

DATAÇÃO K/Ar DE ILITAS DIAGENÉTICAS

K/Ar DATING OF DIAGENETIC ILLITES

Ana Maria Pimentel Mizusaki⁽¹⁾, Sylvia Maria Couto dos Anjos⁽²⁾,
Joaquim Ribeiro Wanderley Filho⁽³⁾, Oswaldo Braga da Silva⁽⁴⁾,
Maria das Graças Feitosa da Costa⁽¹⁾, Manuel Perez de Lima⁽³⁾ e
Koji Kawashita⁽⁵⁾

RESUMO — A idade potássio/argônio (K/Ar) obtida em ilitas diagenéticas é um dado importante na exploração de hidrocarbonetos, pois o crescimento deste mineral nos poros dos arenitos-reservatório e a migração de óleo são eventos que se interligam na evolução diagenética das rochas. O crescimento da illita cessa no momento em que o hidrocarboneto preenche totalmente os poros da rocha, expulsando as águas intersticiais. A idade K/Ar da illita fornece uma estimativa para o período de formação deste mineral e pode indiretamente datar a entrada do hidrocarboneto no reservatório. Amostras de arenitos saturados de óleo, coletados em reservatórios do Carbonífero da Bacia do Solimões, apresentam uma evolução diagenética consistindo predominantemente de crescimentos secundários do quartzo, calcita e illita. A illita foi mecanicamente separada utilizando-se uma metodologia que consiste de uma série repetitiva de banhos de ultrassom e pontas de ultrassom seguida por centrifugação de alta velocidade. As frações obtidas foram analisadas por difração de raios-X para se verificar o teor de illita em cada amostra. O material íltico separado é composto por illita e interstratificado illita-esmeclita ordenado com cerca de 80% de camadas de illita. As frações separadas foram datadas radiometricamente pelo método K/Ar. Resultados preliminares mostram idade média em torno de 200 Ma, indicando o término do processo de desenvolvimento diagenético das ilitas nesta área.

(Originais recebidos em 31.10.90.)

ABSTRACT — *Ascertaining the potassium/argon (K/Ar) age of diagenetic illites yields important information for hydrocarbon exploration since the growth of this mineral in the pores of sandstone reservoir and oil migration are interlinked events in the diagenetic evolution of rocks. Illite growth ceases as soon as hydrocarbons completely fill in rock pores, displacing interstitial water. By providing an estimate of the period when the illite formed, K/Ar dating can indirectly tell us when hydrocarbons entered the reservoir. Samples of oil-saturated sandstones collected from Carboniferous reservoirs of the Solimões Basin reveal a diagenetic evolution consisting predominantly of quartz, calcite, and illite overgrowths. In the present study, illite was mechanically separated by repeating a series of ultrasonic baths and ultrasonic probes followed by high-speed centrifuging. Resultant fractions were analyzed by X-ray diffractometry to measure the illite content of each sample. The separated illite material was found to be composed of illite and ordered mixed layer illite-smectite with 80% illite layers. Separated fractions were dated radiometrically by the K/Ar method. Preliminary results indicate an average age of some 200 m.y., which marks the end of the diagenetic development of the illites of this area.*

(Expanded abstract available at the end of the paper.)

- 1 - Setor de Tectônica (SETEC), Divisão de Exploração (DIVEX), Centro de Pesquisas (CENPES), Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP 21910, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 2 - Setor de Geologia para Exploração (SEGEX), Divisão de Geologia e Engenharia de Reservatórios (DIGER), Centro de Pesquisas (CENPES), Cidade Universitária, Quadra 7, Ilha do Fundão, CEP 21910, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 3 - Setor de Bacias Terrestres I (SEBAT I), Divisão de Interpretação (DINTER), Distrito de Exploração do Norte (DENOR), Rodovia Arthur Bernardes, 5511, Tapanã, CEP 06000, Belém, PA, Brasil.
- 4 - Setor de Campos (SECAM), Divisão de Interpretação (DINTER), Distrito de Exploração do Sudeste (DESUD), Av. Elias Agostinho, 665, Imbetiba, CEP 28700, Macaé, RJ, Brasil.
- 5 - Laboratório de Geocronologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Cidade Universitária, Caixa Postal 20899, CEP 01498, São Paulo, SP, Brasil.

1 – INTRODUÇÃO

A illita diagenética é um excelente relógio K/Ar nas temperaturas normalmente atingidas durante o soterramento. O crescimento da illita e a migração do hidrocarboneto são eventos que se interligam na evolução diagenética das rochas (Lee *et al.* 1985), de forma que o crescimento da illita cessa no momento em que o hidrocarboneto

preenche totalmente os poros da rocha, expulsando as águas intersticiais. Assim, a idade K/Ar da illita fornece uma estimativa para o período de formação deste mineral e pode indiretamente datar a entrada do hidrocarboneto na rocha.

Ilitas diagenéticas em arenitos já foram datadas em algumas bacias do mundo (Sommer, 1976; Lee *et al.* 1985 e 1989; Liewig *et al.* 1987),

segundo metodologias variadas. No Brasil, Bonhomme, Thomaz Filho (1986) dataram ilitas diagenéticas da Formação Açu (Bacia Potiguar), obtendo como resultado o estabelecimento de dois períodos datados em 75-80 Ma e 45 Ma. Estes autores relacionaram os valores obtidos com eventos diagenéticos distintos.

No presente estudo foram utilizadas amostras dos arenitos dos reservatórios da Bacia do Solimões (fig. 1), que foram analisadas petrograficamente por difratometria de raios-X e microscopia eletrônica de varredura, com o objetivo de definir a presença da ilita diagenética. As frações de ilita foram separadas e datadas radiometricamente pelo método K/Ar.

2 – METODOLOGIA

Foram estudadas amostras de poços com testemunhagem em arenitos-reservatório previamente identificados como portadores de ilita.

Os testemunhos foram descritos macroscopicamente e amostrados. A partir das amostras, foram confeccionadas lâminas petrográficas, realizadas análises por microscopia eletrônica de varredura, difratometria de raios-X e análises químicas, segundo o esquema da figura 2.

2.1 – Análise Petrográfica

A análise petrográfica visou a determinação das feições texturais, a composição mineralógica e o reconhecimento dos principais eventos diagenéticos presentes nas amostras selecionadas para este trabalho.

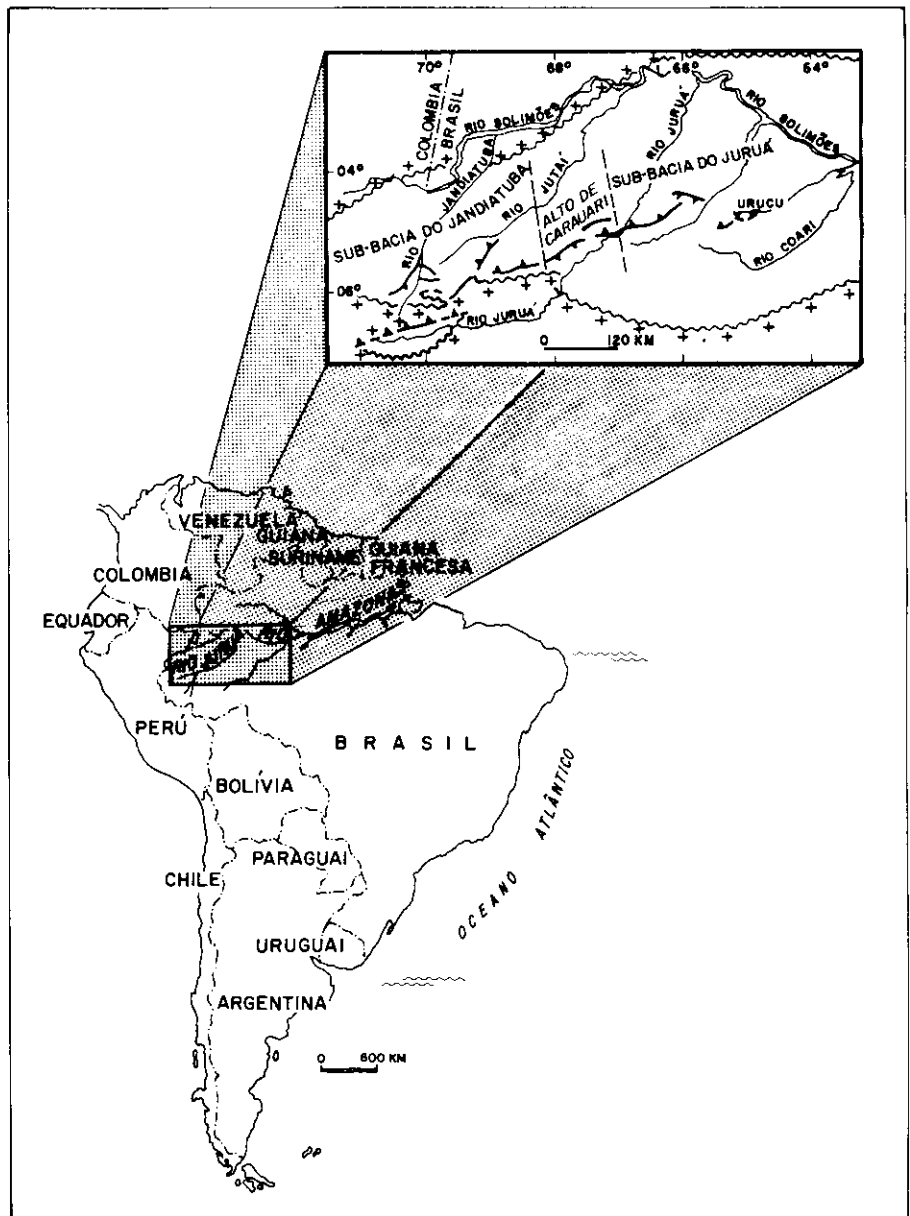


Fig. 1 - Mapa de localização da Bacia do Solimões com suas subdivisões morfológicas e principais trends estruturais.

Fig. 1 - Location map, Solimões Basin, showing morphological subdivisions and main structural trends.

2.2 – Análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As amostras foram analisadas por meio de um microscópio eletrônico de varredura Hitachi S-450 operando a 20 KV.

Os fragmentos de rocha foram montados em porta-amostras especiais e metalizados com uma película da liga níquel-cromo, cuja espessura média é de 150Å. As

amostras assim preparadas foram documentadas segundo as técnicas de elétrons secundários em aumentos variáveis de até 20 000 vezes.

O sistema EDS KEVEX SENIG 2, equipado com detetor de Si/Li e acoplado ao microscópio eletrônico de varredura, foi utilizado para definir a composição química qualitativa de algumas morfologias. O objetivo desta análise é confirmar a identificação mineralógica.

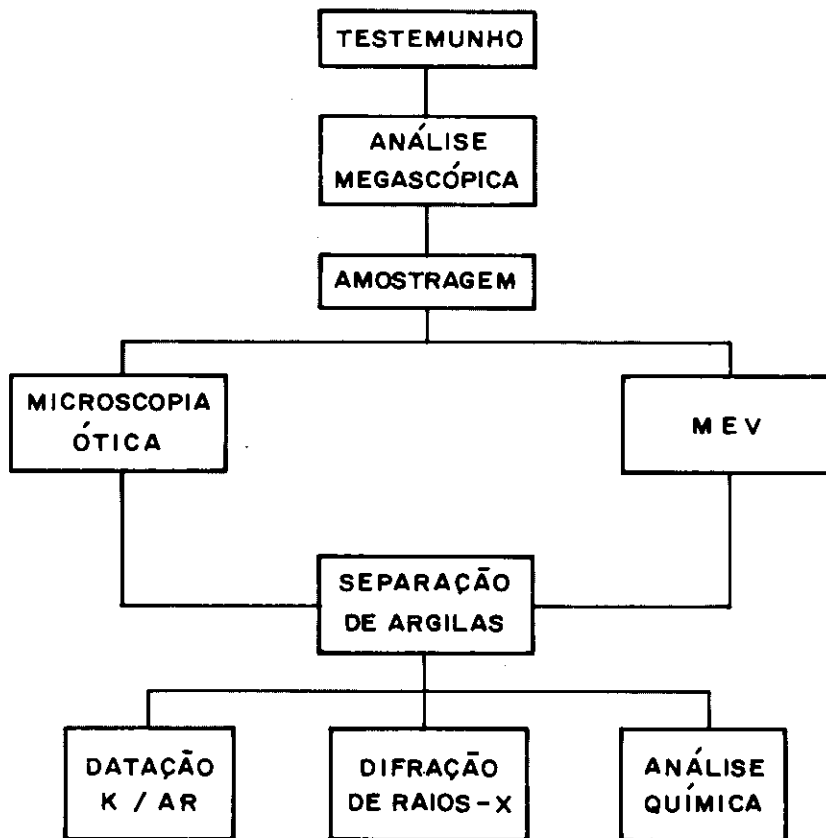


Fig. 2 - Metodologia.
Fig. 2 - Methodology.

O reconhecimento das argilas autigênicas baseou-se nos critérios propostos por Wilson, Pittman (1977).

2.3 – Análise por Difração de Raios-X (DRX)

As análises por difração de raios-X foram obtidas no difratômetro Rigaku 200, utilizando-se radiação K alfa do cobre nas condições de 30 Kv e 110 mA de corrente no filamento. A velocidade de varredura do goniômetro foi de 8 graus por minuto. Foram preparadas amostras orientadas pelo método de es-

fregação sobre lâmina de vidro (Thiry, 1974) de todas as frações granulométricas obtidas. Essas lâminas foram tratadas, em seguida, com etileno glicol e aquecidas a 490 °C por 4 h, a fim de se identificar a mineralogia de argilas. A identificação da mineralogia total foi obtida com amostras não orientadas e finamente moídas em gral de ágata.

A interpretação dos difratogramas foi obtida através de procedimento-padrão, seguindo Brown, Brindley (1980). Foram estimados os valores semi-quantitativos dos argilomine-

rais presentes nas amostras a partir da medida da altura dos picos principais, seguindo a metodologia do laboratório de DRX e descrito por Anjos *et al.* (1990).

Nas ilitas e nos interestratificados ilita-esmectita ordenados, ricos em ilita, foram obtidas medições do índice (I_r), definido por Srodon, Eberl (1984). Este índice, calculado a partir da relação entre as intensidades das reflexões basais da amostra, da corrida normal e da corrida glicolada, permite definir quanto o mineral analisado se afasta da composição da ilita pura, cujo índice I_r é igual a 1.

Obteve-se também o índice de cristalinidade (I_c) das ilitas, bem como a definição dos politipos.

2.4 – Separação das Frações Fines de Ilita

A divisão de cada amostra em diversas frações granulométricas visa separar os minerais autigênicos dos detríticos, com base no fato de que eles se concentram nas frações mais grosseiras, e os autigênicos nas frações mais finas (Hower *et al.* 1963; Lee *et al.* 1985).

As amostras passaram por processos sucessivos de desagregação por ultrassom, concentração e separação granulométrica por centrifugação e pipetagem. Esta repetição de processos tem por finalidade a extração do máximo teor possível de material argiloso dos arenitos, permitindo a obtenção das argilas em diversas frações granulométricas (inclusive nas frações entre 0,1 e 0,5 micra) em quantidade suficiente para datação radiométrica K/Ar.

As amostras foram inicialmente fragmentadas com martelo até que estivessem reduzidas a fragmentos com cerca de 3 cm de diâmetro. Estes fragmentos foram imersos em água destilada e desagregados por ultrassom de ponta (BRANSON cell disruptor, modelo 350) por 3 min, seguido de ultrassom de banheira por 20 min. O material em suspensão, então obtido, foi concentrado por centrifugação (Centrífuga IEC, modelo K a 5 000 RPM, durante 1 h) e separado para posterior fragmentação em diversas frações granulométricas. Este procedimento foi repetido de 3 a 4 vezes até se obter uma suspensão límpida, que é indicativo de que toda a fração argilosa foi retirada do arenito. Todo o material em suspensão (cerca de 4 l) foi então separado a 2 micra por centrifugação a 750 RPM durante 4 min, obtendo-se então as chamadas frações grosseiras (> 2) e as frações finas (< 2). O total da fração inferior a 2, obtido após cerca de três centrifugações, foi separado nas frações de 1, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2, e 0.1 micra, por centrifugações sucessivas. As frações grosseiras foram separadas a 5 e 10 micra por pipetagem, seguindo a metodologia de Jackson (1975).

2.5 – Datação K/Ar e Análise Química

Os procedimentos laboratoriais para a datação K/Ar das frações de illita seguiram aqueles propostos por Amaral *et al.* (1966), com pequenas modificações.

Os teores de potássio (K) foram determinados por análise em duplicata através de fotometria de chama, em equipamento Micronal B-262, com erro percentual normal

de 2%. As extrações de argônio realizaram-se em condições de ultra-alto vácuo (2×10^{-7} mm Hg) e as análises isotópicas deste gás, a partir de amostras diluídas por alíquotas de ^{38}Ar , em quantidades conhecidas, foram executadas em espectômetro de massa com fonte para gases, da marca Nuclide e do tipo Reynolds.

3 – BACIA DO SOLIMÕES

A Bacia do Solimões apresenta uma área de 300 000 km². As principais concentrações de hidrocarbonetos estão ao longo de feições anticlinais dômicas fechadas contra falhamentos que compõem um sistema de falhas transcorrente transpressional lateral direito (Porsche, 1985). Este sistema estende-se subparalelamente à borda sul da bacia.

A idade da estruturação na bacia é, até o momento, controversa, sendo admitida como de idade eo-cretácea (Esteves, 1983; Porsche, 1985; Tsubone *et al.* 1988) ou mesmo neo-permiana (Szatmari, 1983; Silva, 1987).

A coluna sedimentar siliciclástica da bacia é, em parte, composta por rochas de idade devoniana, onde estão localizados os principais geradores: a Formação Barreirinhas e a Formação Ereré (fig. 3).

Os principais arenitos-reservatório da bacia estão concentrados na base da seção permo-carbonífera e pertencem à Formação Monte Alegre e aos arenitos basais da Formação Itaituba.

Magmatismo básico de idade juro-triássica e de natureza intrusiva afetou a Bacia do Solimões.

3.1 – Reservatórios Portadores de Hidrocarbonetos na Área do Rio Urucu

Seis campos de óleo/condensado/gás estão atualmente definidos na área do Rio Urucu. Neste trabalho foram analisadas amostras de um poço do Campo de Urucu (poço 1-RUC-1-AM) e amostras de um poço do campo do leste de Urucu (poço 1-LUC-1-AM) (fig. 4). Nestes poços, a partir do zoneamento estratigráfico estabelecido pelo Setor de Desenvolvimento do Distrito de Exploração da Amazônia Ocidental, foram definidos dez reservatórios, dos quais foram amostrados:

Formação Itaituba

Poço 1-RUC-1-AM – Reservatórios 7A e 7B (R7A e R7B) Reservatório 6 (R6)

Formação Curuá

Poço 1-LUC-1-AM – Reservatório 10 (R10)

As amostras foram escolhidas em função do posicionamento destes reservatórios portadores de hidrocarbonetos fora da zona de influência térmica das soleiras de diabásio e do prévio conhecimento da presença de illita diagenética.

Coletou-se ainda uma amostra na Formação Monte Alegre, testemunhada no poço 1-FC-1-PA (fig. 4), Bacia do Amazonas, pois o arenito, neste caso, embora apresente indícios de óleo (fluorescência total), está saturado de água de baixa salinidade.

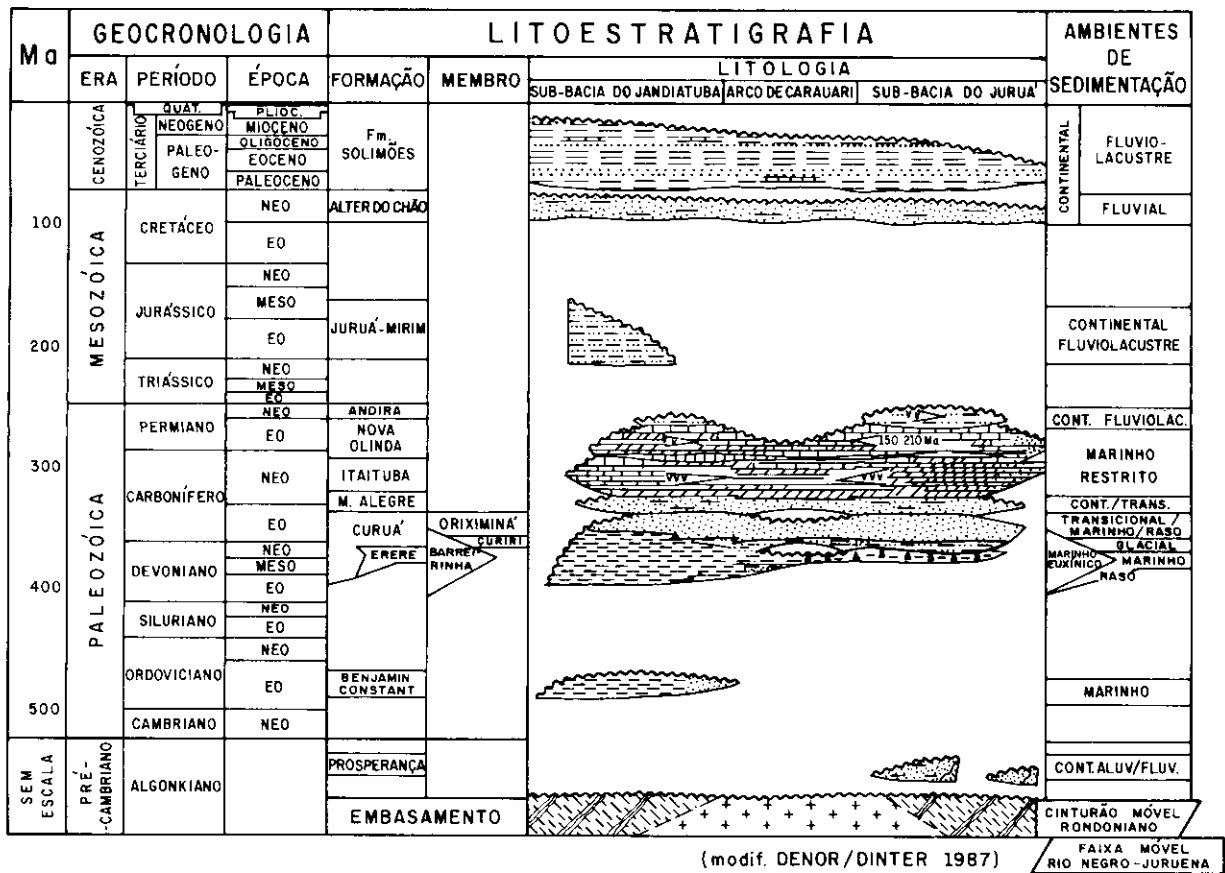


Fig. 3 - Coluna estratigráfica da Bacia do Solimões.
 Fig. 3 - Stratigraphic column, Solimões Basin

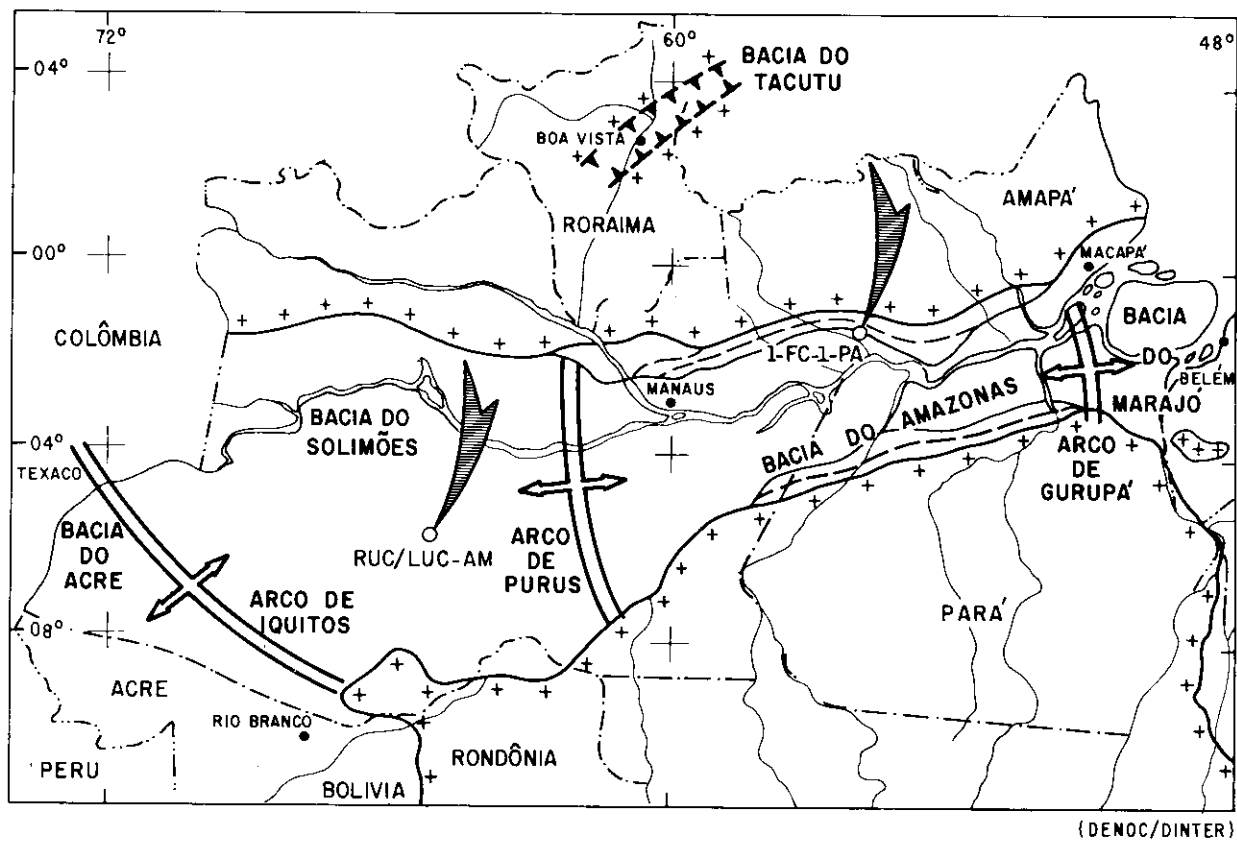


Fig. 4 - Mapa de localização dos pontos amostrados.
 Fig. 4 - Location map of sampled spots.

4 – RESULTADOS OBTIDOS

4.1 – Diagênese

As amostras coletadas são representadas por arenitos com granulometria variando de areia muito fina (0,062 a 0,12 mm) até areia média (0,25 a 0,5 mm), eventualmente bimodais. Os tipos com bimodalidade caracterizam-se pela intercalação de lâminas onde a granulometria está na faixa de areia fina e lâminas de areia média.

A composição mineralógica inclui quartzo, ortoclásio, plagioclásio, microclínio, fragmentos líticos (rochas de composição ácida, *chert*, metaquartzito, quartzo arenito), dolomita, barita, anidrita, opacos, muscovita, zircão, turmalina, pinta, caulinita, clorita e minerais do grupo da illita.

A evolução diagenética destes arenitos caracteriza-se pelas seguintes etapas:

- formação de cutículas a partir de argilas mecanicamente infiltradas;
- cimentação precoce: anidrita e barita;
- compactação incipiente com formação de pseudomatrix;
- crescimento secundário do quartzo;
- anidrita e barita (poiquilotópica);
 - dissolução;
- caulinitas e/ou cloritas autigênicas;
- illitas autigênicas (foto 1);
 - dolomita (romboedros) (foto 2);
- piritas.

Estas amostras, segundo os critérios de Folk (1968) podem ser classificadas como arenito do tipo subarcóseo.

4.2 – Difração de Raios-X

O termo illita foi proposto por Grim *et al.* (1937) para definir os minerais micáceos de tamanho argila, que são comuns nos sedimentos argilosos. Posteriormente, Srodon, Eberl (1984) definiram mais especificamente o termo illita como sendo o de um argilomineral não expansivo, dioctaédrico, rico em alumínio e potássio, que ocorre nas frações argila (menor que 4 micra). O termo material illítico tem conotação petrológica englobando tanto a illita que é não expansiva, quanto o material micáceo com expansibilidade. Neste estudo, o termo material illítico foi utilizado no sentido de englobar tanto a illita como o interes-

tratificado ordenado illita-esmectita com alto teor de illita. A definição dos teores relativos destes dois minerais não é simples, pois ocorre superposição dos picos a 10Å. Assim, utilizou-se a diferença de intensidade do pico de 10Å nas corridas normal e aquecida para definir a presença dos interestratificados.

Bailey *et al.* (1962) ressaltou que parte dos minerais classificados, por análise ao DRX, como illita, representam, na realidade, muscovita de politipo 2M, ou seja, finamente granulada.

O termo politipo refere-se ao conjunto de minerais que apresentam



Foto 1 - (Poço 1-RUC-1-AM; 2 437,5m; 400X; nicóis paralelos) - Lâmina delgada mostrando detalhe de um poro onde se destaca a presença de illitas autigênicas ("I").

Photo 1 - Thin section showing detail of pore with autigenic illites (I) highlighted (Well 1 RUC 1 AM; 2 437.5m; 400X; parallel nicols).



Foto 2 - (Poço 1-RUC-1-AM; 2 437,5m; 400X; nicóis paralelos) - Lâmina delgada mostrando detalhe de um poro parcialmente preenchido por romboedros de dolomita ("D").

Photo 2 - Thin section showing detail of pore partially filled by dolomite rhombohedra (D) (Well 1 RUC 1 AM; 2 437.5m; 400X; parallel nicols).

TABELA I/TABLE I

VALORES SEMIQUANTITATIVOS POR DRX DOS MINERAIS DE ARGILA E MINERALOGIA TOTAL PRESENTES NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS SEPARADAS DAS AMOSTRAS ANALISADAS
SEMI-QUANTITATIVE VALUES, OBTAINED BY X-RAY DIFFRACTOMETRY, FOR CLAY MINERALS AND FOR TOTAL MINERALOGY OF GRANULOMETRIC FRACTIONS SEPARATED FROM ANALYZED SAMPLES

POÇO	PROF. (m)	FRAÇÃO (μ)	ARGILOMINERAIS						MINERALOGIA TOTAL									
			I-S	I	CL	K	% I no I/S	Ir (20)	Ic (20)	CAL	DOL	QTZ	AND	ARG	KF	PLAG	BAR	GIP
1-LUC-1-AM	2420,0	5<FF<10	55	40	TR	5	80-90	-	0,9	-	PR	PR	-	PR	PR	PR	PR	-
1-LUC-1-AM	2420,0	4<FF<5	50	45	TR	5	75-85	0,98	0,9	-	PR	PR	-	PR	-	PR	PR	-
1-LUC-1-AM	2420,0	2<FF<4	45	10	TR	TR	70-85	0,99	0,85	-	PR	PR	-	PR	PR	PR	PR	PR
1-LUC-1-AM	2420,0	FF<2	30	60	10	TR	75-90	0,99	1,0	TR	PR	PR	-	PR	-	-	PR	PR
1-LUC-1-AM	2420,0	1<FF<2	25	65	10	TR	80-85	1,64	0,9	-	PR	PR	-	PR	PR	-	PR	PR
1-LUC-1-AM	2420,0	0,5<FF<1	35	65	TR	-	80-90	1,19	1,0	-	-	PR	-	PR	-	-	-	PR
1-LUC-1-AM	2420,0	0,1<FF<0,5	50	50	TR	-	90-95	1,20	1,0	-	-	PR	-	PR	-	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2437,5	1<FF<2	30	70	TR	-	85-90	0,96	0,85	-	PR	PR	-	PR	PR	-	PR	PR
1-RUC-1-AM	2437,5	0,5<FF<1	20	80	-	-	80-85	1,00	0,9	-	PR	PR	-	PR	-	-	PR	PR
1-RUC-1-AM	2437,5	0,1<FF<0,5	35	65	-	-	75-85	1,07	0,9	-	-	-	-	100	-	-	-	-
1-RUC-1-AM	2445,5	5<FF<10	TR	-	100	-	-	-	-	-	PR	PR	PR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	4<FF<5	10	-	90	-	-	-	-	-	PR	PR	PR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	2<FF<4	5	-	95	-	-	-	-	-	PR	PR	PR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	FF<2	15	-	85	-	80-90	-	-	-	PR	PR	PR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	1<FF<2	5	-	95	-	80-90	1,1	0,8	PR	PR	PR	PR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	0,5<FF<1	20	-	80	-	85-90	1,1	0,85	PR	PR	-	TR	PR	PR	-	-	PR
1-RUC-1-AM	2445,5	0,1<FF<0,5	5	-	45	-	80-85	1,1	0,7	-	-	TR	TR	100	TR	-	-	PR
1-LUC-1-AM	2456,8	1<FF<2	-	100	-	-	-	0,9	0,6	-	-	-	-	PR	PR	-	-	PR
1-LUC-1-AM	2456,8	0,5<FF<1	TR	100	-	-	-	1,1	0,65	-	-	-	-	PR	PR	-	-	PR
1-LUC-1-AM	2456,8	0,1<FF<0,5	TR	100	-	-	-	1,1	0,7	-	-	-	-	PR	-	-	-	PR
1-FC-1-PA	828,7	1<FF<2	25	45	TR	30	-	-	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-FC-1-PA	828,7	0,5<FF<1	45	55	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-FC-1-PA	828,7	0,1<FF<0,5	40	60	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

I-S = illita-esmectita
I = illita
CL = clorita
K = caulinita
IC = índice de cristalinidade

IR = índice de relação
CAL = calcita
DOL = dolomita
QTZ = quartzo
AND = anidrita

ARG = argila
K-FELD = feldspato potássico
PLAG = plagioclásio
BAR = barita
GIP = gipsita

TR = traços

PR = presente

a mesma composição química, mas cujo empilhamento de camadas se faz de forma diferente. Outra definição diz que os politipos originam-se a partir de diferentes empilhamentos de unidades estru-

turais semelhantes. A maioria das illitas dioctaédricas pertencem aos politipos 2M, 1M e 1Md.

Na tabela I são sumarizados os resultados obtidos por DRX da mine-

ralogia de argilas e mineralogia total para cada uma das frações granulométricas analisadas. A mineralogia total é apresentada na forma qualitativa e a mineralogia de argila com valores semiquantitati-

vos. A análise da mineralogia total objetivou detectar a presença de minerais que contenham potássio, tais como mica e feldspato potássico, pois estes influenciam nos resultados das datações radiométricas pelo método K/Ar. A definição dos politipos é importante, a fim de se definir se o material separado é realmente illita diagenética, normalmente do politipo 1Md, ou micas detriticas. As micas e os feldspatos detriticos, por terem sido formados anteriormente ao sitio deposicional, contribuem numa datação radiométrica com idades mais antigas. Por outro lado, tanto os feldspatos potássicos alterados como os autigenicos podem influir no resultado da datação da rocha com valores mais novos do que os da sua formação.

A mineralogia total presente nas diversas frações granulométricas é composta por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, barita, dolomita, calcita e argilominerais. Verifica-se que o teor relativo destes minerais varia de acordo com a fração granulométrica. Os minerais não argilosos se concentram nas frações mais grosseiras, decrescendo gradativamente para as frações mais finas, onde os minerais de argila predominam.

Como as micas apresentam reflexões, por difração de raios X, em posições idênticas àquelas das illitas, torna-se necessária a análise cuidadosa destes padrões. Para distinção entre illitas e micas, utilizou-se a medida do pico de 10Å a meia altura (Ic, tabela I). Valores de 0.2° a 0.5° são característicos para as micas, enquanto as illitas apresentam picos mais largos, com valores entre 0.6° e 1.0° 2θ (Reynolds, 1980). Por este critério verifica-se que a mica não está presente



Foto 3 - (Poço 1 RUC-1 AM; 2 437,5m; 1400X); - Fotomicrografia ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) de grãos do arcabouço revestidos por material illítico, onde as illitas filamentosas orientam-se perpendicularmente ao grão. Notar em "C", cloritas preenchendo o espaço intergranular.
Photo 3 SEM photomicrograph of framework grains covered with illite material, with filamentous illites running perpendicular to the grain (Well 1 RUC-1 AM; 2 437.5m; 1400X). Observe chlorites filling intergranular space (C).



Foto 4 - (Poço 1 FC-1 PA; 828,7m; 4500X). Fotomicrografia ao MEV de illitas autigenicas formando pontes entre grãos.
Photo 4 SEM photomicrograph of authigenic illites forming bridges between grains (Well 1 FC-1 PA; 828.7m; 4500X).

nem mesmo nas frações mais grosseiras (onde normalmente ocorrem) das amostras analisadas. As análises indicam que o mineral detectado nas frações finas consiste somente de illitas, não havendo contribuição de muscovita finamente granulada.

Os minerais de argila presentes nas diversas frações granulométricas das amostras analisadas são os minerais illíticos (fotos 3 e 4) (illita e/ou interestratificado illita-esmectita ordenado muito rico em illita), clorita e caulinita (tabela I e fig. 5).

4.3 - Idades K/Ar

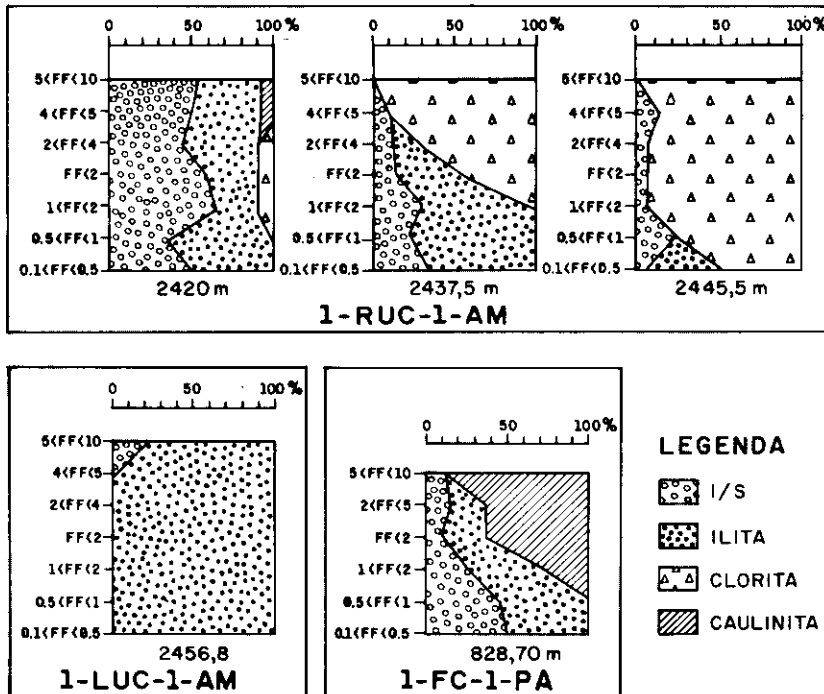
Os resultados das datações potássio/argônio (K/Ar) apresentados nas tabelas II e III referem-se a illitas separadas de amostras de arenito saturadas por hidrocarbonetos (gás e/ou óleo).

Os intervalos amostrados estão posicionados no Carbonifero inferior* (DENOR/DINTER, 1987). Algumas análises paleontológicas efetuadas em amostras da Formação Monte Alegre tem indicado idades entre 315 a 320 Ma. (Lemos, 1988, inf. verbal; Denir, 1988 inf. verbal).

Nos resultados K/Ar apresentados na tabela II verifica-se que as frações mais grosseiras apresentam idades mais antigas quando comparadas com as frações mais finas. Isto é compatível com as observações de Lee *et al.* (1985) que propõem que se a illita diagenética se forma durante um periodo de tempo relativamente longo, as frações mais finas (FF < 2) deste mineral provavelmente serão as últimas a serem formadas. Assim, a idade K/Ar da fração mais fina (0,1 < FF < 0,5), passível de sepa-

* Carbonifero inferior - 360 a 320 Ma, segundo Geologic Time Scale, GSA, 1983.

MINERALOGIA DE ARGILAS



ração, deverá indicar o término do processo diagenético. A fração mais grosseira enriquecida em illita ($FF > 2\mu$) contém grãos cuja idade K/Ar deve marcar o início do desenvolvimento deste mineral.

Na ausência de contaminação por minerais potássicos detríticos, as idades obtidas a partir das frações mais grosseiras para as frações mais finas devem refletir o período de formação da illita (fig. 6).

Nos resultados obtidos para a amostra coletada em 2445,5 m (1-RUC-1-AM), com exceção do valor de $346,7 \pm 9,9$ ($2 < FF < 4$), verifica-se que a fração mais grosseira tem idade K/Ar em torno de $280,9 \pm 31,4$ Ma e a fração mais fina tem $209,9 \pm 2,6$ Ma, indicando um intervalo de 71 Ma. No caso da amostra coletada na profundidade de 2420,0 m (tabela II), o intervalo de formação da illita reduz-se a 38,1 Ma.

Fig. 5 - Mineralogia de argilas das diversas frações granulométricas das amostras de arenitos analisados.
Fig. 5 - Clay mineralogy of granulometric fractions of analysed sandstone samples.

TABELA II / TABLE II

RELAÇÃO ENTRE FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS SEPARADAS DAS AMOSTRAS DOS ARENITOS - RESERVATÓRIO E IDADE K/Ar
GRANULOMETRIC FRACTIONS SEPARATED FROM SANDSTONE RESERVOIR SAMPLES RELATED K/Ar AGE

POÇO	1-RUC-1-AM			1-LUC-1-AM	1-FC-1-PA
Prof. (m)	2420	2437,5	2445,5	2456,8	828,7
Fração (μ)					
5<FF<10	237,4 ± 91,3		280,9 ± 31,4		
4<FF<5	237,6 ± 21,2		259,0 ± 4,5		
2<FF<4	183,9 ± 30,8		346,7 ± 9,9		
FF<2	201,9 ± 23,8		267,2 ± 3,9		
1<FF<2	198,9 ± 40,2	191,5 ± 3,1	244,7 ± 5,2	236,5 ± 6,0	71,5 ± 6,9
0,5<FF<1	184,9 ± 25,6	204,1 ± 3,1	242,7 ± 3,4	212,6 ± 6,9	36,7 ± 1,4
0,1<FF<0,5	199,3 ± 24,9	153,1 ± 1,8	209,9 ± 2,6	202,2 ± 3,5	10,7 ± 1,3

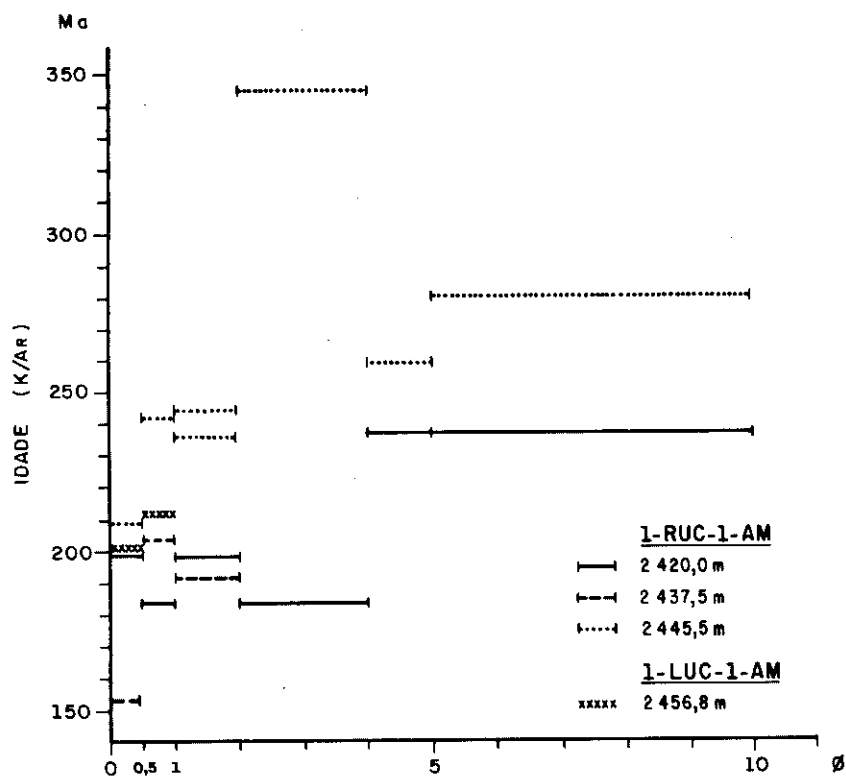


Fig. 6 - Diagrama da idade (K/Ar) versus fração argilosa.
Fig. 6 - Age (K/Ar) by argillaceous fraction.

O resultado de $346,7 \pm 9,9$ Ma obtido para a $2 < FF < 4\mu$ da amostra coletada em 2445,5 m (poço 1-RUC-1-AM) é elevado quando comparado aos demais resultados (tabela II), embora o valor não seja superior à idade deposicional. Pode-se supor que, neste caso, provavelmente tenha ocorrido a contaminação desta fração por minerais potássicos detriticos.

A presença de qualquer mineral detritico contendo potássio ou argônio (Ar) radiogênico fará com que as idades medidas sejam diferentes da idade da diagênese e, em alguns casos, até mesmo da idade deposicional. Lee (1987) verificou que em tais casos de contaminação existe a probabilidade de que outras frações também estejam contaminadas.

Nas frações analisadas (tabela III), as idades mais novas calculadas

para as outras frações dos poços 1-RUC-1-AM e 1-LUC-1-AM, e as evidências obtidas por petrografia e microscopia eletrônica de varredura, indicam que a contaminação por illita detritica foi inexistente. Assim, a idade da fração mais fina destas amostras deve ser próxima do período em que a formação deste mineral foi interrompida.

Na tabela III, em relação ao teor de potássio, verifica-se um incremento do valor deste elemento, dosado por fotometria de chama, em função das dimensões da fração argilosa. Quanto menor a fração, maior o teor de potássio indicando enriquecimento progressivo em minerais potássicos (illita). Para o teor de argônio 40 atmosférico (Ar40atm) (tabela III), verifica-se igualmente a relação com o diâmetro da fração. As frações com maior diâmetro tem maior contaminação, e esta relação decresce em direção às frações mais finas. A contami-

nação por Ar40atm pode estar relacionada à pressão inicial da linha de extração do argônio, sendo então um problema analítico. Altos valores de Ar40atm também podem ser devidos à presença de matéria orgânica ou contaminação por minerais detriticos potássicos.

As amostras analisadas, além da illita, apresentam caulinita e clorita de origem diagenética. Como a caulinita e a clorita não contém quantidades significativas de potássio pode-se concluir que a presença destes minerais não afetou as determinações das idades K/Ar.

Em relação à retentividade de argônio, Lee *et al.* (1988), com base em diversos exemplos, sugerem que as illitas podem reter argônio radiogênico, mesmo quando afetadas por altas temperaturas (190 °C).

Em relação às amostras do poço 1-FC-1-PA, foram separadas frações finas ($1 < FF < 2$; $0,5 < FF < 1$ e $0,1 < FF < 0,5$) que se mostraram enriquecidas em illita (tabela I).

Essas frações finas foram calcinadas durante o processamento laboratorial para a datação K/Ar. O calcinamento das frações argilosas não se constitui em procedimento rotineiro, pois pode ocasionar a perda de Ar e, conseqüentemente, a idade torna-se mais jovem do que seria esperado.

As idades K/Ar obtidas para as frações finas do poço 1-FC-1-PA são mais novas do que aquelas da área do Rio Urucu, conforme pode ser observado quando estes dados são comparados (tabela II).

As idades mais novas provavelmente estão relacionadas ao calci-

TABELA III / TABLE III
RESULTADOS K/Ar OBTIDOS PARA AS FRAÇÕES DE ILITA SEPARADAS DE AMOSTRAS DE ARENITOS-RESERVATÓRIO
K/Ar RESULTS FOR ILLITE FRACTIONS SEPARATED FROM SANDSTONE RESERVOIR SAMPLES

Poço	Prof. (m)	Fração (μ)	%K	40 Ar rad	atm Ar (%)	Idade (Ma)	Reservatório
1-RUC-1-AM	2420,0	5<FF<10	2,5175 ± 1,6270	24,65	92,57	237,4 ± 91,3	R6
		4<FF<5	3,3506 ± 0,5000	33,04	75,28	237,6 ± 21,2	
		2<FF<4	4,0832 ± 2,3280	30,59	82,62	183,9 ± 30,8	
		FF<2	4,2664 ± 1,1970	35,35	81,52	201,9 ± 23,8	
		1<FF<2	4,7477 ± 2,8990	38,53	83,71	198,9 ± 40,2	
		0,5<FF<1	5,7331 ± 3,5930	43,14	82,19	184,9 ± 25,6	
		0,1<FF<0,5	6,2426 ± 4,0890	50,82	62,02	199,3 ± 24,9	
1-RUC-1-AM	2437,5	1<FF<2	5,3478 ± 0,6790	41,97	16,39	191,5 ± 3,1	R7A
		0,5<FF<1	5,9917 ± 1,0780	50,29	4,64	204,1 ± 3,1	
		0,1<FF<0,5	6,8328 ± 0,5000	43,04	4,02	153,1 ± 1,8	
1-RUC-1-AM	2445,5	5<FF<10	2,8213 ± 0,5370	33,29	75,56	280,9 ± 31,4	R7B
		4<FF<5	2,9095 ± 0,5000	31,47	32,47	259,0 ± 4,5	
		2<FF<4	2,9687 ± 2,2430	44,02	38,08	346,7 ± 9,9	
		FF<2	2,6851 ± 0,9940	30,03	12,78	267,2 ± 3,9	
		1<FF<2	3,4992 ± 1,7730	35,60	11,11	244,7 ± 5,2	
		0,5<FF<1	4,1902 ± 0,5000	42,29	13,62	242,7 ± 3,4	
		0,1<FF<0,5	5,7610 ± 0,5000	49,81	14,58	209,9 ± 2,6	
1-LUC-1-AM	2456,8	1<FF<2	7,0169 ± 2,2030	68,80	4,03	236,5 ± 6,0	R10
		0,5<FF<1	7,9100 ± 3,0000	69,21	2,90	212,6 ± 6,9	
		0,1<FF<0,5	7,5038 ± 0,5000	62,35	5,01	202,2 ± 3,5	
1-FC-1-PA	828,7	1<FF<2	6,4554 ± 9,5886	18,06	21,18	75,5 ± 6,9	—
		0,5<FF<1	6,0213 ± 2,5373	8,64	33,94	36,7 ± 1,4	
		0,1<FF<0,5	6,5745 ± 9,9999	2,69	64,34	10,7 ± 1,3	

namento da amostra. No entanto, outra hipótese para estes valores pode ser sugerida em função das características hidrodinâmicas da área. Apesar dos testemunhos estarem impregnados de óleo, a área do poço 1-FC-1-PA encontra-se sob um influxo de água de baixa salinidade (6 000 ppm de NaCl) infiltrada a partir das áreas de afloramento da Formação Monte Alegre. A entrada de água associada ao intenso lixiviamento do feldspato potássico criaria condições para um novo desenvolvimento da ilita, sendo então viável encontrar-se idades K/Ar mais novas.

Lee *et al.* (1988), trabalhando com amostras do reservatório do campo de gás Groningen (Mar do Norte), obtiveram idades K/Ar mais novas (42,9 ± 0,8 Ma; 41,7 ± 0,7 Ma e 39,5 ± 0,7 Ma) do que a média da área (115 ± 2 Ma). Estas idades foram associadas a dois episódios

distintos de formação de ilita diagenética, provavelmente relacionados à circulação de fluidos.

5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As idades absolutas das ilitas separadas das amostras dos reservatórios R6, R7A e R7B do poço 1-RUC-1-AM são apresentadas nas tabelas II e III.

Os dados sugerem que nos reservatórios R6 e R7B o processo diagenético foi interrompido aproximadamente a 200 Ma o que pode corresponder, segundo os critérios de Lee *et al.* (1985), à época de preenchimento destes reservatórios pelo hidrocarboneto.

O reservatório 7A apresenta idade K/Ar na fração mais fina (0,1 < FF < 0,5) em torno de

150 Ma, valor mais novo do que os anteriores. Isto sugere que os processos diagenéticos neste reservatório prosseguiram por cerca de 50 Ma em relação aos dados dos outros reservatórios. Com base nestes dados, pode-se supor:

– os diferentes contatos óleo/gás e óleo/água dos três reservatórios indicam que o preenchimento dos mesmos foi diferenciado durante a fase da migração;

– os reservatórios analisados são independentes entre si, o que é evidenciado pelos dados de pressão (fig. 7), (Ehalt, 1988). Neste contexto, as idades encontradas no R6 e R7B corresponderiam à mesma fase de preenchimento do reservatório. Nesta época, o arenito R7A estaria isolado dos outros reservatórios, fato este que permitiria que o processo diagenético se prolongasse até 150 Ma atrás.

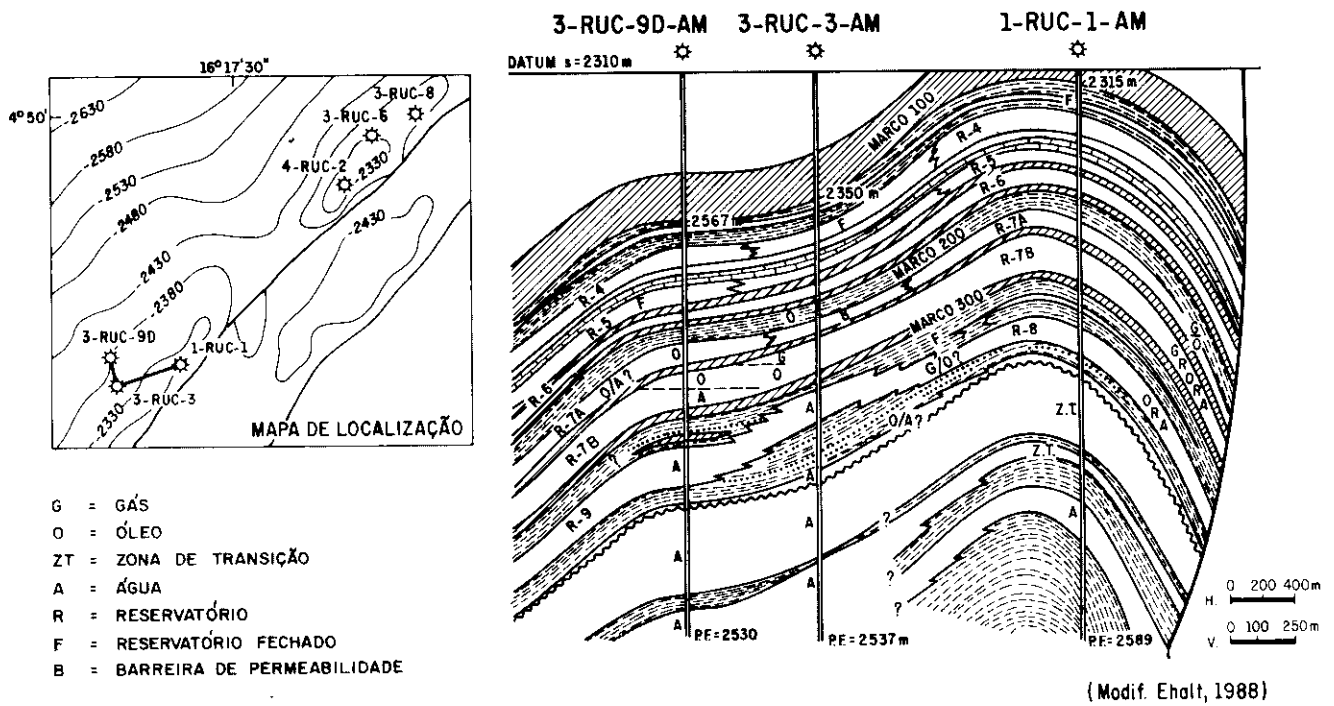


Fig. 7 - Seção estrutural da área do poço 1-RUC-1-AM.
 Fig. 7 - Structural section of the area of well 1-RUC-1-AM.

— a terceira possibilidade para explicação das idades encontradas é a liberação de água dos folhelhos do marco 200 para o reservatório 7A. O fluxo contínuo de água dos

folhelhos para o reservatório permitiria que o desenvolvimento da ilita se prolongasse por mais 50 Ma. Lentamente o reservatório 7A foi sendo preenchido por hidrocarbo-

neto, uma vez que a existência de barreira de permeabilidade nas partes mais baixas de estrutura (fig. 8) dificultou a expulsão da água e conseqüente rebaixamento do con-

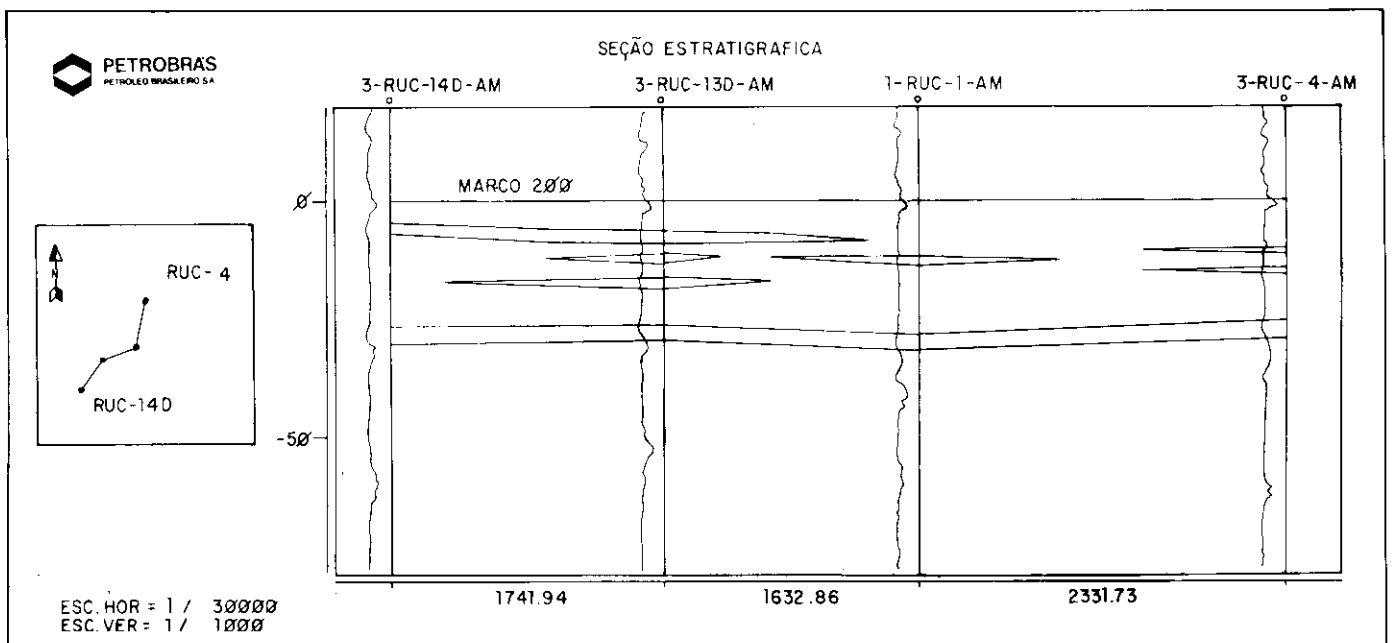


Fig. 8 - Seção estratigráfica apresentando correlações dos corpos de anidrita (barreira de permeabilidade à época de migração) no reservatório 7A.
 Fig. 8 - Stratigraphic section showing correlations between anhydrite bodies (permeability barrier at time of migration) in reservoir 7A.

tato hidrocarboneto/água. A barreira de permeabilidade foi constatada pela análise dos perfis dos poços desta área.

6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

– Foi implantada no CENPES uma metodologia que permitiu a separação das ilitas autigênicas presentes em arenitos-reservatório de hidrocarboneto. As frações enriquecidas em ilita foram datadas radiometricamente pelo método K/Ar. A idade K/Ar obtida indica o término dos processos diagenéticos. As fases finais dos processos diagenéticos estão relacionadas com o preenchimento do reservatório pelo hidrocarboneto.

– Apesar da obtenção de ilitas em diversas frações granulométricas, pode-se constatar que o teor deste mineral nas amostras é pequeno, conforme observado ao microscópio eletrônico de varredura.

– O material íltico separado é composto por ilita e interestratificado ilita-esmectita ordenado com cerca de 80% de camadas de ilita. Em algumas amostras caulinitas e cloritas também são identificadas.

– A presença do interestratificado, identificado por difratometria de raios-X, provavelmente se refere ao interestratificado ilita-esmectita formado a partir da ilitização de esmectita mecanicamente infiltrada nos arenitos durante a deposição. As argilas filamentosas orientadas perpendicularmente aos grãos são identificadas como ilita.

– Com base nestes dados conclui-se que o interestratificado ilita-esmectita pode ser utilizado para da-

tação K/Ar. A presença de caulinita e/ou clorita nas frações analisadas não afetou as determinações das idades K/Ar.

– As idades obtidas com as frações mais finas ($0,1 < FF < 0,5$) de ilita dos reservatórios R6 e R7B da área do Campo do Urucu (RUC) e do Leste do Urucu (LUC) são da ordem de 200 Ma e marcam o término do processo de desenvolvimento diagenético das ilitas.

– O reservatório 7A apresentou idade de cerca de 150 Ma na fração mais fina da ilita, indicando que a diagênese neste reservatório prolongou-se por 50 Ma em relação aos reservatórios R6 e R7B.

– Embora a fração fina ($0,1 < FF < 0,5$) da amostra coletada em reservatório portador de água do poço 1-FC-1-PA tenha apresentado problemas analíticos, sua datação resultou numa idade de 11 Ma. Isto pode indicar que os processos diagenéticos foram efetivos nesta área até épocas mais recentes, em relação à Bacia do Solimões. Em função do resultado questionável, estas análises K/Ar estão sendo repetidas.

– Sugere-se dar continuidade a este trabalho, utilizando-se amostras de reservatórios correlacionáveis numa mesma estrutura, mas que estejam nas zonas de óleo, gás e água. Esta nova amostragem objetiva identificar com mais segurança o período de migração dos hidrocarbonetos para esta área, uma vez que os dados apresentados até o momento são pontuais e refletem apenas uma parcela do tempo envolvido para o preenchimento destes reservatórios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G. *et al.* Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta.* v.30, p.159-189, 1966.
- ANJOS, S.M.C. *et al.* Identificação qualitativa e semiquantitativa de minerais de argila por difração de raios X. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1990. (Relatório interno).
- ARONSON, J.L., HOWER, J. Mechanism of burial metamorphism of argillaceous sediment: 1. radiogenic argon evidence. *Geol. Soc. Amer. Bulletin*, v.87, p.738-744, 1976.
- BONHOMME, M.G., THOMAZ FILHO, A. *Application de la methode isotopique K/Ar a la datation d'evenements diagenetiques lies a l'evolution de la matiere organique.* Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1987. (Relatório interno).
- BRINDLEY, G.W. Order-disorder in clay mineral structures. In: BRINDLEY, G.W., BROWN, G. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification.* London: Mineralogical Society, 1980. p.125-196.
- BROWN, G., BRINDLEY, G.W. X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: BRINDLEY, G.W., BROWN, G. *Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification.* London: Mineralogical Society, 1980. p.305-359.
- EHALT, C.V. Análise de gradientes de pressão e sua utilização para correlação de reservatórios na

- área do Rio Urucu. In: SIMPÓSIO TÉCNICO DE OPERAÇÕES GEOLÓGICAS, 2, 1988, Salvador. *Anais...* Salvador: [s.n.], 1988. v.2.
- ESTEVEES, F.R. Exploração na área do Juruá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 2, 1983, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: [s.n.], 1983, v.23.
- FOLK, R.L.A. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill's Bookstore, 1968, 170 p.
- GRIM, R.E., BRAY, R.H., BRADLEY, W.F. The micas in argillaceous sediments. *Am. Mineral.*, v.22, p.813-829, 1937.
- HOWER, J. *et al.* The dependence of K-Ar age on the mineralogy of various particle size ranges in a shale. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, v.27, p.405-410, 1963.
- JACKSON, M.L. *Soil chemical analysis: advanced course*. Madison: [s.n.], 1975, 2. ed. 895 p.
- LEE, M., ARONSON, J.L., SAVIN, S.M. K/Ar dating of time of gas emplacement in Rotliegendes sandstone, Netherlands. *AAPG Bulletin*, v. 69, n.9, p.1381-1385, 1985.
- . Timing and conditions of Permian Rotliegendes Sandstone diagenesis; Southern North Sea: K/Ar and isotopic data. *AAPG Bulletin*, v.73, n.2, p.195-215, 1988.
- LIEWIG, N., CLAUER, N., SOMMER, F. Rb-Sr e K-Ar dating of clay diagenesis in Jurassic Sandstone oil reservoir, North Sea. *AAPG Bulletin*, v.71, n.12, p.1467-1474, 1987.
- MAXWELL, D.T., HOWER, J. High-grade diagenesis and low grade metamorphism of illite in the Precambrian Belt series. *Am. Mineral*, v.52, p.843-857, 1967.
- MIZUSAKI, A.M.P. *et al.* *Datação K/Ar de illitas diagenéticas*, Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES, 1989. (Relatório interno).
- PORSCHKE, E. *Tectônica da faixa de dobramentos do Juruá, Bacia do Amazonas, Brasil: um modelo estrutural*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1985. 124 p. (Tese de mestrado).
- REYNOLDS JUNIOR, R.C., HOWER, J. The nature of interlayering in mixed layer illite-montmorillonite. *Clays and Clay Minerals*, v.18, p.25-36, 1970.
- SILVA, O.B. *Análise da Bacia do Solimões (Revisão litoestratigráfica, magmatismo e geoquímica)*. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 1987. 181 p. (Tese de mestrado).
- SOMMER, F. Diagenesis history of a sandstone like series in the North Sea: dating of the introduction of hydrocarbons. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, v.30, p.329-741, 1975.
- SRODON, J., EBERL, D.D. Illite. In: BAYLEY, S.W. *Reviews in mineralogy: Micas*. [s.l.]: Mineralogical Society of America, 1984, p.495-544. (Mineralogical Society of America, 13).
- SZATMARI, P. *Tectonismo da faixa de dobramentos do Juruá*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS/CENPES/DIVEX, 1983. (Relatório interno).
- THIRY, M. *Technique de preparation des mineraux argileux en vue de l'analyse aux rayons X*. Strasbourg: Centre de Sédimentologie et Géochimie de La Surface, 1974. 25 p.
- TSUBONE, K., NETO, A.F.A., BRAZIL, I. Tectonics and sedimentation of Solimões Basin, Northern Brazil. In: GONDWANA SIMPOSIUM, 7, 1988. *Anais...* [s.l.]: [s.n.], 1988.
- WILSON, M.D., PITTMAN, E.D. Authigenic clays in sandstones: recognition and influence on reservoir properties and palaeoenvironmental analysis. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.47, p.3-31, 1977.

EXPANDED ABSTRACT

Diagenetic illites separated from Solimões Basin sandstone reservoir samples were dated radiometrically by the potassium/argon (K/Ar) method. The K/Ar age of the illite provides an estimate of the period in which this mineral

formed. The development of diagenetic illite and hydrocarbon migration are interlinked events in the diagenetic evolution of rocks. Since illite growth ceases when hydrocarbon totally fills in rock pores, K/Ar dating can

indirectly tell us when hydrocarbon entered the rock.

Subarkosic sandstone samples from Solimões Basin reservoirs were removed from core

samples from wells 1-RUC-1-AM (reservoirs 6, 7A, and of the Itaituba Formation) and 1-LUC-1-AM (reservoir 10 of the Curuá Formation). These wells were chosen because the oil-bearing reservoirs are located outside the zone of thermal influence of diabase sills and, further, in light of prior indications of the presence of diagenetic illite.

In order to characterize the diagenetic illite, the samples were studied petrographically as well as by X-ray diffractometry and with a scanning electron microscope.

The illite was mechanically separated through successive processes of ultrasonic

disaggregation, concentration, and granulometric separation by centrifuging and pipetting. This series of processes was repeated several times to extract the greatest possible quantity of argillaceous material from the sandstones and thus assure that the various granulometric fractions of clays obtained (including fractions smaller than 0.1 micra) would be sufficient for K/Ar dating.

Conventional K/Ar dating reveals that coarser fractions containing illite are older than finer fractions, the latter being the latest to form. The K/Ar age of the finest separable fraction should thus indicate the end of the diagenetic process.

The finest samples from reservoirs R6, R7B, and R10 (in this case, $0.1 < FF < 0.5$ micra) were found to display a K/Ar age of approximately 200 m.y., which indicates the period when diagenetic processes reached their final phase in this area.

In reservoir 7A, the finest fraction is younger, having a K/Ar age of around 150 m.y. . One possible explanation for this difference is that the stratigraphic isolation of reservoir 7B may have permitted the diagenetic process to continue there for 50 m.y. longer than in other reservoirs. Pressure data show that the reservoirs are independent of each other.

