência de um estágio tardio de carbonatos ricos em ferro, bem como a formação de cloritas ferríferas, relaciona-se à liberação de ferro e magnésio de camadas mistas de ilita-esmectita durante a "ilitização" das esmectitas ricas em ferro e magnésio a temperaturas superiores a 100 °C.

O fato de ocorrerem barita, pirita e anatásio de forma bastante localizada e com baixos teores em relação ao volume total da rocha impossibilita uma definição clara das relações temporais existentes entre estes cimentos autigênicos e os demais. As poucas relações petrográficas observadas permitem posicionar a barita entre a primeira fase de cimentação quartzo-feldspática e a fase de dissolução efetiva, incremento da porosidade, numa posição similar àquela observada para o cimento calcítico. A pirita e o anatásio autigênico desenvolveram-se numa fase posterior/concomitante àquela das cloritas ferríferas.

O cimento calcítico que ocupa planos de fraturas e falhas representa, provavelmente, a última fase de cimentação diagenética. As estrias existentes neste cimento sugerem que sua precipitação se deu durante o período em que ainda dominavam os esforços tectônicos.

## 7 — CONCLUSÕES

Os arenitos do Membro Gomo, no Campo de Rio do Bu, possuem granulação média, subordinadamente são finos ou grosseiros, possuem seleção moderada e teores de matriz inferiores a 1,0% do volume total da rocha.

Ao longo da seção vertical, nota-se uma variação composicional significativa entre os arenitos das seqüências inferior e superior: na inferior, predominam os subarcósios e sublitoarenitos, ao passo que na superior ocorrem arcósios líticos e litoarenitos feldspáticos.

As variações composicionais observadas nos arenitos, ao longo do intervalo estratigráfico em que estão inseridos, assim como as similaridades composicionais com a matriz arenosa dos conglomerados da Formação Salvador, sugerem que a proveniência dos arenitos do Membro Gomo, na área estudada, está relacionada à borda leste da Bacia do Recôncavo, com o Grupo Estância e o embasamento passando, em direção ao topo do intervalo, a serem as principais fontes de sedimentos.

A seqüência geral de fases e processos diagenéticos produzidos pode ser ordenada, do estágio precoce ao tardio, da seguinte forma: a) soterramento e compactação; b) primeira fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos; c) cimentação do espaço intergranular e substituição de silicatos por calcita; d) dissolução do cimento calcítico e grãos do arcabouço — incremento da porosidade; e) retomada da compactação; f) precipitação de cimentos tardios: segunda fase de precipitação de cimentos quartzo-feldspáticos; dolomita; ankerita e clorita ferrífera — redução parcial da porosidade.

Caracteriza-se também uma seqüência diagenética parcialmente inibida devido a intensa cimentação calcítica. Esta seqüência está registrada nas camadas de arenitos com menos de 1,5 metros de espessura — em particular aquelas geneticamente relacionadas aos depósitos de leque externo e depósitos de planície bacial e nas zonas de contato de espessas

camadas de arenito com os folhelhos sobrejacentes e sotopostos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Antônio S. T. Netto e Luiz F. De Ros, pelos comentários que enriqueceram o manuscrito; a Ana Maria P. Mizusaki, pelas fotos de minerais ao microscópio eletrônico de varredura, como também a Sylvania M. C. dos Anjos e Daisy B. Alves, pelas análises por difração de raios X; e a Simone C. Bressy, pela datilografia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLES, J. R. & FRANKS, S. G. Clay diagenesis in Wilcox sandstones of Southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. *J. Sediment. Petrol.*, 49 (1): 55-70, 1979.
- BRUHN, C. H. L. *Sedimentação e evolução diagenética dos turbiditos eocretácicos do Membro Gomo, Formação Candeias, no compartimento nordeste da Bacia do Recôncavo, Bahia*. Ouro Preto, UFOP, 1985. 203 p. Tese de Mestrado.
- CAROZZI, A. V.; ARAÚJO, M. B. de; CÉSERO, P. de; FONSECA, J. dos R.; SILVA, V. J. L. da. Formação Salvador; um modelo de deposição gravitacional subaquosa. *B. téc. PETROBRÁS*, 19 (2): 47-79, 1976.
- CURTIS, C. D. Possible links between sandstone diagenesis and depth related geochemical reactions occurring in enclosing mudstones. *J. Geol. Soc. London*, 135 (1): 107-17, 1978.
- DANIEL, L. M. F.; SOUZA, E. M.; MATO, L. F. *Geoquímica e modelos de migração de hidrocarbonetos no Campo de Rio do Bu*; integração com o compartimento nordeste da Bacia do Recôncavo, relatório interno. Salvador, PETROBRÁS. DEXBA. DIRGED, 1987. 18 p.
- DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAM, W. E., ed. *Classification of carbonate rocks*. Tulsa, AAPG, 1962. p. 108-21. (AAPG. Memoir, 1).
- EVAMY, B. D. The application of a chemical staining technique to a study of dedolomitization. *Sedimentology*, 2 (2): 164-70, 1963.
- FOLK, R. L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, Hemphill Publishing, 1974. 182 p.
- FRANKS, S. G. & FORESTER, R. W. Relationships among secondary porosity, porefluid chemistry and carbon dioxide, Texas Gulf Coast. In: MCDONALD, D. A. & SURDAM, R. C., eds. *Clastic diagenesis*. Tulsa, AAPG, 1984. p. 63-79. (AAPG. Memoir, 37).
- HOWER, J. et alii. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediments; 1. Mineralogical and chemical evidence. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87 (5): 725-37, 1976.
- KAHN, J. S. The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments; 1. On the measurement of packing in sandstones. *J. Geol.*, 64 (4): 385-95, 1956.
- SCARTON, J. C.; SOUZA, E. M.; MATO, L. F. *Análise de paleocorrentes nos arenitos (turbiditos) da Formação Candeias/Membro Gomo na área de Rio do Bu/Mata da Macuca/Rio Itariri, Bacia do Recôncavo*; relatório interno. Salvador, PETROBRÁS. DEXBA. DINTER, 1987. 14 p.
- SCHMIDT, V. & MCDONALD, D. A. Texture and recognition of secondary porosity in sandstones. In: SCHOLLE, P. A. & SCHLUGER, P. R., eds. *Aspects of diagenesis*. Tulsa, SEPM, 1979a. p. 209-25. (SEPM. Special Publication, 26).
- SCHMIDT, V. & MCDONALD, D. A. The role of secondary porosity in the course of sandstone diagenesis. In: SCHOLLE, P. A. & SCHLUGER, P. R., eds. *Aspects of diagenesis*. Tulsa, SEPM, 1979b. p. 175-207. (SEPM. Special Publication, 26).
- SOUZA, E. M. & MATO, L. F. Campo de Rio do Bu: zoneamento e caracterização dos arenitos reservatório da Formação Candeias. In: SEMINÁRIO DE GEOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E RESERVATÓRIO, 3., Salvador, PETROBRÁS. DEPEX. SEIDER, 1988. p. 176-90.
- SURDAM, R. C.; BOESE, S. W.; CROSEY, L. J. The chemistry of secondary porosity. In: MCDONALD, D. A.

& SURDAM, R. C., eds. *Clastic diagenesis*. Tulsa, AAPG, 1984. p. 127-50. (AAPG. Memoir, 37).

VIANA, C. F. *et alii*. Revisão estratigráfica da Bacia do Recôncavo/Tucano. *Bol. téc. PETROBRÁS*, 14 (3/4): 157-92, 1971.

WALKER, T. R. Carbonate replacement of detrital crystalline silicate minerals as a source of authigenic silica in sedimentary rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71 (2): 145-52, 1960.

WILSON, M. D. & PITTMAN, E. D. Authigenic clays in sandstones; recognition and influence on reservoir properties and paleoenvironmental analysis. *J. Sediment. Petrol.*, 47 (1): 3-31, 1979.

*The purpose of this work is to characterize the textural and compositional aspects, analyse the provenance and discuss the diagenetic evolution of the Gomo Member/Candeias Formation sandstones (Lower Cretaceous) in the Rio do Bu oil field, Recôncavo Basin (NE Brazil). These sandstones are the main reservoir rocks of that oil field.*

*The sandstones are medium-grained (minor amounts are fine to coarse-grained), moderately sorted and the matrix (< 30  $\mu$  fraction) content is less than 1,0% of the total rock volume.*

*Sandstone mineralogy varies significantly across the vertical section. In the lower part of the Gomo Member, the average framework composition (quartz, feldspar and rock fragments) is  $Q_{81}F_{10}R_9$ , mainly subarkoses e sublitharenites; in the upper part, the sandstones are composed of lithic arkoses and feldspathic litharenites. In this case, the average framework composition is  $Q_{66}F_{16}R_{18}$ . These variations in the mineralogy of the sandstones, and their compositional similarities to the sandy matrix of the Salvador Formation conglomerates, suggest that the provenance of these sandstones should be related to the eastern border of the Recôncavo Basin.*

*X-ray diffraction analyses of the shales in which the sandstones are interlayered indicate that, in the < 2  $\mu$  fraction, the dominant clay minerals present are interstratified illite/smectite and illite, and very small amounts of chlorite and*

*kaolinite.*

*The lower portion of the Gomo Member is characterized by the interlayering of shales and thin carbonate beds, mainly composed of bioclastic (ostracode) calcarenite, calcilutite and dolomite.*

*The general sequence of phases and diagenetic processes can be ordered, from the earliest to the latest stage, in this way: a) mechanical compaction and minor amounts of chemical compaction due to increasing burial; b) first-phase of quartz-feldspar overgrowths; c) cementation of intergranular pores and replacement of silicates by calcite; d) dissolution of calcite and framework grains (feldspar and feldspar-rich rock fragments) — enhancement of porosity; e) reactivation of mechanical compaction; and f) late cements: second-phase of quartz-feldspar overgrowths; dolomite; ankerite and chlorite — partial reduction of porosity.*

*One diagenetic sequence, partially developed due to intense calcite cementation can be characterized. The dissolution phase took place in a very incipient way, hindering the removal of calcite cement and the dissolution of framework grains. This diagenetic sequence is recorded in sandstone beds with less than 1.5 meters in thickness, and on contact zones of thick sandstone beds interlayered in shales. In these sandstones the pore system is completely occluded by carbonatic cement.*

## ABSTRACT