

PROGRAMA BRASIL-ALEMANHA (PROBRAL) - DAAD/CAPES

Projeto: "Mineralogia aplicada a impactos ambientais e depósitos minerais na Amazônia"

Cooperação científica entre as instituições:
Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, Brasil e
Institut für Geologische Wissenschaften, Halle Universität, Alemanha.

Coordenadores:
Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, CG-UFGPA, Brasil
Prof. Dr. Dr. H. Pöllmann, Halle, Alemanha.



ANÁLISES MINERALÓGICAS AVANÇADAS EM ZEOLITAS SEDIMENTARES DA BACIA DO PARNAÍBA

— RELATÓRIO DE VIAGEM À ALEMANHA —

por

Rômulo Simões Angélica

Geólogo da CPRM-Belém

Belém, março de 1997

Sumário

	pag.
1. INTRODUÇÃO	02
2. OBJETIVOS DA VIAGEM	02
3. RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	03
4. RESULTADOS OBTIDOS NO TRATAMENTO DE ZEOLITAS SEDIMENTARES DA BACIA DO PARNAÍBA	03
4.1 Revisão sobre a ocorrência e estudos previamente realizados	03
4.2 Separação do material	04
4.3 Fotografias com lupa binocular e microscópio petrográfico	04
4.4 Difração de raios X em amostras monominerálicas	05
4.5 Análises Termo-Diferencial (ATD) e Termo-Gravimétrica (ATG)	06
4.6 Análises Químicas e Mineralógicas de detalhe com Microscopia Eletrônica de Varredura e Sistema de Energia Dispersiva (MEV-SED)	07
4.7 Análises por Catodoluminescência	08
4.8 Conclusões e Sugestões	08
5. AGRADECIMENTOS	09
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10

Anexos - Pranchas Fotográficas I, II, III, IV e V

1. INTRODUÇÃO

No período compreendido entre abril de 1993 e setembro de 1994, o autor do presente relatório foi bolsista do Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico - DAAD, na Alemanha, realizando parte do seu trabalho de doutorado na Universidade de Erlangen-Nürnberg, sob a orientação do Prof. Dr. Herbert Pöllmann. A orientação, pelo lado brasileiro, coube ao Prof. Dr. Marcondes Lima da Costa, sendo o trabalho concluído em 20 de março de 1996, no Curso de Pós-Graduação em Geociências - CPGG, da Universidade Federal do Pará.

Ao final da estada na Alemanha, e como fruto dessa cooperação bilateral, foi aprovado o Projeto: "*Mineralogia aplicada a impactos ambientais e depósitos minerais na Amazônia*", dentro do Programa Brasil-Alemanha - PROBRAL, do DAAD-CAPES. A partir do final de 1994, o Prof. Pöllmann transferiu-se para Universidade de Halle-Wittenberg, dando continuidade ao projeto, agora entre essa instituição e a UFPA.

Este relatório apresenta os resultados de uma visita técnica ao *Institut für Geologische Wissenschaften* da Universidade de Halle-Wittenberg, dentro do projeto supramencionado, realizada no período de 17 de outubro a 24 de novembro de 1996.

Todas as despesas referentes a passagens aéreas e diárias foram custeadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, sendo este técnico liberado, no referido período, das suas funções como geólogo da CPRM, segundo autorização do Exmo. Sr. Ministro das Minas e Energia, Dr. Raimundo Brito, em despacho datado de 17/09/96 e publicado no Diário Oficial da União de 18/09/96, seção II, pag. 6871.

2. OBJETIVOS DA VIAGEM

- Realizar análises químicas e mineralógicas de detalhe em zeolitas sedimentares provenientes da Bacia do Maranhão, nos laboratórios do *Institut für Geologische Wissenschaften* da Universidade de Halle-Wittenberg, sob a orientação do Prof. Dr. Herbert Pöllmann.
- Conhecer as instalações e instrumental analítico daquele Instituto, bem como fazer contatos e estreitar o intercâmbio com o grupo de pesquisa do Prof. Pöllmann, visando a discussão de abordagens metodológicas e *softwares* na área de mineralogia aplicada.

No retorno ao Brasil, foi reservada uma semana para uma série de visitas técnicas, incluindo: o Escritório da CPRM, no Rio de Janeiro; Laboratórios da SUTEC-CVRD (Superintendência de Desenvolvimento Tecnológico da Companhia Vale do Rio Doce), em Belo Horizonte; Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO-UFOP), em Ouro Preto, além de algumas minas ou ocorrências minerais em Minas Gerais.

3. RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

01/11/96 - Visita à Feira de Minerais de Munique - GEOFA

06/11/96 - Visita à Firma Oxford - Divisão de Pesquisa Científica, em Wiesbaden, que desenvolve e comercializa equipamentos de micro-análise. Nesta visita, o Prof. Marcondes Costa manteve contatos visando a aquisição de um Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV para o Centro de Geociências da UFPa. Na oportunidade foram realizadas algumas análises por MEV nas zeolitas sedimentares e que serão apresentadas neste relatório.

07/11/96 - Visita à Fundação Alexander von Humboldt, em Bonn. Contato com o Dr. Heinrich Pfeiffer, ex-secretário geral desta Instituição. O Dr. Pfeiffer esteve em Belém em maio de 1996, prestando consultoria para a CAPES, na avaliação de projetos em convênios bilaterais com a Alemanha.

09/11/96 - Contato com o Dr. Hermann Behling, em Göttingen e Bremen. O Dr. Behling trabalha, atualmente, no Departamento de Palinologia e Paleo/actuo-ecologia da Universidade de Amsterdam, Holanda. Os seus trabalhos de pesquisa envolvem temas relacionados a variações climáticas/ambientais do Quaternário, com ênfase para a região Amazônica, além de sedimentologia recente e intemperismo.

15/11/96 - Visita à firma Ambergerkaolinwerke - AKW, em Amberg. Palestra do Prof. Pöllmann sobre o método de Rietveld, que tem como principal objetivo a quantificação de fases minerais através da Difração de raios X. O Prof. Pöllmann mostrou exemplos da quantificação de misturas de caulim + quartzo e caulim + quartzo + goethita em amostras de caulim do Brasil. Estudos dessa natureza devem ser realizados com o minério zeolítico do Brasil.

Outros - Contato com o Dr. Andreas Schmidt-Munn, do Departamento de Petrologia e Depósitos Minerais da Universidade de Halle, responsável pela parte do estudo de inclusões fluidas e catodoluminescência desse departamento. O Dr. Schmidt-Munn trabalha com mineralizações de ouro epigenético em Ghana, na África, e está interessado em correlações com o Brasil, especialmente com as seqüências vulcano-sedimentares do Amapá e cráton São Luís, onde trabalham os geólogos Telma Faraco e Evandro Klein, da CPRM-Belém.

4. RESULTADOS OBTIDOS NO TRATAMENTO DE ZEOLITAS SEDIMENTARES DA BACIA DO PARNAÍBA

4.1 Revisão sobre a ocorrência e estudos previamente realizados

As zeolitas sedimentares objeto deste estudo ocorrem na forma de cimento em arenitos flúvio-lacustres e eólicos da Formação Corda, Mesozóico da Bacia do Parnaíba, no Estado do Maranhão. A descoberta deu-se por geólogos da CPRM, durante trabalhos de campo do projeto “Argilas Nobres na Bacia do Parnaíba” (Rezende, 1995).

Os trabalhos realizados pela CPRM estão principalmente relacionados à cartografia geológica da ocorrência, estudos de petrografia sedimentar e ambientes de sedimentação, bem como estudos mineralógicos e geoquímicos em amostra total dos arenitos da Formação Corda, envolvendo análises por difração de raios X e análises térmica diferencial e termo-gravimétrica (laboratórios da UFPA), análises químicas para elementos maiores (Geosol-Geolab) e algumas análises por Microsonda Eletrônica nos laboratórios da SUTEC-CVRD. Esses resultados foram apresentados por Angélica et al. (1995), Rezende & Angélica (1995 a e b) e Rezende et al. (1996).

Para este trabalho na Alemanha, foram realizados estudos de detalhe apenas na fase zeolítica, visando uma caracterização mineralógica e geoquímica segura para estudos posteriores de aproveitamento tecnológico.

4.2 Separação do material e fotografias com lupa binocular

O material trabalhado é proveniente de uma estação de amostragem do projeto Argilas Nobres, ponto NR-1003-E (rio Campo Alegre), coordenadas geográficas 05°49'39''S e 47°21'29''W. São arenitos finos a grosseiros de fácies fluvial com cimento zeolítico.

Esses arenitos são, via de regra, bastante friáveis e de fácil desagregação com gral de ágata. Um processo simples de pré-concentração com métodos gravimétricos/mesas vibratórias, possibilitou uma separação do arenito desagregado em duas fases, uma mais rica em quartzo e outra em zeolitas. No entanto, a obtenção de amostras de concentrados puros para as análises químicas e mineralógicas só foi obtida através de catação manual, sob a lupa binocular.

Na prancha I são apresentadas algumas fotografias sob a lupa binocular, do material pré-concentrado com grãos de quartzo (fotos Ia e Ib) e da fase zeolítica pura (fotos Ic e Id), após catação manual. Observa-se que os grãos de quartzo apresentam uma coloração marrom-avermelhada característica, devido a uma película/*coating* de óxidos-hidróxidos de ferro. Como as zeolitas constituem um cimento envolvendo esses grãos, observou-se que, durante a desagregação, parte dessas películas ferruginosas mantinham-se aderidas às zeolitas (foto Id), sendo de difícil separação manual. Na foto Ib observa-se ainda porções do arenito que não foram desagregadas, durante a trituração/moagem, gerando falsa granulometria. O material preto que serviu de escala para essas fotos é um pedaço de grafite 0,5 mm de diâmetro.

4.3 Petrografia

Os estudos petrográficos foram iniciados na CPRM-Belém, sendo realizado apenas um refinamento dos mesmos na Alemanha, aproveitando-se a oportunidade para a tomada de diferentes fotomicrografias. Doze lâminas delgadas foram descritas, envolvendo diferentes fácies dos arenitos da Formação Corda, cuja descrição a seguir, enfatiza apenas as zeolitas.

Os arenitos da Formação Corda variam de fácies bastante finos a grosseiros, até micro-conglomeráticos e são constituídos, essencialmente, de grãos de quartzo sub-angulosos a sub-arredondados, cimentados por zeolitas (Prancha II).

As zeolitas constituem um cimento de coloração esbranquiçada, envolvendo os grãos de quartzo, de brilho sedoso a vítreo, em massas anédricas, transparentes a translúcidas (fotos Id, Ila e I Ib). Macroscopicamente, foram descritos raros cristais milimétricos de hábitos aciculares ou prismáticos, bem definidos, onde ao microscópio petrográfico, assemelham-se a feixes de cristais tabulares, sub-paralelos (fotos I Ic e I Id) que podem ser confundidos com o maclamento dos feldspatos. A principal propriedade para esta caracterização é o relevo, já que as zeolitas

apresentam um índice de refração de 1,50, bem mais baixo do que o do quartzo (1,54) em relação aos K-feldspatos (1,52-1,53). Descrevem essas rochas, assim, uma textura poiquilotópica característica, onde os grãos de quartzo, aparentemente, flutuam no fundo matricial zeolítico de baixo relevo. Essa diferença de relevo é ainda reforçada pela película ferruginosa nos grãos de quartzo, como apresentado na prancha III (fotos IIIa e IIIb). Fácies com cimento carbonático em substituição às zeolitas também foram descritos (foto IIIc), além de fragmentos detríticos de basaltos e K-feldspatos (foto IIIId).

4.4 Difração de raios X em amostras monominerálicas

As análises por Difração de raios X foram realizadas em difratômetro Siemens D-5000 automatizado, com condições de operação de 35 kV, 20 mA e radiação $\text{CuK}\alpha_1$ (1,5405 Å) cujos resultados (difratogramas) são apresentados em forma digital, para tratamento e interpretação com *softwares* específicos. Os estudos foram realizados em quantidades mínimas (menos de 1 mg) dos grãos de zeolitas isolados (método do pó), com 2θ variando de 5-65°, em steps de 0,02°. A identificação mineralógica nas fichas do JCPDS foi efetuada através do sistema Diffrac-At, também da Siemens.

A zeolita identificada foi a **estilbita**, onde o padrão que mais se aproxima das amostras estudadas é o JCPDS (26-0584), de composição $\text{Ca}_{1,5}\text{Na}_{0,32}(\text{Si},\text{Al})_9\text{O}_{18,8,5}\text{H}_2\text{O}$. O difratograma e algumas reflexões mais intensas estão apresentados na figura 1.

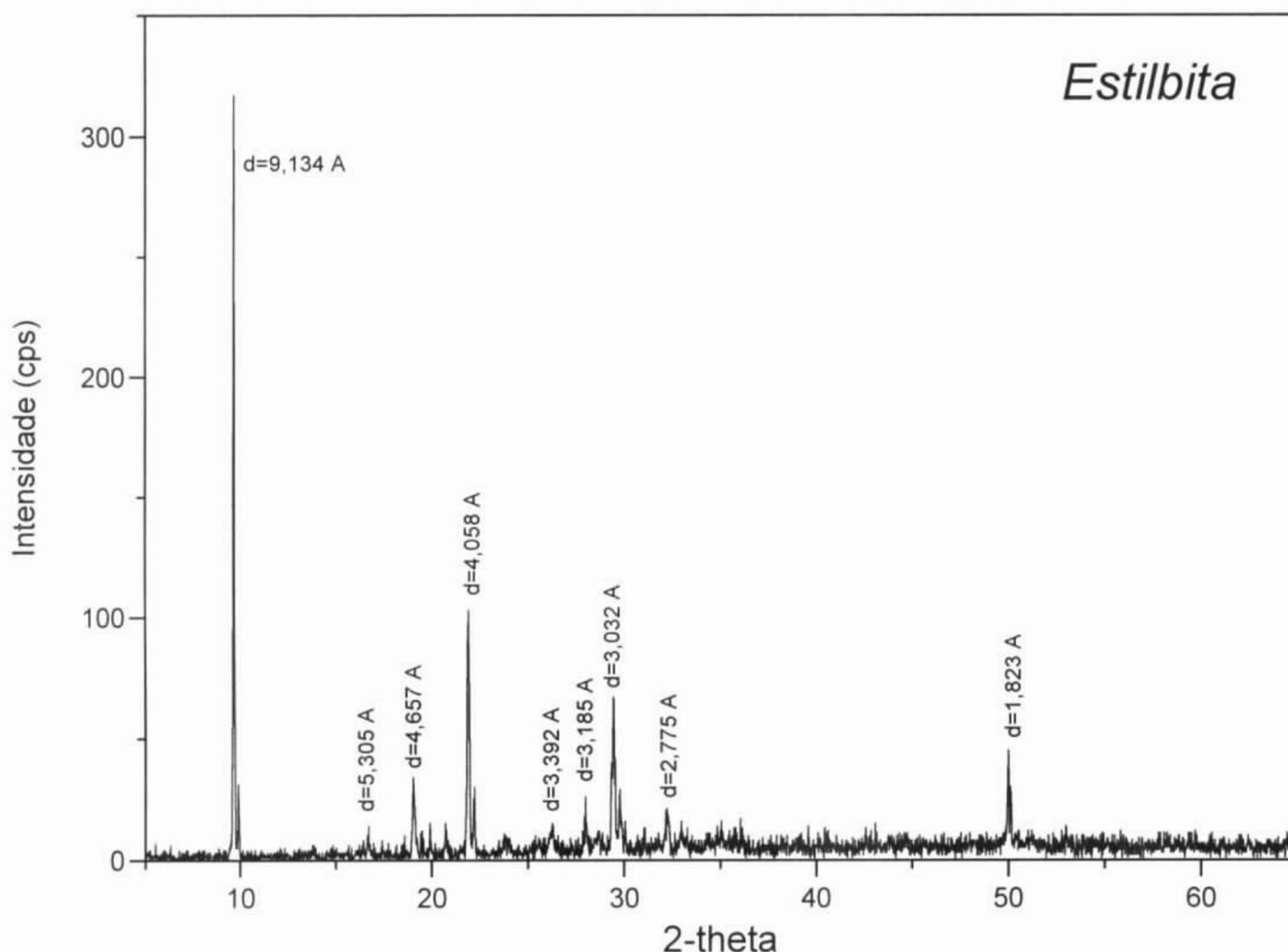


Figura 1 - Espectro da difração de raios X e algumas reflexões mais intensas da estilbita estudada.

É importante destacar, que em amostras de outros pontos de ocorrência de arenito zeolítico, foram descritos traços de **laumontita** ($\text{Ca}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) \cdot 16\text{H}_2\text{O}$), também por difração de raios X.

4.5 Análises Termo-Diferencial (ATD) e Termo-Gravimétrica (ATG)

Essas análises foram realizadas em equipamento SEIKO TG/DTA 220, com faixa de variação de temperatura de 25° a 1200°C e taxa de aquecimento de 10°C/min. A quantidade inicial de amostra utilizada foi de 5,72 mg. Os resultados obtidos estão apresentados no gráfico da figura 2, onde a análise das curvas de ATD e ATG revela dois pontos importantes de inflexão, correspondendo a perda de H₂O nas seguintes temperaturas:

- 7,0% de H₂O a 114°C e
- 8,9% de H₂O a 166°C.

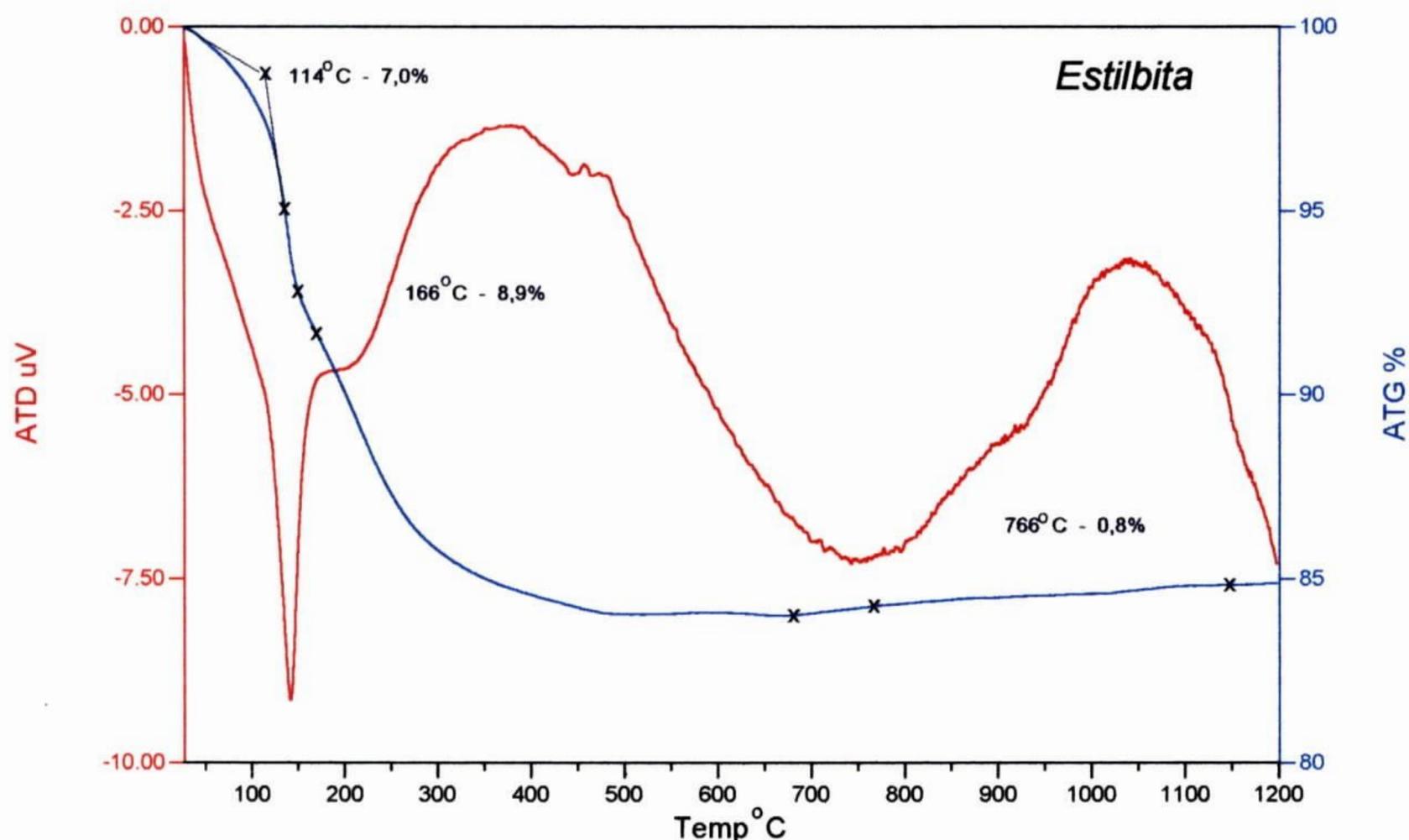


Figura 2 - Diagramas de ATD e ATG da estilbita estudada.

Com esses resultados, pode-se fazer as seguintes conclusões preliminares:

- O teor total de H₂O da estilbita estudada é de 15,9%, que será utilizado para recalculas as análises químicas realizadas e que serão apresentadas no próximo item.
- Os dois *steps* de perda de H₂O podem ser interpretados como: (a) os primeiros 7% estando relacionados a H₂O nos canais ou vazios da estrutura da estilbita, e (b) os 8,9% restantes estariam na estrutura cristalina do mineral e seriam “perdidos” a uma temperatura mais elevada.

Um outro fato interessante observado nos diagramas da figura 2 é um aparente ganho de massa de 0,8% que ocorre a 766°C, onde provavelmente a estrutura da estilbita já sofreu colapso e uma nova fase mineral pode ter se formado.

Como descrito na introdução deste trabalho, todas essas análises foram conduzidas em amostras monominerálicas. Uma avaliação do conteúdo de zeolitas em amostra total foi realizado pelo Serviço Geológico Britânico (BGS), em amostras do mesmo ponto 1003-E, aqui estudado. Essa avaliação foi feita por análise termogravimétrica, chegando a um valor de aproximadamente **18% de conteúdo zeolítico**, cujos resultados estão publicados em um relatório interno do BGS enviado à CPRM-Belém em novembro de 1996 (Inglethorpe et al., 1996).

4.6 Análises Químicas e Mineralógicas por ICP-AES e Microscopia Eletrônica de Varredura com Sistema de Energia Dispersiva (MEV-SED)

Análise química total, incluindo alguns elementos-traço, foi realizada por ICP-AES em espectrômetro CARL-ZEISS-JENA e está apresentada na tabela 1. Para a abertura, foi utilizada 31,7 g de zeolita pura e dissolvida com HCL 37% durante três dias. Como a amostra não abriu completamente, o resíduo foi atacado com HF/HClO₄, desta feita, impossibilitando a análise da sílica, que será realizada posteriormente, por outros métodos.

Tabela 1 - Análise química total (em %) e elementos-traço realizada (em ppm) por ICP-AES e por MEV-EDS

	ICP-AES	EDS (a)		EDS (b)		Deer et al. ¹ (1966)
		sem H ₂ O	com H ₂ O	sem H ₂ O	com H ₂ O	
SiO ₂	n.a.	71,15	59,84	71,60	60,22	56,24
Al ₂ O ₃	13,54	19,38	16,30	17,28	14,53	17,16
CaO	5,97	8,41	7,07	10,16	8,54	8,56
Na ₂ O	0,57	0,09	0,08	0,16	0,13	tr
K ₂ O	0,53	0,96	0,81	0,80	0,67	0,32
MgO	0,16	-	-	-	-	0,40
H ₂ O	15,9*	-	15,9*	-	15,9*	17,76
Total			100,0		100,0	100,44
Ba	2208					
Cu	227					
Fe	738					
Mn	82					
Sr	134					
Zn	104					

¹ estilbita em basalto vesicular

* resultado da análise por ATD-ATG

n.a. - não analisado

tr - traços

- não detectado

Ainda na Tabela 1 são apresentados dois pontos de análise utilizando Sistema de Energia Dispersiva - SED, modelo eXLII da Link analytical ZAF4/FLS, adaptado a um Microscópio Eletrônico de Varredura - MEV, modelo STEREOSCAN 440 da Leica-Cambridge. Essas análises, assim como as fotomicrografias apresentadas na Prancha IV, foram realizadas nos

laboratórios da Firma Oxford, em Wiesbaden-Alemanha. É importante ressaltar que essas são análises/contagens eletrônicas, sem utilização de padrões, e são importantes para efeito de comparação com os resultados da análise por ICP-AES. Ressalta-se ainda, que nas análises por MEV-SED, a H₂O não é analisada, sendo utilizados os resultados de ATD-ATG e os valores finais recalculados para 100%.

De uma maneira geral, os resultados da tabela 1 revelam uma variação química nos teores dos elementos maiores da estilbita estudada, o que é, aparentemente comum para diferentes estilbitas descritas na literatura e para as zeolitas em geral (Tschernich, 1992). Apesar das variações, é nítido o domínio do CaO (5,97 a 8,54%), em detrimento do Na₂O (0,08 a 0,57%) e K₂O (0,53 a 0,81%). Esses resultados se aproximam daquele apresentado por Deer et al. (1966), na Tabela 1, para estilbitas em basaltos. Na análise por ICP-AES foi detectado ainda 0,16% de MgO, que não foi registrado nas análises por MEV-EDS.

Dos resultados de elementos-traço, destacam-se os teores relativamente elevados de Ba (2208 ppm), que assim como o Sr (134 ppm), é sabido substituírem diadoquicamente o Ca. Os teores também relativamente elevados de Fe (738 ppm), assim como Cu (227 ppm), Mn (82 ppm) e Zn (104 ppm), não devem estar relacionados à estrutura da estilbita, e sim à contaminação pelas películas ferruginosas descritas anteriormente e mostradas na Prancha I (fotos Ic e Id).

Na prancha IV são apresentadas algumas fotografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura, ressaltando os diferentes aspectos texturais da estilbita, destacando cristais prismáticos/tabulares (fotos A,B,C e D) e aspectos maciços, envolvendo grãos de quartzo (fotos E,F,G e H).

4.7 Análises por Catodoluminescência - CL

Em algumas lâminas petrográficas sem cobertura (lamínula) foram realizadas análises por catodoluminescência-CL, cujas fotografias mais representativas estão apresentadas na Prancha V. Nesta, os pares de fotos A-B e C-D representam fotografias à luz natural (A e C) e sob o efeito da catodoluminescência (B e D). A principal contribuição deste método, quando aplicado a rochas sedimentares, está relacionado ao estudo de proveniência/áreas-fonte. É assim que, sob o efeito da CL, os grãos de quartzo dos arenitos da Formação Corda apresentam colorações diferentes (em função de defeitos na estrutura cristalina do mineral), e que podem indicar a presença de grãos derivados de: rochas de alta temperatura (cor violeta), baixo grau metamórfico (marrom), quartzo autigênico (sem luminescência) (Gomes & Vortisch, 1991). Nas fotografias, é interessante notar que a matriz zeolítica também apresenta pontuações luminescentes e que podem estar relacionadas a elementos denominados como ativadores, na estrutura desses minerais, responsáveis pelo efeito da CL.

4.8 Conclusões e Recomendações

Acredita-se que, com os resultados aqui apresentados, muito se tenha avançado em termos da caracterização mineralógica e química das zeolitas sedimentares do Maranhão, que servirão de base para o passo seguinte na investigação desse material, que são estudos de separação/caracterização tecnológica e aproveitamento industrial. No entanto, em havendo esta continuidade, é inevitável o questionamento em relação à economicidade desse jazimento, que justifique novos investimentos nesta área. Apesar de não ser objetivo deste trabalho, nem haver

dados nesse sentido, algumas sugestões ou recomendações serão apresentadas, baseadas tanto nos resultados obtidos, como em informações gerais obtidas na literatura:

- Em relação aos processos de desagregação e separação/beneficiamento: esse arenito mostrou-se relativamente fácil de desagregar e concentrar, através de moagem e processos gravimétricos. Recomenda-se a continuação desses trabalhos e que envolvam ensaios granulométricos e eventualmente, a nível de uma planta-piloto, em laboratório;

- Em relação ao tipo de zeolita descrita, a estilbita, não foi encontrada referência de aplicações deste mineral. Ressalta-se, entretanto, que igualmente não há referências a grandes jazimentos de estilbita, o que pode responder pela inexistência de pesquisas quanto a sua aplicação. As zeolitas naturais mais utilizadas, comumente descritas, são a clinoptilolita, laumontita, erionita, mordenita, chabazita, que apresentam características ou propriedades estruturais, como grau de desidratação, capacidade de troca catiônica e de adsorção de gases e vapores, volume de vazios, etc., melhores que a estilbita;

- Em relação ao teor, o conteúdo de 18% nos arenitos é muito baixo — apesar de ser o resultado obtido em apenas uma amostra ou representativa de apenas uma estação de amostragem — em comparação com jazimentos derivados da alteração de tufos vulcânicos, como os de Cuba, e que constituem verdadeiros zeolitos, com teores de 70-90% de zeolitas;

- Em relação as zeolitas sintéticas, segundo Luz (1994), em termos de mercado, é patente a preferência pelas zeolitas sintéticas em relação as naturais pelo fato de serem monominerálicas, por apresentarem um único tipo de cation com capacidade de troca catiônica prevista, apresentar poucas impurezas e poros, assim como por apresentarem canais e cavidades com dimensões pré-estabelecidas. As sintéticas tem aplicações mais nobres e específicas, em termos industriais, enquanto as naturais já são utilizadas em campos de aplicação como a agricultura. Vale ressaltar ainda, que as sintéticas chegam a ser quatro vezes mais caras que os seus análogos naturais.

- Recomenda-se ainda estudos de laboratórios, que envolvam, capacidade de troca catiônica, capacidade de adsorção de gases, superfície específica, volume de vazios, dentre outros, além de estudos de aplicação desse material (por ex., para fins agrônômicos), que podem ser feitos “in natura” ou na fase zeolítica pura.

6. AGRADECIMENTOS

A estada na Alemanha para a realização desse trabalho se tornou possível graças ao apoio financeiro do Programa PROBIAL, do DAAD/CAPES, através do projeto nº 011/94 "*Mineralogia aplicada a impactos ambientais e depósitos minerais na Amazônia*". O autor é grato à CPRM pela liberação no período de permanência na Alemanha, em especial ao Dr. Samir Nahass, Chefe da ASSUNI, pelo seu empenho durante o trâmite burocrático do pedido de afastamento do país, junto ao MME, e pela valorosa recepção durante a nossa visita ao ERJ no dia 18 de novembro de 1996. Ao geólogo Nélio G. A. M. Rezende, chefe do Projeto Argilas Nobres e grande responsável pela descoberta das zeolitas sedimentares da Bacia do Parnaíba, por todo apoio e incentivo para a realização desse trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angélica, R.S., Rezende, N.G.A.M., Costa, M.L., Pöllmann, H. 1995. Estudos mineralógicos e geoquímicos preliminares da ocorrência de zeolitas em sedimentos mesozóicos da bacia do Parnaíba, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOQUIM., 5, Niterói, 1995. *Resumos Expandidos...* Niterói, SBGq (em CD-ROM).
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. 1966. Introduction to the rock-forming minerals. Longmans, Londres, 528 p.
- Gomes, N.S. & Vortisch, W. 1991. Catodoluminescência: Breve retrospectiva da técnica e exemplos de sua aplicação ao estudo de rochas sedimentares. R. Esc. Minas Ouro Preto, 44(1): 16-27.
- Inglethorpe, S.D.J., Evans, E.J., Mitchell, C.J. 1996. Mineral Processing of a zeolite-bearing sandstone from the Parnaíba Basin, Brazil: Interim Report. British Geological Survey, Mineralogy & Petrology Group. Short Report Series, MPSR/96/51C, 18p.
- Luz, A.B. 1994. Zeólitas: propriedades e usos industriais. Série Tecnologia Mineral, 68, MCT-CNPq-CETEM, 37 p.
- Rezende, N.G.A.M. 1995. Projeto Argilas Nobres na Bacia do Parnaíba. Relatório Anual - 1995. Inédito. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM/ Recife.
- Rezende, N.G.A.M. & Angélica, R.S. 1995a. Zeolitas naturais em rochas sedimentares na Bacia do Parnaíba, nordeste do Brasil. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 16, Recife, 1995. *Resumos expandidos...* Recife, SBG/NE, p. 216-219.
- Rezende, N.G.A.M. and Angélica, R.S. 1995b. Zeolitas autigênicas em sedimentos mesozóicos da América do Sul, Bacia do Parnaíba, nordeste do Brasil. IX Congresso Latinoamericano de Geologia, Caracas, Venezuela, 5 a 8 de novembro de 1995 (Anais em Disquetes).
- Rezende, N.G.A.M., Angélica, R.S., Costa, M.L., Pöllmann, H. 1996. Aspectos mineralógicos e geoquímicos das ocorrências de zeolitas sedimentares na Bacia do Parnaíba. In: SIMP. GEOL. AMAZ., 5, Belém, 1995. *Resumos expandidos...* Belém, SBG/NO. p. 177-180
- Tschernich, R.W. 1992. Zeolites of the world. Geoscience Press, inc. Phoenix, 563 p.

Prancha I

Prancha I

Diferentes fotografias sob a lupa binocular:

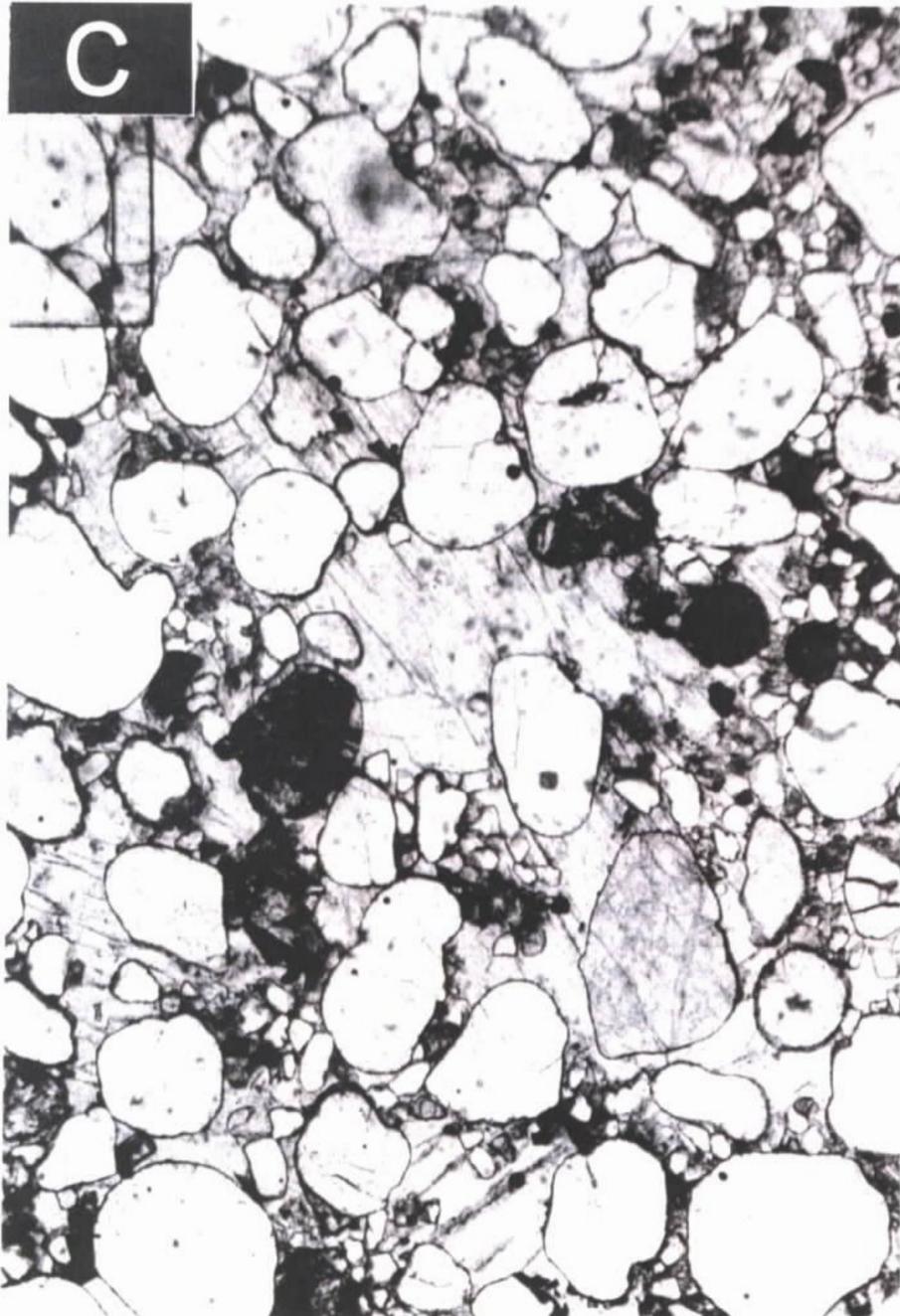
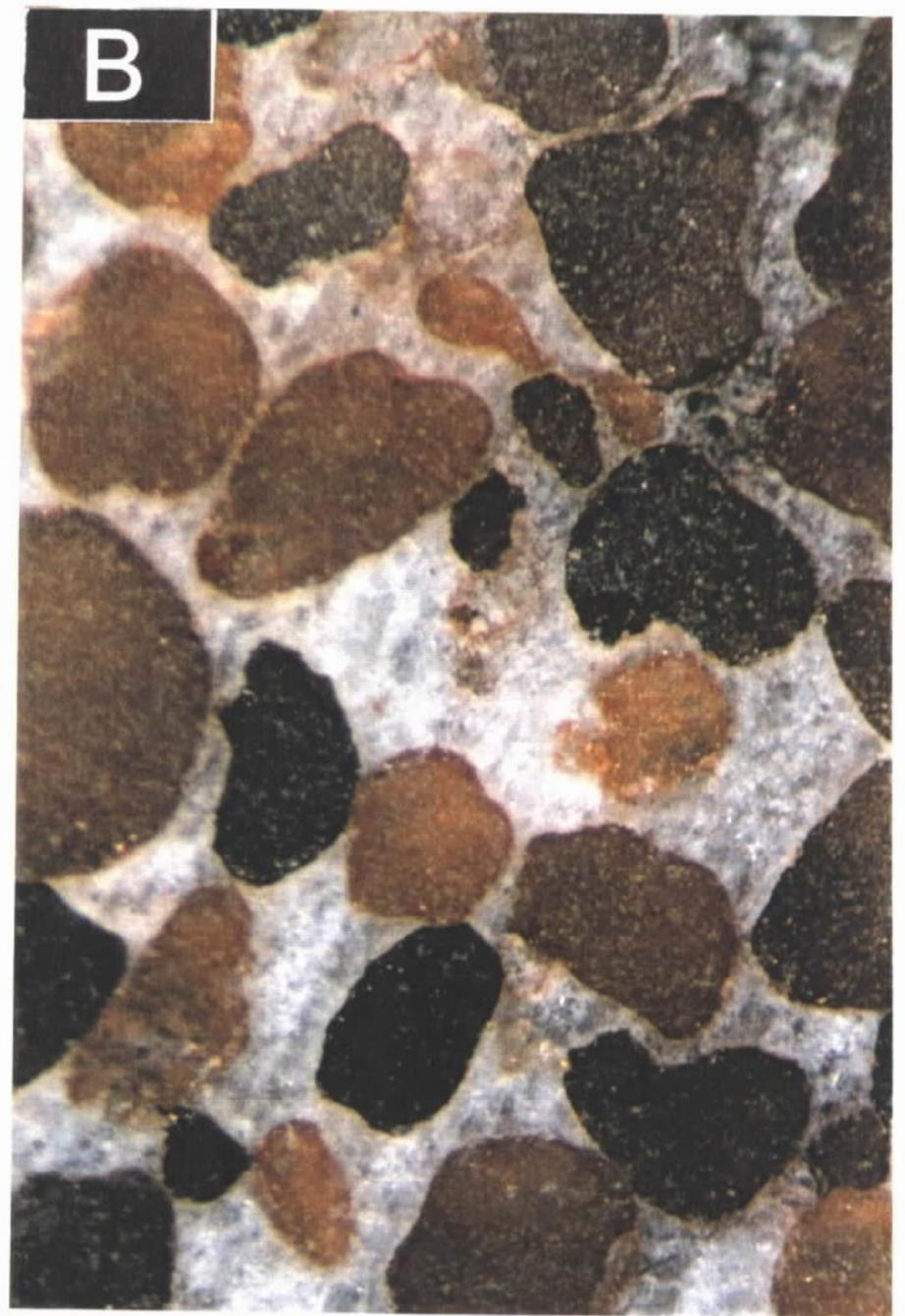
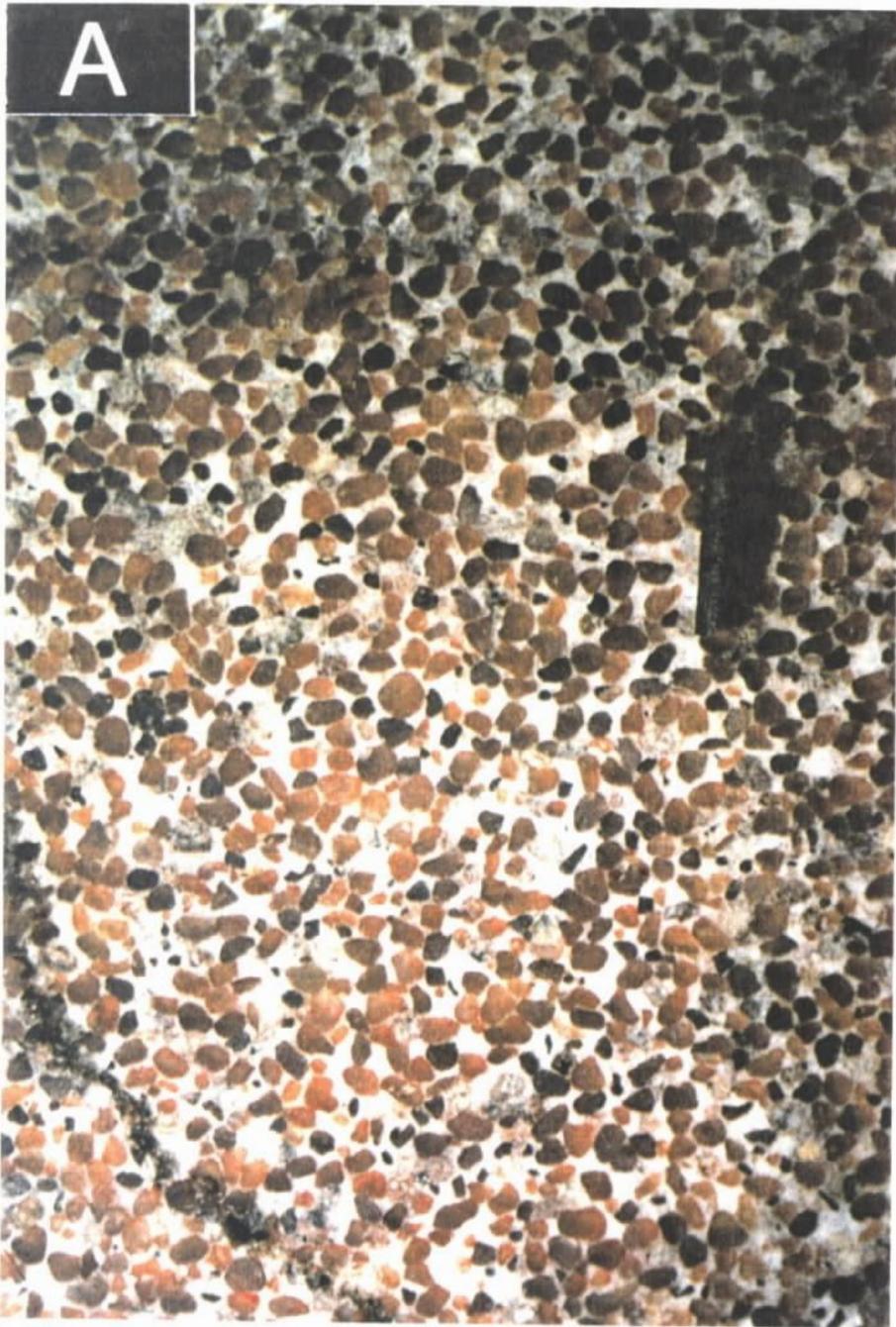
- (A) Arenito da formação Corda desagregado, constituído por grãos de quartzo envolvidos por películas de óxidos de ferro (vermelho) + fase zeolítica (branco).
- (B) Detalhe da figura anterior, mostrando porções do arenito que não foram desagregadas, gerando falsa granulometria.
- (C) Fase zeolítica, sem os grãos de quartzo, após catação manual.
- (D) Detalhe da foto anterior, destacando parte das películas ferruginosas dos grãos de quartzo que se mantém, em parte, aderidas as zeolitas. O material preto que serviu de escala para essas fotos é um pedaço de grafite 0,5 mm.



Prancha II

Prancha II

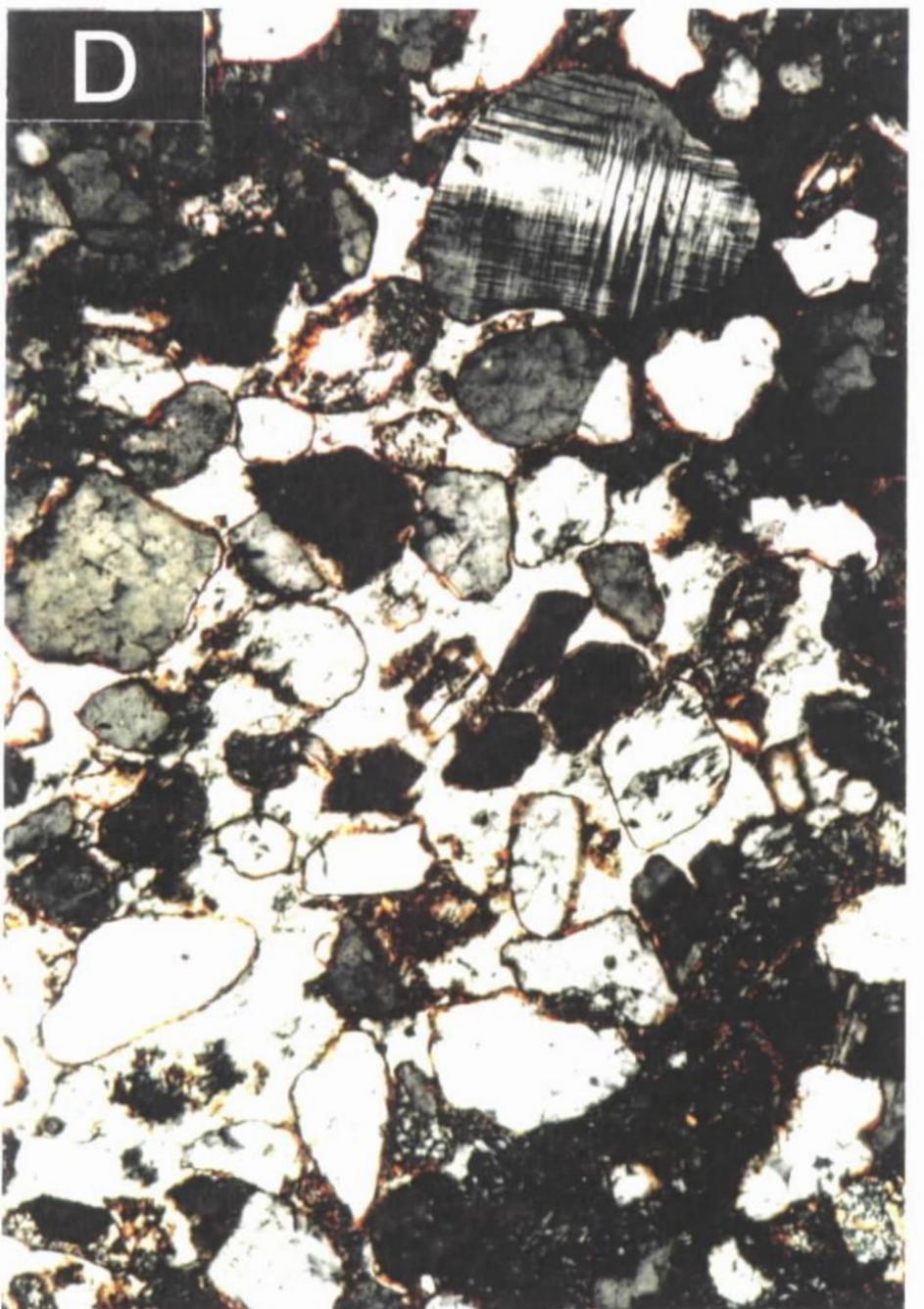
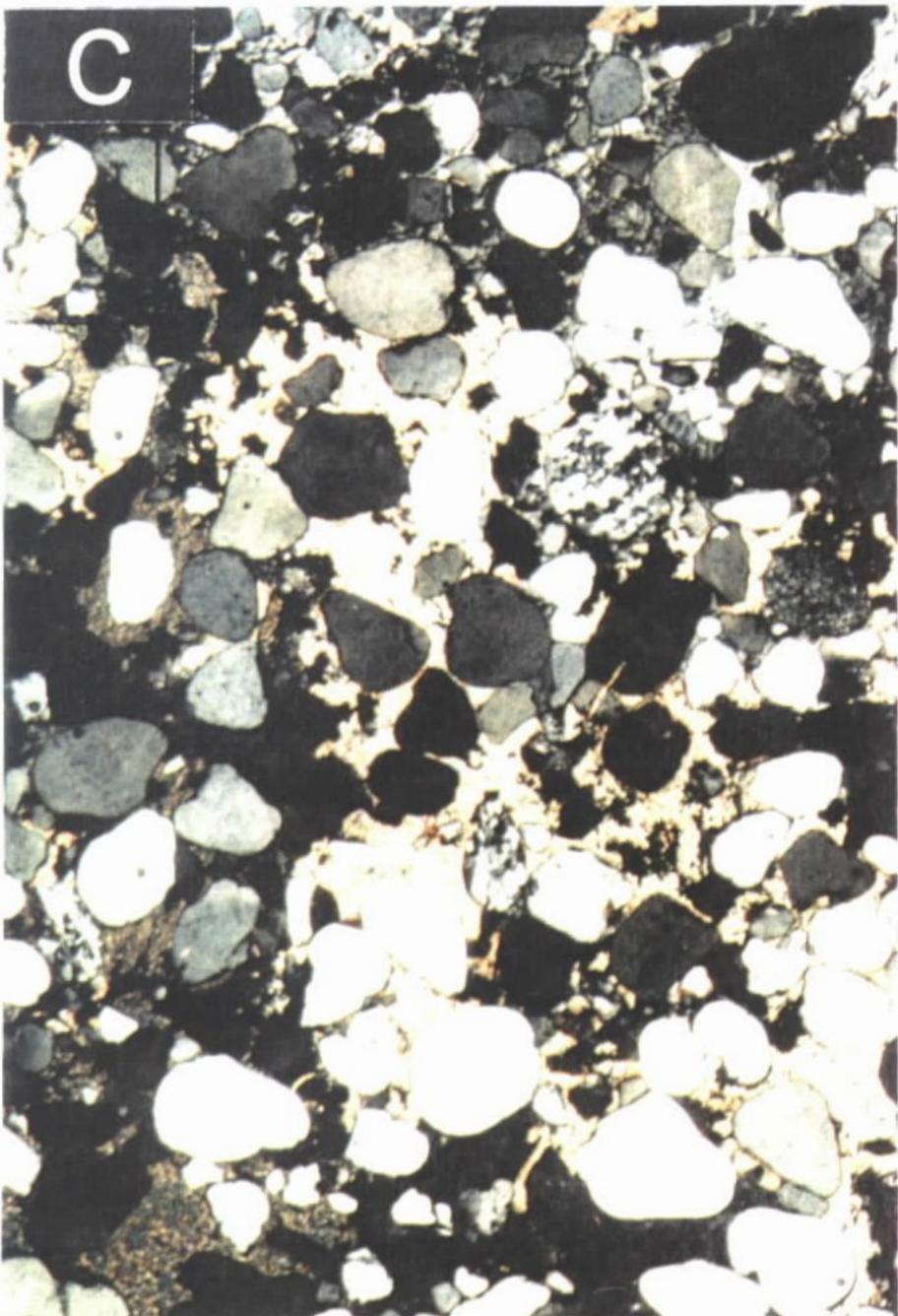
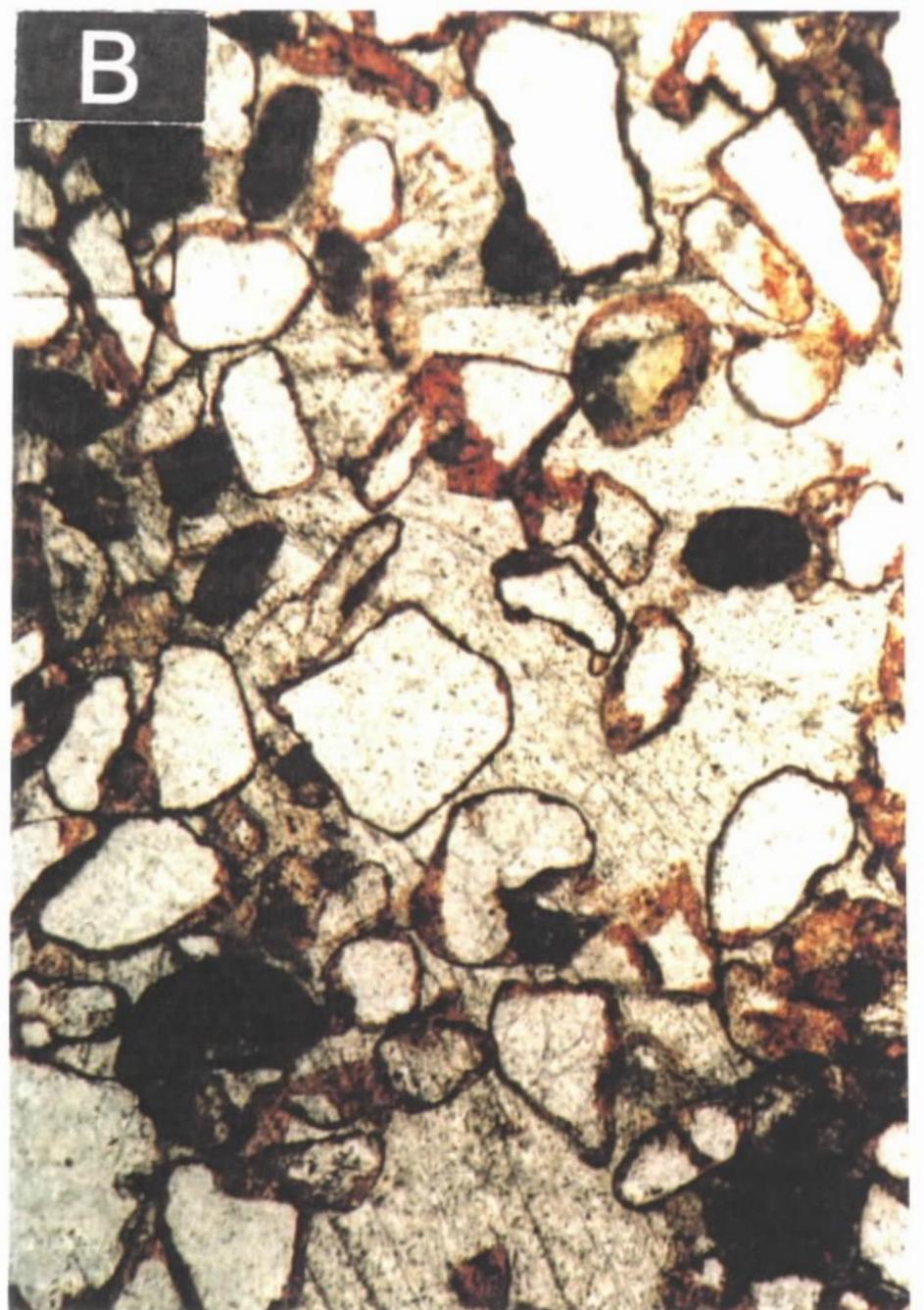
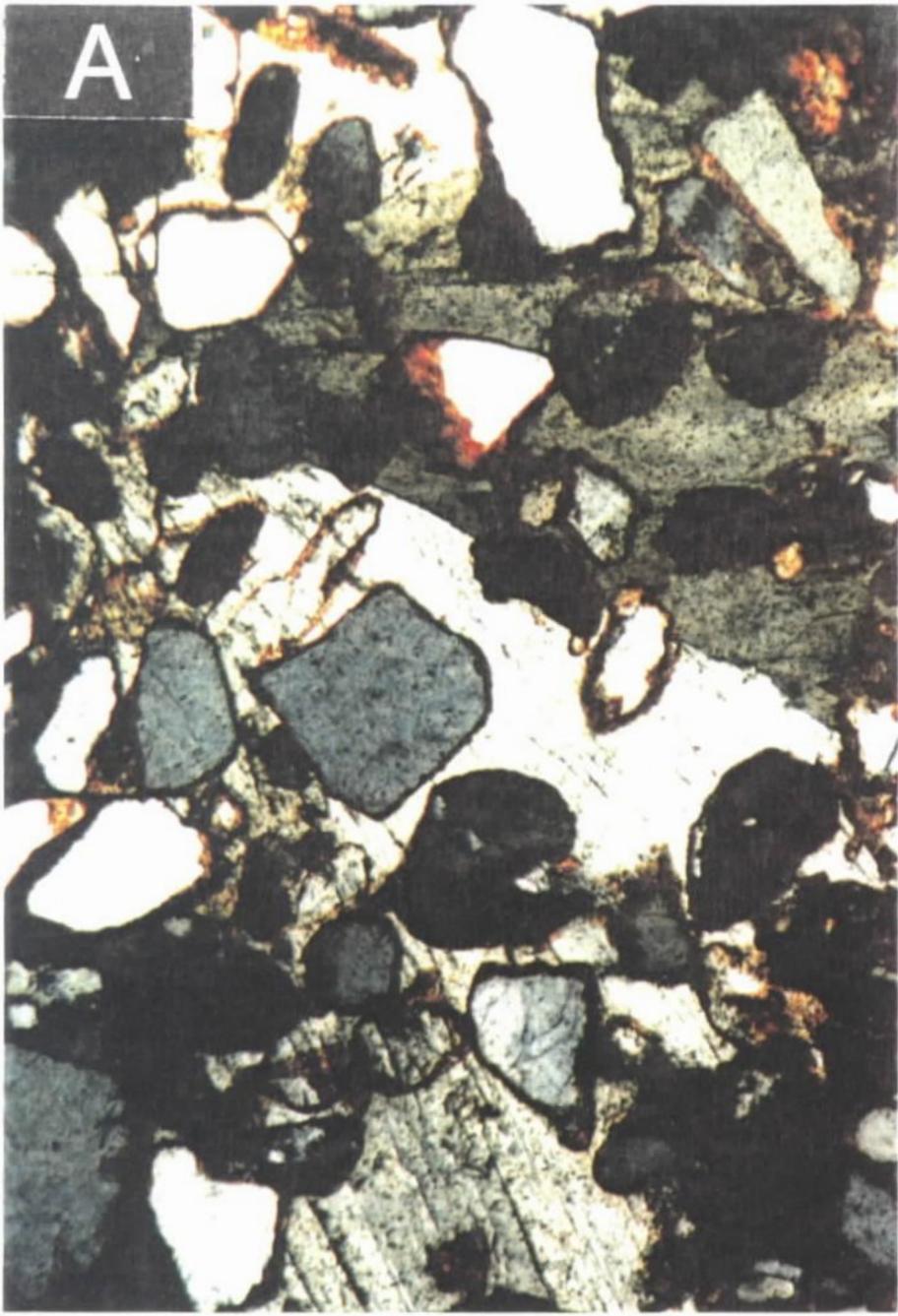
- (A) Seção polida de arenito da Formação Corda sob a lupa binocular, onde as zeolitas constituem um cimento de coloração esbranquiçada, de brilho sedoso a vítreo, em massas anédricas, transparentes a translúcidas envolvendo os grãos de quartzo sub-angulosos a sub-arredondados.
- (B) Detalhe da figura anterior.
- (C) Fotografia ao microscópio petrográfico, sob luz natural, destacando cristais de estilbita de hábitos aciculares, assemelhando-se a feixes tabulares, sub-paralelos, constituindo um fundo matricial de baixo relevo em relação aos grãos de quartzo.
- (D) Detalhe da figura anterior.



Prancha III

Prancha III

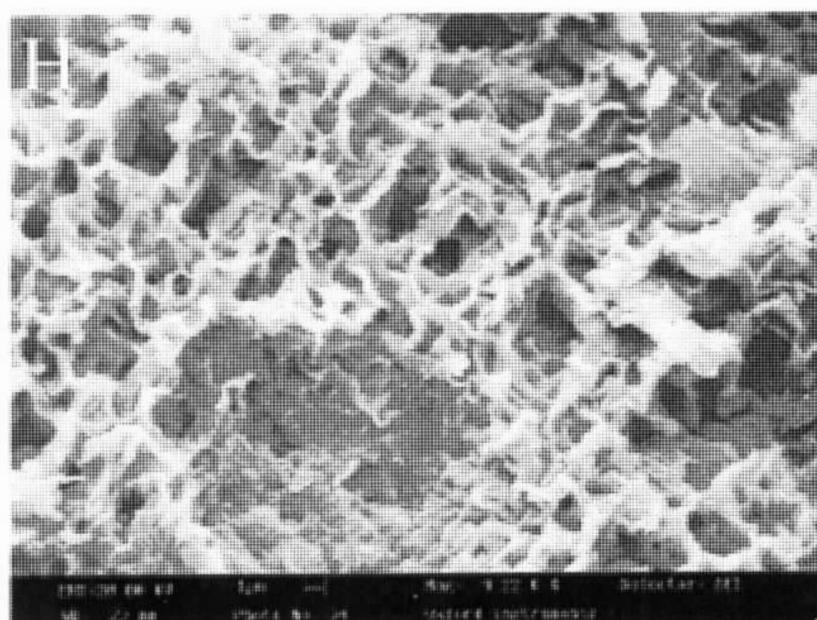
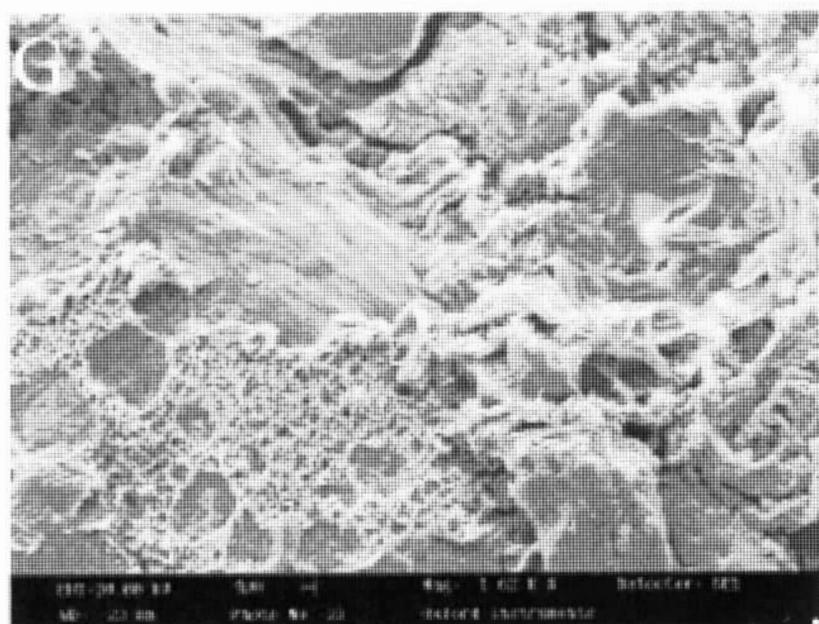
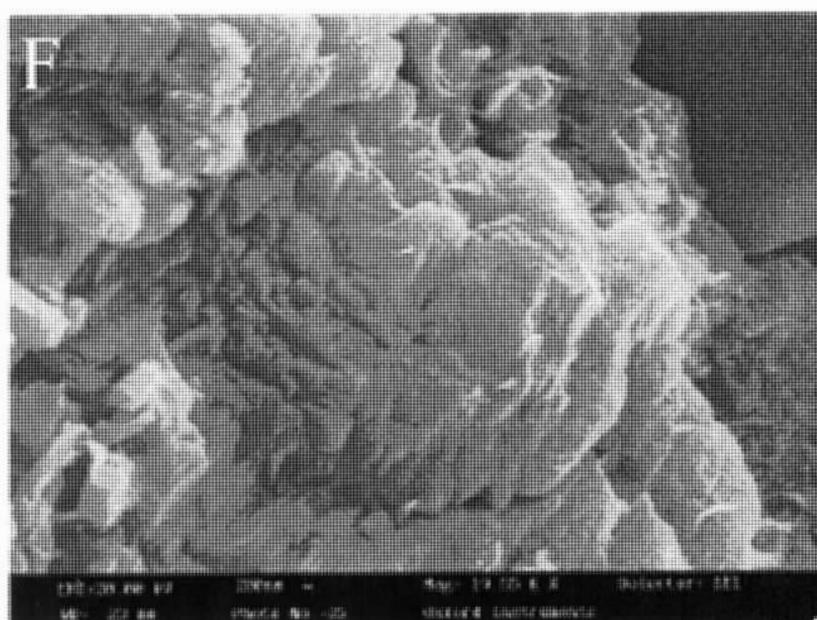
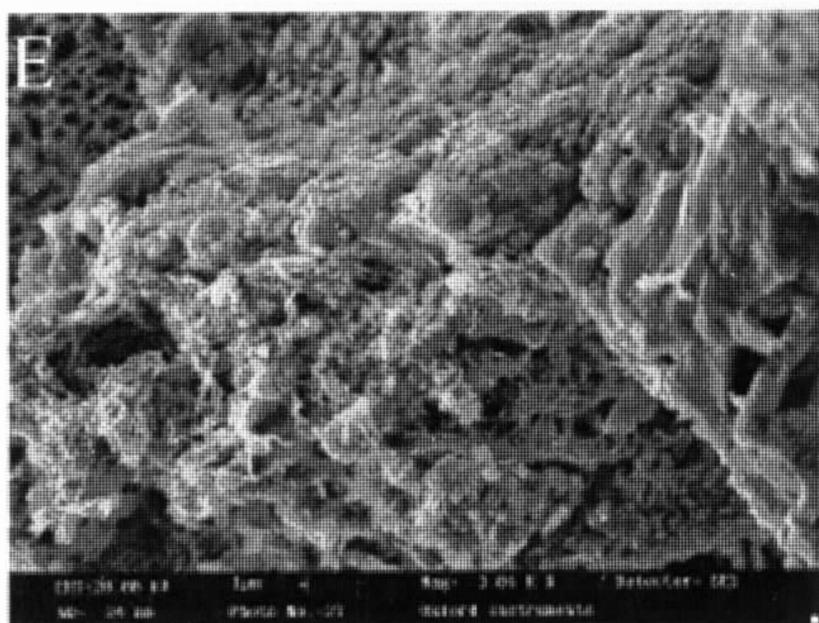
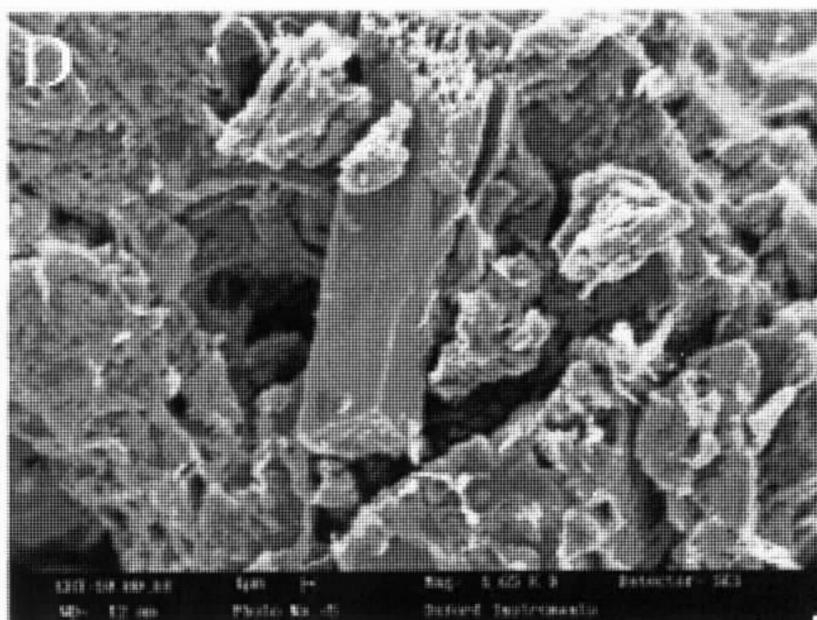
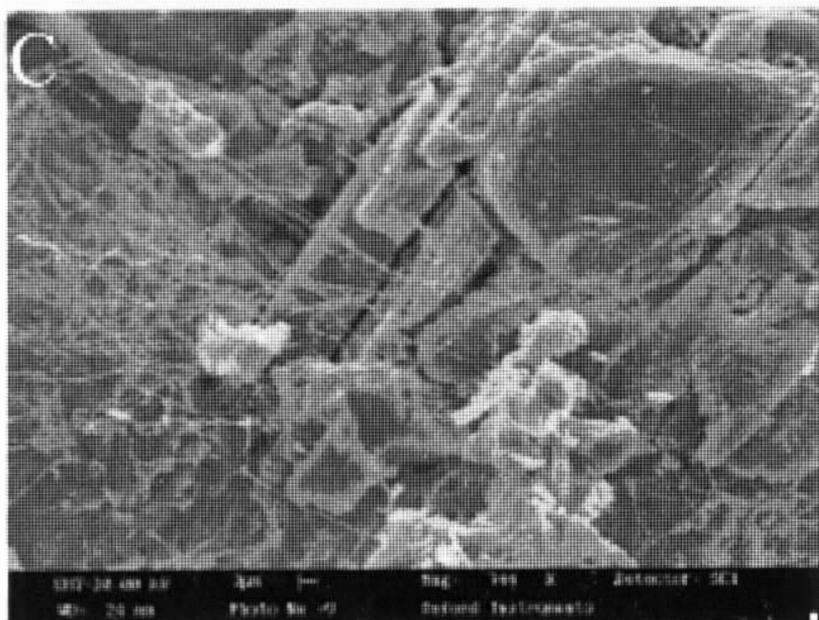
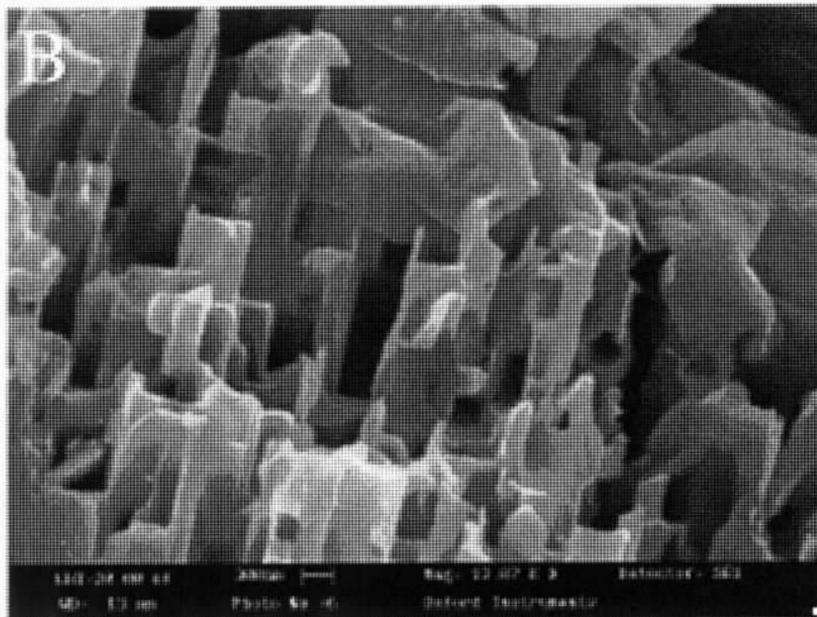
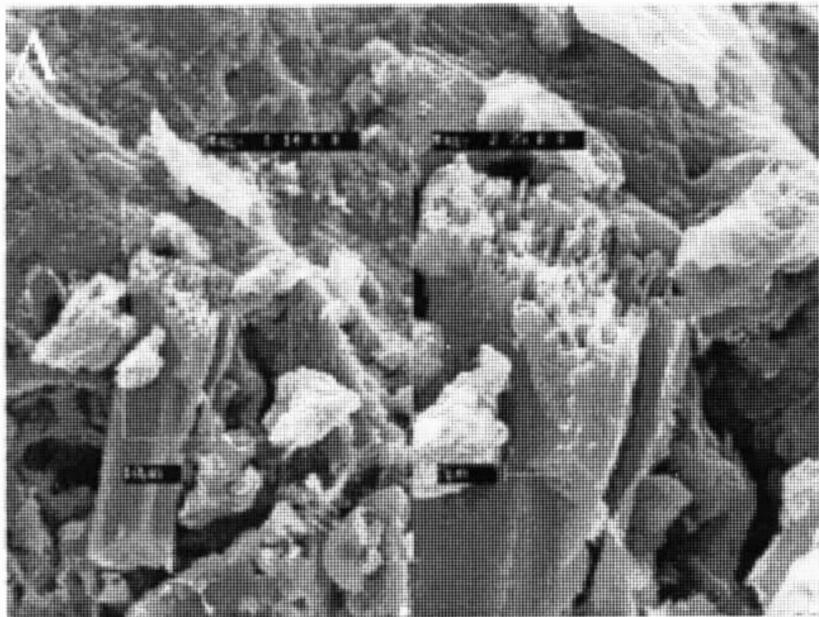
- (A) Fotografia ao microscópio petrográfico sob luz polarizada, destacando o fundo matricial zeolítico multilamelar.
- (B) Figura anterior com nicois paralelos, destacando a película ferruginosa avermelhada que envolve os grãos de quartzo.
- (C) Fotografia ao microscópio petrográfico sob luz polarizada, ressaltando um fácies carbonático, em substituição as zeolitas, dos arenitos da Formação Corda.
- (D) Fotografia ao microscópio petrográfico sob luz polarizada, destacando fragmentos detríticos de basaltos e K-feldspatos.



Prancha IV

Prancha IV

- (A-D) Fotografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura, ressaltando cristais prismáticos/tabulares de estilbita.
- (E-F) Fotografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura, destacando agregados xenomórficos de estilbita, na forma de cimento, envolvendo grãos de quartzo.



Prancha V

Prancha V

- (A e C) Aspecto dos arenitos da Formação Corda ao microscópio petrográfico, sob luz natural, onde os grãos de quartzo apresentam colaração esverdeada e a matriz zeolítica apresenta tonalidades esbranquiçadas a amareladas.
- (B e D) Lâminas das fotos A e C, respectivamente, sob o efeito da catodoluminescência, ressaltando grãos de quartzo de diferentes colorações, que podem estar relacionados a diferentes gerações/áreas fonte deste mineral. A matriz zeolítica também apresenta pontuações luminescentes e que podem estar relacionadas a elementos denominados como ativadores, na estrutura desses minerais, responsáveis pelo efeito da CL.

