

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Osmar Souto Baraúna

**ESTUDO DAS ARGILAS QUE RECOBREM AS
CAMADAS DE GIPSITA DA BACIA
SEDIMENTAR DO ARARIPE**

Dissertação de Mestrado
1991

OSMAR SOUTO BARAÚNA

Geólogo, Universidade Federal de Pernambuco, 1974

Mestre, Universidade Federal de Pernambuco, 1991

**ESTUDO DAS ARGILAS QUE RECOBREM AS
CAMADAS DE GIPSITA DA BACIA
SEDIMENTAR DO ARARIPE**

Dissertação que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Pérsio de Souza Santos, como preenchimento parcial dos requisitos para obter do grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar, defendida e plenamente aprovada em 28 junho de 1991.

RECIFE, PE

À Rozeana , Daniela, Rodrigo e Rodolfo, pela compreensão e apoio.

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação é o resultado de um estudo realizado com as argilas⁽¹⁾ situadas sobre o horizonte de gipsita do Membro Romualdo da Formação Santana, da bacia sedimentar do Araripe, Nordeste do Brasil, de idade Cretáceo Inferior.

O estudo foi desenvolvido na porção sudoeste do limite meridional da bacia e visou primordialmente a definição de algumas propriedades tecnológicas dessas argilas, tais como a verificação da possibilidade de utilização das mesmas como agente tixotrópico em fluido de perfuração de poços de petróleo e como agente descorante de óleo vegetal (soja).

Estudos sedimentológicos realizados tiveram como finalidade a determinação quanti-qualitativa das partículas clásticas e de carbonatos, objetivando a definição de suas possíveis influências nas propriedades reológicas das argilas e a classificação geológica dos sedimentos.

De uma maneira geral, foi seguida a nomenclatura relativa a argilas e argilominerais, bem como das propriedades tecnológicas das mesmas, utilizadas no livro Tecnologia de Argilas, 1ª e 2ª edições, Editora Edgard Blücher, de autoria do Prof. Pérsio de Souza Santos, da Universidade de São Paulo. O Prof. Pérsio de Souza Santos atuou como Orientador Externo desta Dissertação, a convite do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco.

¹ O nome argila foi usado nesta Dissertação como termo petrográfico para designar uma rocha de textura terrosa de baixa granulação que desenvolve plasticidade quando misturada em quantidade adequada de água (GRIM, 1959 e 1960).

RESUMO

As argilas que capeiam o horizonte de gipsita da bacia sedimentar do Araripe são constituídas por uma assembléia mineral diversificada, onde participam, além de argilominerais (predominantes), uma fração detrítica grosseira composta essencialmente por quartzo, feldspatos e, principalmente, por calcita e gipsita.

Os argilominerais presentes nessas argilas pertencem aos grupos das esmectitas, das micas e da caulinita.

As viscosidades aparente e plástica, medidas em dispersões aquosas na concentração de 6% de argilas tratadas com carbonato de sódio, apresentaram valores abaixo dos especificados pela Petrobrás, para uso como agente tixotrópico em fluidos de perfuração de poços. A diálise dessas dispersões de argilas sódicas não proporcionou melhoria nas propriedades reológicas medidas.

Algumas argilas apresentam propriedades adsorptivas após ativação ácida, permitindo que sejam utilizadas como agente descorante de óleo de soja.

PALAVRAS-CHAVE: argila, esmectita, bentonita, tixotropia, adsorção, troca iônica, ativação ácida, descoramento.

ABSTRACT

The clays which cover the gypsum horizon of the Araripe sedimentary basin of de Araripe are composed of a diversified assemblage of minerals, in which the clay minerals dominate with a coarse detrital fraction composed essentially of quartz, feldspars, calcite and gypsum.

The clay minerals present in those clays belong to the smectite, mica and kaolinite groups.

The apparent and plastic viscosities of 6% aqueous dispersions of Na_2CO_3 – treated clays show values smaller than those from Petrobrás specification for thixotropic drilling fluids. Dialysis of those dispersions of Na-clays did not improve the values of the measured rheological properties.

Some of the clays show adsorptive properties after acid activation, acting as bleaching agent for soybean oil.

KEY WORDS: clay, smectite, bentonite, tixotropy, adsorption, ionic-exchange, acid activation, bleaching.

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE FIGURAS.....	12
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	16
1.1 - DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	16
1.2 - OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO.....	16
CAPÍTULO 2 – FISIOGRAFIA DA REGIÃO	18
2.1 – RELEVO.....	18
2.2 – CLIMA.....	18
2.3 – HIDROGRAFIA.....	18
2.4 – VEGETAÇÃO.....	19
2.5 – SOLOS.....	19
CAPÍTULO 3 - GEOLOGIA	20
3.1 - GEOLOGIA REGIONAL	20
3.2 - A FORMAÇÃO SANTANA.....	22
CAPÍTULO 4 - REVISÃO DA LITERATURA SOBRE ARGILAS ES- ESMECTÍICAS.....	29
4.1 - PROPRIEDADES DOS ARGILOMINERAIS DO GRUPO DAS ESMECTITAS	29
4.1.1 - Estruturas Cristalinas.....	29
4.1.2 - Substituições Isomórficas.....	29
4.2 - ESMECTITAS DO NORDESTE DO BRASIL.....	32
CAPÍTULO 5 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	39

5.1 - MATERIAIS.....	39
5.2 - MÉTODOS.....	40
5.2.1- Localização.....	40
5.2.2 - Tratamento Preliminar das Amostras.....	40
5.2.3 - Caracterização Sedimentológica.....	44
5.2.3.1 - Determinação do teor de carbonatos.....	44
5.2.3.2 - Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação.....	44
5.2.3.2.1- Amostras com teores de CaCO_3 iguais ou inferiores a 5%	44
5.2.3.2.2 - Amostras com teores de CaCO_3 superiores a 5% e iguais ou inferiores a 25%.....	45
5.2.3.2.3 - Amostras com teores de CaCO_3 superiores a 25%.....	45
5.2.4 - Caracterização Tecnológica.....	54
5.2.4.1 – Higroscopicidade.....	55
5.2.4.2 - Umidade “natural”.....	56
5.2.4.3 - Inchamento macroscópico.....	56
5.2.4.4 - Inchamento de Foster.....	57
5.2.4.5 - Resíduo em peneira ABNT nº 325.....	57
5.2.4.6 - Difração de raios-X.....	57
5.2.4.7 - Cátions trocados (CT) e capacidade de troca de cátions total (CTC).....	80
5.2.5 - Ensaio Tecnológicos.....	80
5.2.5.1 - Determinação das viscosidades.....	80
5.2.5.2 - Determinação das viscosidades após diálise.....	81
5.2.5.3 –Determinação das propriedades das argilas como agentes descorantes de óleo vegetal (soja).....	82
CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	85
6.1 – GEOLOGIA LOCAL.....	85

	10
6.1.1 - Classificação dos Sedimentos.....	85
6.1.2 - O Membro Romualdo.....	96
6.2 – TECNOLOGIA.....	99
6.2.1 – Higroscopicidade.....	99
6.2.2 - Umidade “natural”.....	99
6.2.3 - Inchamento macroscópico.....	101
6.2.4 - Inchamento de Foster.....	106
6.2.5 - Resíduo em Peneira ABNT nº 325.....	107
6.2.6 - Difração de raios- X	107
6.2.7 - Cátions Trocados (CT) e Capacidade de Troca de Cátions total (CTC).....	109
6.2.8 - Descoramento de Óleo Vegetal (soja).....	113
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	115
RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	117
AGRADECIMENTOS.....	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela V-1 - Teor de carbonato de cálcio nas argilas.....	128
Tabela V-2 - Dados granulométricos - sedimentos com teores em CaCO ₃ ≤ 25%.....	130
Tabela V-3 - Dados granulométricos - sedimentos com teores em CaCO ₃ > 25%.....	132
Tabela V-4 - Higroscopicidade às temperaturas ambientes.....	133
Tabela V-5 - Umidade Natural.....	134
Tabela V-6 - Inchamento macroscópico.....	136
Tabela V-7 - Inchamento de Foster.....	139
Tabela V-8 - Resíduo de peneira nº 325.....	140
Tabela V-9 - Cátions trocados (CT) e capacidade de troca de cá- tions total (CTC).....	143
Tabela V-10 - Viscosidades aparente e plástica.....	145
Tabela V-11 - Descoramento de óleo de soja ("A") por 13 amos- tras de argilas naturais.....	146
Tabela V-12 - Descoramento de óleo de soja ("B") por 07 amos- tras de argilas ativadas com H ₂ SO ₄	147
Tabela V-13 - Descoramento de óleo de soja ("C") por 06 amos- tras de argilas ativadas com H ₂ SO ₄	148
Tabela VI-1 - Classificação dos sedimentos com teor de CaCO ₃ ≤ a 25%.....	149
Tabela VI-2 - Classificação dos sedimentos com teor de CaCO ₃ > 25%.....	152
Tabela VI-3 - Dados da CTC e da higroscopicidade das argilas....	153

LISTA DE FIGURAS

Fig. 3.1 - Esquema das principais falhas policíclicas da região central do Nordeste do Brasil.....	21
Fig. 3.2 - Coluna estratigráfica da bacia sedimentar do Araripe..	23
Fig. 3.3 - Vista panorâmica da frente de lavra da mina Gipso.....	24
Fig. 3.4 - Vista panorâmica da frente de lavra da mina São Jorge..	25
Fig. 3.5 - Frente de lavra da mina Rancharia II.....	25
Fig. 3.6 - Detalhe do perfil da mina São Jorge.....	26
Fig. 3.7 - Detalhe do perfil da mina São Jorge.....	26
Fig. 3.8 - Detalhe do topo do perfil da mina Lagoa de Dentro.....	27
Fig. 3.9 - Detalhe do perfil da mina Calmina	27
Fig. 3.10- Mapa geológico da Chapada do Araripe.....	28
Fig. 4.1 - Representação esquemática da estrutura cristalina da Esmectita.....	30
Fig. 5.1 - Mapa de localização.....	41
Fig. 5.2 - Mapa de localização dos perfis estudados área Araripina.....	42
Fig. 5.3 - Mapa de localização dos perfis estudados área Trindade/Ipupi.....	43
Fig. 5.4 - Curvas cumulativas da argila de Boa Vista-PB e do perfil Alto Bonito.....	46
Fig. 5.5 - Curvas cumulativas - perfil Alto Bonito e perfil Calmina.	47
Fig. 5.6 - Curvas cumulativas - perfil Calmina e perfil Campevi....	48
Fig. 5.7 - Curvas cumulativas - perfil Campo Belo.....	49
Fig. 5.8 - Curvas cumulativas - perfil Lagoa de Dentro e perfil Matarazzo.....	50

Fig. 5.9 - Curvas cumulativas - perfil Rancharia I e perfil Rancharia II.....	51
Fig. 5.10- Curvas cumulativas - perfil São Jorge.....	52
Fig. 5.11- Curvas cumulativas - perfil São Jorge.....	53
Fig. 5.12- Difrátogramas de raios-X da amostra BV-VRD.....	59
Fig. 5.13- Difrátogramas de raios-X das amostras AB-01 e AB-02...	60
Fig. 5.14- Difrátogramas de raios-X das amostras AB-03/04 e AB-05/06/07.....	61
Fig. 5.15- Difrátogramas de raios-X das amostras AB-09/10/11 e AB-12/13.....	62
Fig. 5.16- Difrátogramas de raios-X das amostras CA-01 e CA-02/03/04.....	63
Fig. 5.17- Difrátogramas de raios-X das amostras CA-07/08 e CA-09/10/11.....	64
Fig. 5.18- Difrátogramas de raios-X das amostras CA-12/13/14 e CA-17/18.....	65
Fig. 5.19- Difrátogramas de raios-X das amostras CA-19 e CM-01/02.....	66
Fig. 5.20- Difrátogramas de raios-X das amostras CM-03/04 e CM-07/08/09.....	67
Fig. 5.21- Difrátogramas de raios-X das amostras LD-01/02/03 e LD-07/08.....	68
Fig. 5.22- Difrátogramas de raios-X das amostras GI-03/04/05 e GI-09/10.....	69
Fig. 5.23- Difrátogramas de raios-X das amostras GI-12/13 e GI-14.....	70
Fig. 5.24- Difrátogramas de raios-X das amostras MA-01/02 e MA-04/05.....	71
Fig. 5.25- Difrátogramas de raios-X das amostras MA-10/11 e RAI-01/02.....	72

Fig. 5.26- Difractogramas de raios-X das amostras RAI-03/04 e RAI-05/06/07.....	73
Fig. 5.27- Difractogramas de raios-X das amostras RAI-01/02 e RAI-03.....	74
Fig. 5.28- Difractogramas de raios-X das amostras RAI-06 e RAI-07.....	75
Fig. 5.29- Difractogramas de raios-X das amostras SJ-01/02 e SJ-04.....	76
Fig. 5.30- Difractogramas de raios-X das amostras SJ-05 e SJ-08/09/10.....	77
Fig. 5.31- Difractogramas de raios-X das amostras SJ-15 e SJ-16/17/18.....	78
Fig. 5.32- Difractogramas de raios-X das amostras SJ-19/20 e SJ-24.....	79
Fig. 6.1 - Classificação e nomenclatura dos sedimentos mistos de carbonatos e matéria clástica.....	86
Fig. 6.2 - Perfil colunar da mina Alto Bonito.....	87
Fig. 6.3 - Perfil colunar da mina Calmina.....	88
Fig. 6.4 - Perfil colunar da mina Campevi.....	89
Fig. 6.5 - Perfil colunar da mina Gipso.....	90
Fig. 6.6 - Perfil colunar da mina Lagoa de Dentro.....	91
Fig. 6.7 - Perfil colunar da mina Matarazzo.....	92
Fig. 6.8 - Perfil colunar da mina Rancharia I.....	93
Fig. 6.9 - Perfil colunar da mina Rancharia II.....	94
Fig. 6.10- Perfil colunar da mina São Jorge.....	95
Fig. 6.11- Detalhe do perfil da mina Alto Bonito.....	98
Fig. 6.12- Aspecto da gipsita ondulada.....	98
Fig. 6.13- Aspecto dos fragmentos das amostras CA-09 e BV-VRD antes da adição de água (1º dia).....	104
Fig. 6.14- Aspecto dos fragmentos das amostras RAI-02 e BV-VRD	

	antes da adição de água (1º dia).....	104
Fig. 6.15-	Aspecto dos fragmentos das amostras CA-09 e BV-VRD depois da adição de água (1º dia).....	104
Fig. 6.16-	Aspecto dos fragmentos das amostras RAI-02 e BV-VRD depois da adição de água (1º dia).....	104
Fig. 6.17-	Aspecto dos fragmentos das amostras CA-09 e BV-VRD antes da adição de água (2º dia).....	105
Fig. 6.18-	Aspecto dos fragmentos das amostras RAI-02 e BV-VRD antes da adição de água (2º dia).....	105
Fig. 6.19-	Aspecto dos fragmentos das amostras CA-09 e BV-VRD depois da adição de água (2º dia).....	105
Fig. 6.20-	Aspecto dos fragmentos das amostras RAI-02 e BV-VRD depois da adição de água (2º dia).....	105
Fig. 6.21-	Correlação entre higroscopicidade e CTC.....	111

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Os depósitos de gipsita² da bacia sedimentar do Araripe constituem uma fonte importante desse minério para uma variedade de usos industriais relevantes; uma revisão desses usos possíveis foi feita recentemente pela Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (Rocha, 1990 & Hoffman, 1990). Associadas ao horizonte desse minério e a ele sobrepostas ocorrem argilas de cores predominantemente verde e vermelha em quantidades industrialmente significativas; as informações da literatura sobre gênese de argilominerais esmectíticos, especialmente a presença de cálcio em sedimentos ricos em água, levou à hipótese de que essas argilas poderiam conter argilominerais esmectíticos.

De outro lado, já havia a experiência do estudo das argilas esmectíticas das localidades Bravo, Lajes e Juá, distrito de Boa Vista, município de Campina Grande no Estado da Paraíba (Araújo, et al., 1979; Souza Santos et al., 1981; Baraúna et al., 1981; Baraúna & Nascimento, 1982). Dessa forma, foi escolhido o estudo das argilas associadas ao horizonte de gipsita como problema a ser investigado nessa Dissertação de Mestrado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco.

1.2 - OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

Esta pesquisa tem como objetivo a caracterização mineralógica (argilominerais constituintes) e a determinação das propriedades tecnológicas das argilas da Formação Santana que reco-

² O nome “gipsita” é usado tanto para designar o mineral gipsita como para designar a rocha constituída essencialmente por esse mineral; a designação correta da rocha seria “gipso”, a qual não é usada.

brem o horizonte de gipsita pertencente à mesma formação, com vistas à possibilidade de uso das mesmas em fluido de perfuração rotativa de poços de petróleo e também como agente descorante de óleo vegetal (soja).

A pesquisa teve também como objetivo complementar, contribuir para um maior conhecimento sedimentológico da Formação Santana, além de sugerir possibilidade de reduzir os custos extrativos da gipsita, pela industrialização dessas argilas que foram mostradas ser esmectíticas.

CAPÍTULO 2

FISIOGRAFIA DA REGIÃO

2.1 – RELEVO

A vasta superfície plana da Chapada do Araripe é terminada por escarpas abruptas. A partir da borda da bacia estende-se uma peneplanície levemente ondulada, interrompida por elevações residuais (SUDENE, 1973).

Podem ser individualizadas, portanto, três zonas geomórficas distintas: 1) Zona da Chapada, formando uma superfície sub-horizontal; 2) Zona de Talude, que margeia o sopé da chapada; 3) Zona de Pediplano.

A Zona de Talude é constituída pelos sedimentos da Formação Santana, objeto de estudo desta Dissertação.

2.2 – CLIMA

O clima dominante da região é o quente, semi-árido tipo estepe (Bsw^h, de Köppen) caracterizado por duas estações distintas; uma de chuvas irregulares encontradas em curto período do ano (fevereiro a maio) com pluviometria média anual de 750mm; e outra de estiagem. As temperaturas médias anuais variam de 25°C a 30°C (SUDENE, op. cit.).

2.3 – HIDROGRAFIA

A chapada do Araripe constitui o divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios São Francisco, ao sul, Jaguaribe, ao norte, e Paraíba, a oeste. Na zona da chapada a drenagem é praticamente inexistente, em virtude da fácil infiltração das águas, que extravasam formando fontes. Na zona de talude a drenagem é mais densa e na zona de pediplano a drenagem tem um padrão dendrítico-retangular denso e os rios são intermitentes (SUDENE, 1973).

2.4 – VEGETAÇÃO

A vegetação predominante do topo da chapada varia de arbustiva a arbórea, sendo a mais dominante e constitui o cerrado (savana). A vegetação das terras baixa corresponde ao “Sertão do Araripe” é menos densa e corresponde à caatinga (estepe) (SUDENE, op. cit.).

2.5 – SOLOS

A predominância absoluta é do litossolo formado sobre rochas do embasamento cristalino. Os solos desenvolvidos sobre as rochas sedimentares são mais espessos e apresentam todos os horizontes desenvolvidos. Os solos desenvolvidos sobre formações argilo-calcárias são melhores para a agricultura (SUDENE, 1973).

CAPÍTULO 3

GEOLOGIA

3.1 – GEOLOGIA REGIONAL

A Série Araripe foi o termo inicialmente usado para designar toda a seqüência sedimentar que correspondem à Chapada do Araripe (Small, 1913).

A bacia sedimentar do Araripe ocupa parte dos Estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, tendo como limites estruturais o Lineamento Patos, ao norte, e uma “cuesta” de erosão associada ao recuo da falha de Conceição (Cordani et al., 1984).

Essa seqüência sedimentar apresenta comportamento evolutivo-estrutural semelhante às demais ocorrências sedimentares do interior do Nordeste do Brasil, porém foi soerguida depois da deposição e posteriormente um recuo erosivo centrípeto a partir da falha de Senador Pompeu, proporcionou a formação de escarpas abruptas que cortam a chapada homônima (Rolim, 1985).

Dessa forma, os sedimentos mesozóicos da Seqüência Araripe, a exemplo das demais ocorrências sedimentares interiores (Iguatu, Icó, Rio do Peixe, Souza, São José do Belmonte, Mirandiba, entre outras), não foram consideradas no passado como bacia sedimentar e sim como frações de uma cobertura mais extensa aprisionadas em falhas do embasamento (Fig. 3.1). O caráter de bacia sedimentar, no entanto, é atribuído por Brito Neves (1990) à seqüência sedimentar do Araripe, com base na classificação de Kingston (1983, apud Brito Neves, op. cit.) com as modificações inseridas por Figueiredo & Raja Gabaglia(1986).

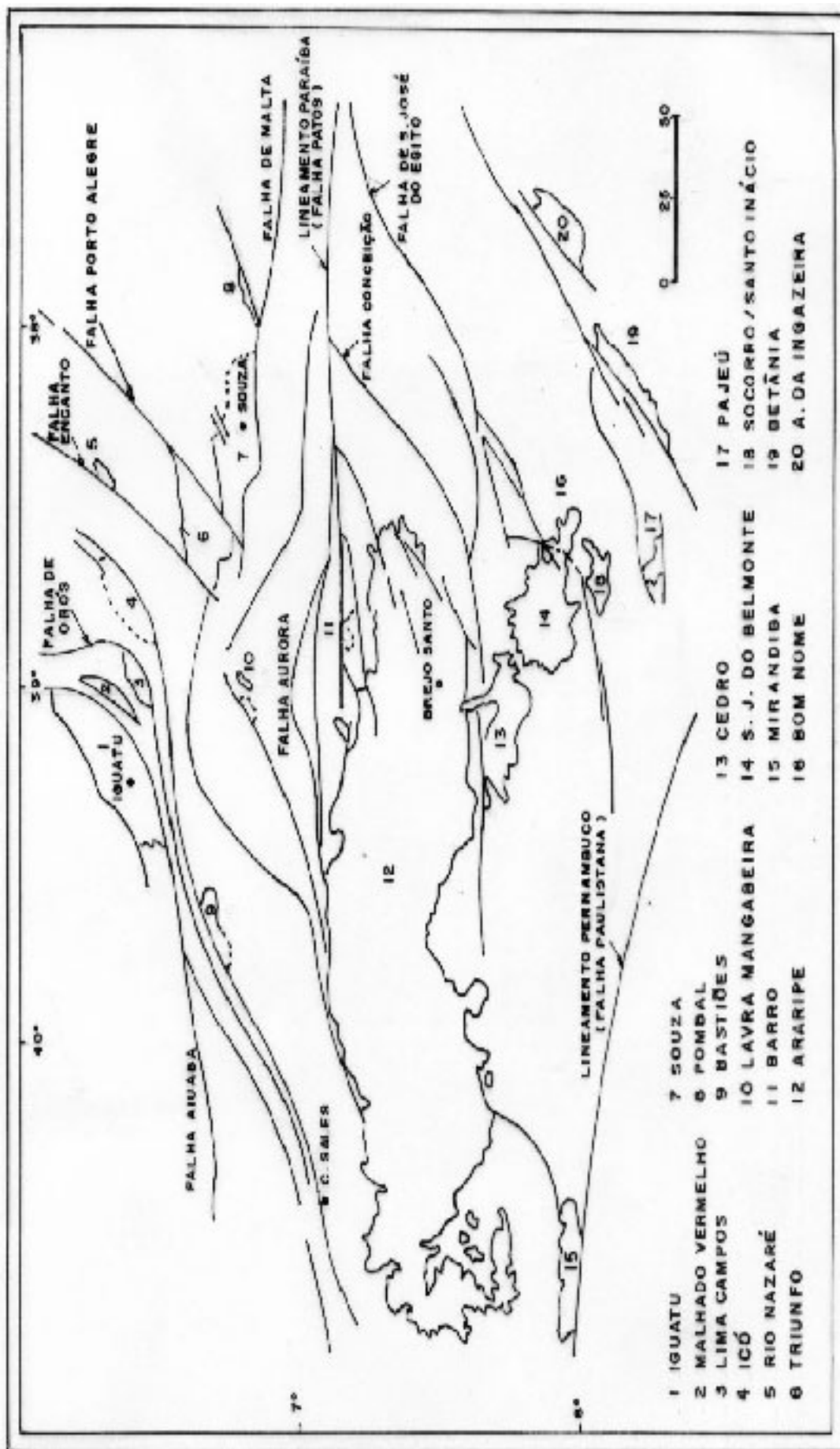


Fig. 3.1 Esquema das principais falhas políclicas da região central do Nordeste do Brasil e ocorrências sedimentares interiores associadas (Cardani et al., 1984, apud Brito Neves, 1990).

3.2 - A FORMAÇÃO SANTANA

A seqüência sedimentar da Chapada do Araripe foi denominada Série Araripe por Small (1913), que a dividiu em quatro seções distintas.

A seção essencialmente calcítica foi denominada Calcário Sant' Anna, nome da localidade-tipo próxima à cidade de Santana do Cariri, no Estado do Ceará.

Para essa unidade foi proposto o termo Formação Santana por Beurlen (1962). Mais tarde o próprio Beurlen (1971) subdividiu a Formação Santana nos membros Crato, Ipubi e Romualdo.

Várias propostas de divisão estratigráfica para essa formação foram feitas por diferentes autores, a partir de então. Nesta pesquisa será considerada, no entanto, a subdivisão da Formação Santana, proposta por Beurlen (1971), admitida numa proposta de revisão litoestratigráfica da bacia do Araripe por Ponte & Appi (1990; Fig. 3.2).

O Membro Crato, localizado na base da formação é constituído, da base para o topo, por folhelhos cinza e castanhos escuros e negros, calcíferos, laminados; calcários micríticos cinza claros e cremes, argilosos e finamente estratificados em lâminas paralelas e uniformes.

O Membro Crato apresenta espessura que varia de 50 metros a 80 metros e pode assentar-se concordantemente sobre a Formação Rio da Batateira ou discordantemente sobre a Formação Abaiara do Grupo Vale do Cariri ou ainda sobre o Complexo do Embasamento (Ponte & Appi, op. cit.).

O Membro Ipubi, constituído essencialmente por gipsita e anidrita apresenta intercalações subordinadas de leitos de folhelhos escuros, compreendendo os evaporitos o clímax de uma seqüência sedimentar de um lago interior, onde uma crescente salinidade se verificou em função de uma evaporação progressiva. O contato superior, com o Membro Romualdo, é nítido e brusco, sendo interpretado como uma discordância erosiva regional (Silva 1983, 1986 e Berthou et al, 1988).

CRONOESTRATIGRAFIA			LITOESTRATIGRAFIA	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA		
CRETÁCEO	MÉDIO	CENOM.	ARENITOS VERMELHOS, GROSSEIROS A MÉDIOS, FRIÁVEIS, MAL SELECIONADOS, CAULÍNICOS, INTERCALAM-SE NÍVEIS DE ARENITOS GROSSEIROS, CONGLOMERÁTICOS, FRIÁVEIS.	FORMAÇÃO EXU		
			ARENITOS FINOS, SILTITOS ARGILOSOS E ARENITOS BEM ESTRATIFICADOS, COM MARCAS ONDULADAS, LAMINAÇÕES CRUZADAS, CORES DE VERMELHA E AMARELA.	FORMAÇÃO ARAJARA		
		ALBIANO	FOLHELHOS CINZA ESVERDEADOS, FOSSILÍFEROS COM CONCREÇÕES CALCÁRIAS FÓSSEIS; MARGAS, ARENITOS FRIÁVEIS ESBRANQUIÇADOS OU CONGLOMERÁTICOS.	MEMBRO ROMUALDO	FORMAÇÃO SANTANA	GRUPO ARARIPE
		GIPSITA E ANIDRITA COM LEITOS DE FOLHELHOS ESCUROS INTERCALADOS SUBORDINADAMENTE.	MEMBRO IPUBI			
		FOLHELHOS CINZA A CASTAÑO ESCURO, E NEGROS, CALCÍFEROS, LAMINADOS; CALCÁREOS MICRÍTICOS CINZA CLAROS E CREMES, FINAMENTE ESTRATIFICADOS EM LÂMINAS PARALELAS E UNIFORMES.	MEMBRO CRATO			
		ARENITOS BRANCOS E AMARELOS, MÉDIOS E GROSSEIROS, MAL SELECIONADOS COM ESTRATIFICAÇÕES CRUZADAS, CLASTOS DE ARGILITO VERMELHO, ESTRUTURAS DE CORTE E PREENCHIMENTO E CROSTAS FERRUGINOSAS; ARENITOS MÉDIOS/FINOS; SILTITOS ARGILOSOS BEM ESTRATIFICADOS.	FORMAÇÃO RIO DA BATATEIRA			
INFERIOR	NEOCOM.	INTERCALAÇÕES ESTRATIFICADAS DE ARENITOS FINOS, ARGILOSOS, MICÁCEOS, FRIÁVEIS, LAMINADOS; SILTITOS E FOLHELHOS AMARELOS, AVERMELHADOS, CINZA ESVERDEADOS; O CONTEÚDO FOSSILÍFERO INCLUI OSTRACODES DE BIOZONAS.	FORMAÇÃO ABAIARA		GRUPO VALE DO CARIRI	
JURÁSSICO	SUPERIOR	MALM.	ARENITOS GROSSEIROS, MAL SELECIONADOS DE COLORAÇÃO BRANCA OU AMARELA, ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA E LEITOS CONGLOMERÁTICOS; LEITOS DE ARENITOS FINOS; SILTITOS.	FORMAÇÃO MISSÃO VELHA		
			ARENITOS FINOS, A MÉDIOS, ARGILOSOS; SILTITOS E ARGILITOS VERMELHOS, MARRONS E ESVERDEADOS BEM ESTRATIFICADOS.	FORMAÇÃO BREJO SANTO		
SILURIANO			ARENITOS DE CORES CLARAS, BRANCOS, ACINZENTADOS, AMARELADOS, GROSSEIROS, ANGULARES, MAL SELECIONADOS, COM NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS; LEITOS DELGADOS DE SILTITOS.	FORMAÇÃO MAURITI		

Fig. 3.2 – Coluna Estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe, segundo Ponte & Appi (1990).

O Membro Romualdo é constituído por intercalações de folhelhos, margas, argilitos, siltitos, calcários e lentes de arenitos friáveis e esbranquiçados (Fig. 3.3 a 3.9). Uma camada de microconglomerado é apontada como evidência do início de uma seqüência deposicional sobre uma discordância erosiva regional (Silva, op. cit.).

No topo dessa seqüência ocorre um folhelho de cor cinza-oliva, bastante fossilífero, pouco calcífero, contendo níveis delgados e descontínuos de margas e concreções calcárias que podem conter fósseis. Esses folhelhos atingem de 2 a 15 metros de espessura e podem ser identificados nas minas Alto Bonito, no município de Ouricuri, São Jorge, no município de Ipubi e Lagoa de Dentro , no município de Araripina (Fig. 3.8).

A Formação Santana é a seção mais fossilífera do Grupo Araripe e repousa discordantemente sobre a Formação Rio da Batateira.

Essa nova seqüência litológica é considerada como indicação de um novo ciclo sedimentar lacustre constituído por lagos rasos e efêmeros. Viana (1990), apesar de concordar com a origem lacustre dos sedimentos do Membro Romualdo, chama a atenção para o registro de sedimentação marinha evidenciada na parte superior da coluna representada pela camada de margas calcárias contendo conchas de gastrópodes e bivalves e mais equinóides.



Fig. 3.3 – Vista panorâmica da frente de lavra da mina Gipso - Araripina-PE, mostrando: a) gipsita (Membro Ipubi); b) argilas esmectíticas (Membro Romualdo)



Fig. 3.4 – Vista panorâmica da frente de lavra da mina São Jorge – Ouricuri-PE, mostrando: a) gipsita (Membro Ipubi); b) argilas esmetíticas (Membro Romualdo).



Fig. 3.5 – Frente de lavra da mina Rancharia II – Araripina-PE, mostrando: a) gipsita Membro Ipubi); b) argilito; c) argilito; d) arenito; e) marga; f) solo (Membro Romualdo).

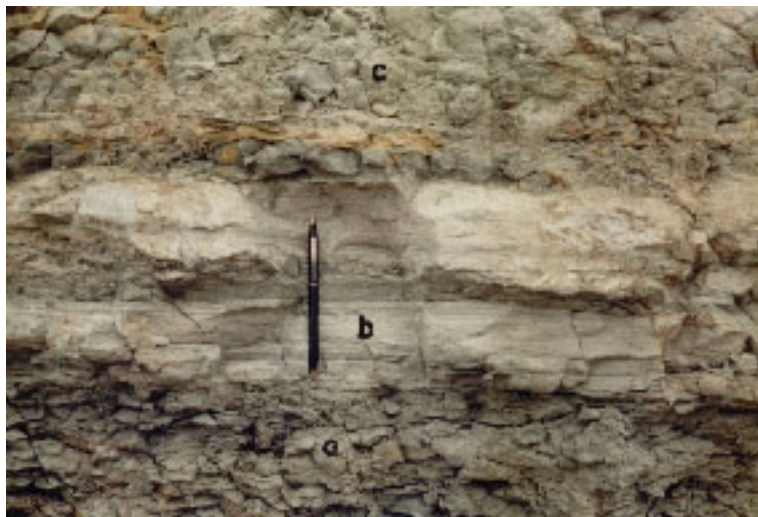


Fig. 3.6 – Detalhe do perfil da mina São Jorge – Ouricuri-PE, mostrando: a) argilito; b) arenito fino com estratificação paralela; c) siltito (Membro Romualdo).



Fig. 3.7 – Detalhe do perfil da mina São Jorge – Ouricuri-PE, mostrando níveis de gipsita, alabastrina paralelos intercalados nos planos de acamamento do argilito (Membro Romualdo).



Fig. 3.8 – Detalhe do tipo do perfil da mina Lagoa de Dentro - Araripina-PE, mostrando: a) folhelho; b) margam calcária em camadas; c) margam calcária em nódulos (Membro Romualdo).

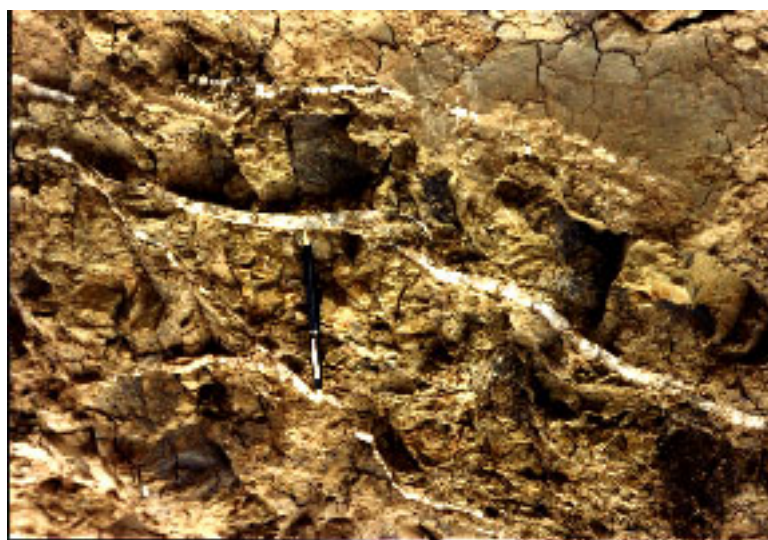


Fig. 3.9 – Detalhe do perfil da mina Calmina – Tinda-de – PE, revelando veios de espato cetim intercalados

irregularmente no argilite do Membro Romualdo.

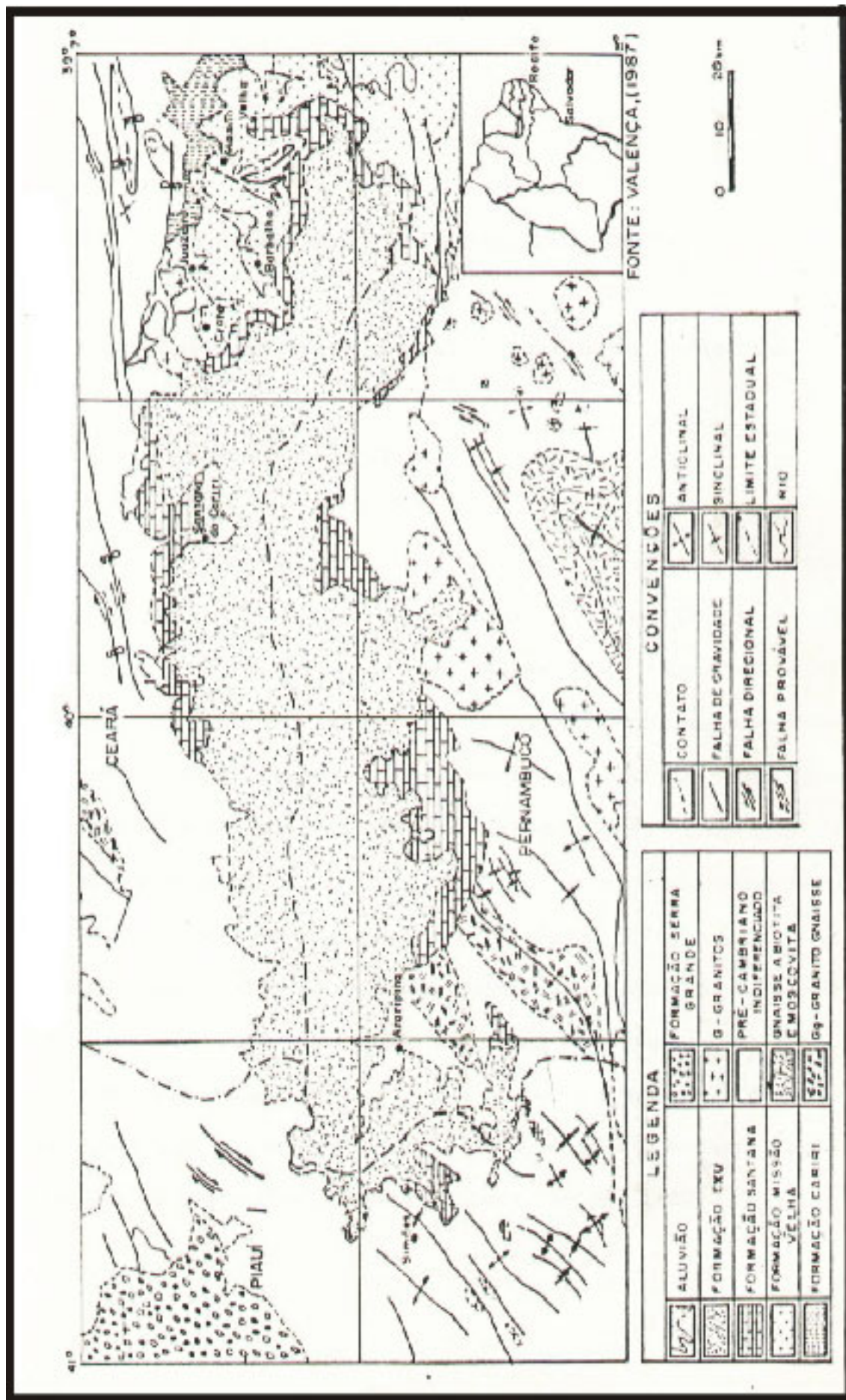


Fig.3.10 - Mapa geológico do Araripe(Lima,1978)

CAPÍTULO 4

REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AS ARGILAS ESMECTÍICAS

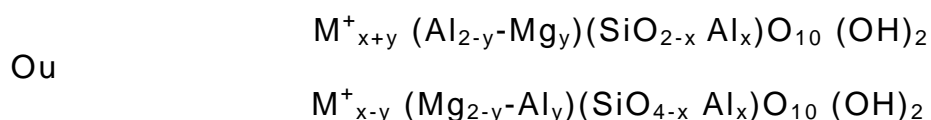
4.1 - PROPRIEDADES DOS ARGILOMINERAIS DO GRUPO DAS ESMECTITAS

4.1.1 – Estrutura Cristalina

Os argilominerais do grupo das esmectitas são filossilicatos constituídos por duas folhas de silicato tetraédricas com uma folha central octaédrica, unidas entre si por oxigênio comuns às folhas. As folhas tetraédricas são compostas por tetraedros contendo um átomo de silício circundado por quatro átomos de oxigênio; as folhas octaédricas são compostas de octaedros contendo um átomo de alumínio, e/ou magnésio e/ou ferro, circundado por seis grupos de hidroxilas (Fig. 4.1). Nos tetraedros, cada oxigênio tem uma valência ligada ao átomo de silício, e outra valência ligada ao átomo de oxigênio ou outro elemento do tetraedro seguinte ou do octaedro contíguo, formando folhas contínuas na direção dos eixos a e b e são empilhadas aleatoriamente uma sobre as outras (Souza Santos, 1989).

4.1.2 – Substituições Isomórficas

Nos argilominerais esmectíticos a fórmula estrutural pode ser considerada como intermediária entre as fórmulas estruturais do talco e da pirofilita. Segundo Souza Santos (1989) as fórmulas típicas para a meia cela unitária das montmorilonitas podem ser as seguintes:



Onde M^{+} é cátion monovalente e $(x+y)$ e $(x-y)$ variam entre 0,3 e 0,5.

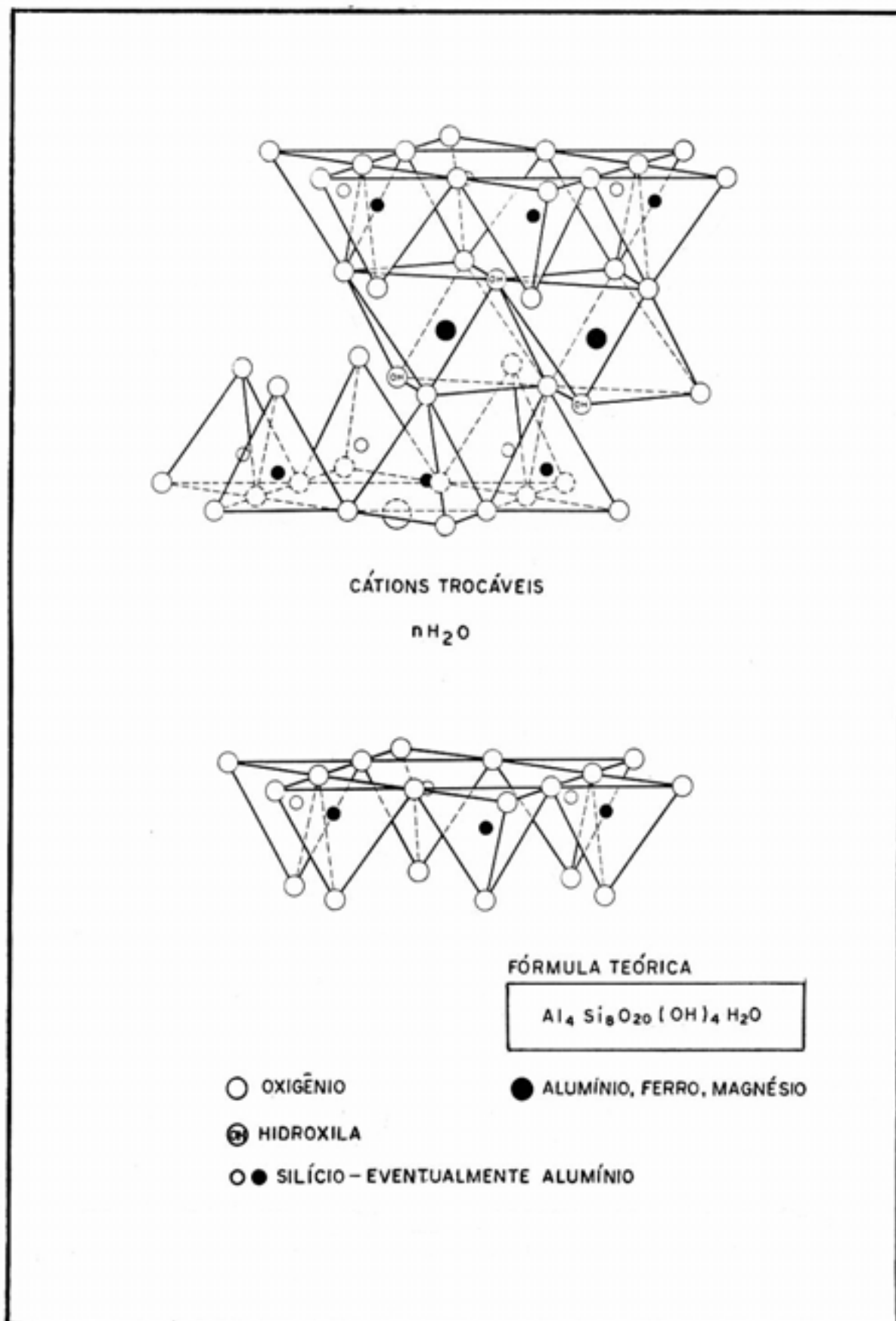


Fig. 4.1 – Representação esquemática da estrutura cristalina da esmectita segundo Grim (1968).

A primeira fórmula pode ser considerada como derivada da pirofilita $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, com substituições isomórficas de $x\text{Al}$ em lugar de $x\text{Si}$ e de $y\text{Mg}$ em lugar de $y\text{Al}$. A segunda fórmula pode ser considerada como derivada do talco, $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, em substituições isomórficas de $x\text{Al}$ em lugar de $x\text{Si}$ e $y\text{Al}$ em lugar de $y\text{Mg}$; a deficiência total de carga é balanceada por $(x+y)\text{M}^+$ no primeiro caso e $(x-y)\text{M}^+$ no segundo caso. Aos cátions monovalentes (M^+) intercalados hidratados tais como H_3O^+ , Li^+ , K^+ , Na^+ , $\text{CA}^{+2}/2$, $\text{Mg}^{+2}/2$, $\text{Ba}^{+2}/2$, $\text{Cr}^{+3}/3$, $\text{F}_3^{+2}/2$, $\text{Al}^{+3}/3$ e $\text{Fe}^{+3}/3$, é atribuída a expansão basal (intramicellar swelling) das esmectitas (Grim e Cuthbert, 1945; e Barshad, 1950; in Souza Santos, op. cit.).

Os argilominerais do grupo das esmectitas podem ser classificados em dioctaédricos, em que duas das três posições disponíveis na folha octaédrica da metade da cela unitária são ocupadas por cátions; e em trioctaédricos, em que três das três posições disponíveis na folha octaédrica da metade da cela unitária são ocupadas por cátions. Isso permite a seguinte classificação dos argilominerais do grupo das esmectitas (Souza Santos, 1989).

a) Argilominerais Dioctaédricos

Beidelita	$0,33\text{M}^+ \cdot \text{Al}_2(\text{Si}_{3,67} \text{Al}_{0,33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
Nontronita	$0,33\text{M}^+ \cdot \text{Fe}_2(\text{Si}_{3,67} \text{Al}_{0,99}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
Volconscoita	$0,33\text{M}^+ \cdot (\text{Fe},\text{Cr},\text{Al})_2 (\text{Si},\text{Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
Montmorilonita	$0,33\text{M}^+ \cdot (\text{Al}_{1,67} \text{Mg}_{0,33}) \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

b) Argilominerais Trioctaédricos

Saponita	$0,33\text{M}^+ \cdot \text{Mg}_3(\text{Si}_{3,67} \text{Al}_{0,33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
Sauconita	$0,33\text{M}^+ \cdot (\text{Mg},\text{Zn})_3(\text{Si}_{3,67} \text{Al}_{0,33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$
Hectorita	$0,33\text{M}^+ \cdot (\text{Mg}, \text{Li})_3(\text{Si}_{3,67} \text{Al}_{0,33}) \text{O}_{10} (\text{OH})_2$

Nessas fórmulas, $0,33\text{M}^+$ é a capacidade de troca de cátions reversível expressa em cátions de M^+ .

O grau de hidratação entre as camadas 2:1 provoca o inchamento macroscópico e depende do cátion e da composição química da esmectita, segundo Foster (1951, 1953, 1954, 1955) e Grim (1968).

A montmorilonita sódica apresenta a característica de poder adsorver, isto é, intercalar entre as camadas 2:1 o maior número de moléculas de água por cela unitária das esmectitas de modo que as camadas vão se distanciando até distar $40 \text{ \AA}^{(3)}$, o sistema água + argila sódica forma um gel; adicionando-se mais água e fazendo-se com que as camadas lamelares se distanciem mais, origina-se um sol. O sol de esmectita sódica em repouso transforma-se em gel, que retorna a condição de sol por agitação, se a concentração for superior a 2%. A essa característica dá-se o nome de tixotropia (transformação sol-gel isotérmica reversível), que é de grande importância nos fluidos de perfuração rotativa de poços de petróleo (Souza Santos, 1975).

4.2 – ESMECTITAS DO NORDESTE DO BRASIL

Os primeiros estudos sobre argilas esmectíticas na região Nordeste do Brasil foram executados em amostras de afloramentos localizados no distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Estado da Paraíba. Essas amostras foram trazidas para São Paulo em 1961, pelo Engenheiro Químico Marcelo Renato Arruda, então aluno do Departamento de Engenharia Química da EPUSP. O professor Pérsio de Souza Santos realizou a identificação mineralógica qualitativa por análise térmica diferencial e por difração de raios-X, tendo detectado a presença de argilominerais do grupo das esmectitas nas amostras.

Os primeiros estudos sobre a geologia dessas argilas esmectíticas, foram realizadas por Caldasso (1965), que sugeriu uma origem sedimentar para os depósitos.

No ano seguinte, o DNPM-DFPM 4º Distrito, Escritório Campina Grande, iniciou estudos visando o dimensionamento dos depósitos de Boa Vista, orientados por Rocha (1965). A reavaliação dos trabalhos iniciados por Rocha (op. cit.) foi levada a efeito por Pinto e Pimentel (1968) e publicado em forma de relatório final pelo DNPM.

Souza Santos (1968) realizou os primeiros estudos tecnológicos

³ A unidade de Ângstron (\AA) não está mais sendo usada no sistema internacional de medidas. A unidade \AA foi mantida nesta Dissertação porque ainda permanece nos textos de referência sobre estrutura cristalina de minerais. No SIU, $1\text{mm} = 10^9 \text{\AA}$.

correntes, de modo a substituir a montmorilonita sódica que vinha sendo importada pelo Brasil.

Novas ocorrências de argilas esmectíticas foram registradas por Caldasso et al. (1971) na Paraíba, em terras das fazendas Belo Monte e Campos Novos de Baixo, na zona limítrofe do município de Cubatí e Barra de Santa Rosa.

Dados estatísticos sobre reserva, produção e consumo de argilas esmectíticas no Nordeste foram coligidos por Silva, E. H. (1973), que incluiu, ainda, citação sobre ocorrências de esmectitas na localidade de Mocambo, no município de Oeiras, no Piauí e nas localidades de Lagoa do Jardim e Lagoa do Cachimbo, no município de Itapipoca, no Ceará.

Estudos geológicos, econômicos e geofísicos foram executados nos municípios de Cubatí, Pedra Lavada e Olivedos, por Holder Neto (1973), Nepomuceno Filho (1973) e Silva, E. J. (1973), em ocorrências de argilas esmectitas associadas a basalto. A denominação Formação Campos Novos para essa associação foi feita por Holder Neto (op. cit.) e Silva, E. J. (op. cit.).

Novas considerações sobre aspectos genéticos das argilas emectíticas de Boa Vista foram feitas por Ennes & Santos (1975).

Campos & Souza Santos (1977) verificaram a possibilidade de utilização de outros sais de sódio, além do carbonato, no tratamento de troca por sódio, salientando especialmente os resultados obtidos com “sabão lux” em flocos. Esse estudo foi realizado com uma mostra de cor verde clara-creme do depósito de Boa Vista, considerada localmente como o melhor material para fluido de perfuração. Uma revisão dos estudos sobre as propriedades reológicas de argilas esmectíticas do Nordeste encontra-se em trabalho realizado por Zandonadi & Souza Santos (1978), sobre esmectitas brasileiras.

Estudo dos usos das esmectitas da Paraíba como impermeabilizante de argamassa e estudos dos efeitos de ciclos de secagem e de modificação na permeabilidade da água foram realizados por Ferreira (1978), e Tan & Ferreira (1979).

Souza Santos & Campos (1979) estudaram as argilas

esmectíticas de Boa Vista, objetivando descrever os vários tipos morfológicos das partículas encontradas nas argilas, sem a preocupação de caracterizá-las mineralogicamente, nem estabelecer correlações com propriedades de interesse tecnológico. Detectaram argilominerais esmectíticos provavelmente “montmorilonita propriamente dita” apresentando duas morfologias, uma em lâminas de perfil irregular, dobradas ou enroladas nas pontas, típicas de montmorilonita propriamente dita e outra de morfologia ripiforme, pouco usual.

Uma reavaliação da gênese dos depósitos de Boa Vista foi realizada por Caldasso & Andrade (1979), que ratificaram a idéia de uma origem sedimentar. Gopinath et al. (1979), estudaram a evolução dos sedimentos, dando atenção especial à análise ambiental dos arenitos associados às argilas esmectíticas.

Estudos geológicos e tecnológicos com a finalidade de localizar novas ocorrências de argila esmectíticas no Nordeste foram executadas por Araújo et al. (1979) em ocorrências de argilas preferencialmente de cores verdes e localizadas nos municípios paraibanos de Pedra Lavada, Cubati, Barra de Santa Rosa e Olivedos.

Variando as condições experimentais constantes dos métodos de ensaios e especificações de argilas para fluidos de perfurações de poços estabelecidos pela Petrobrás (1968) e pelo American Petroleum Institute - API (1976), Assunção & Ferreira (1979) concluíram que algumas argilas esmectíticas industrializadas no Estado da Paraíba, de um modo geral permaneceram satisfazendo as especificações da Petrobrás (op. cit.) e API (op. cit.), após variações na velocidade, tempo de agitação e concentração das dispersões aquosas.

A influência da temperatura na secagem da argila esmectítica policatiônica de cor verde-lodo de Boa Vista, no comportamento de suas propriedades e reológicas, foi merecedora de estudos por Solano et al. (1980-a e 1980-b). Os autores concluíram que a temperatura de secagem entre 70 °C e 75 °C, antes ou depois da troca em soluções aquosas de carbonato de sódio concentradas, é a que melhor resultado produz para viscosidade plástica dessa argila. Secando a 75 °C,

verificaram ainda que os melhores valores da viscosidade plástica são obtidos quando se faz primeiro a troca com carbonato de sódio e depois a secagem a 75°C.

Prado et al. (1980) mencionam, entre outras conclusões relativas a estudo sobre a argila de cor verde-lodo de Boa Vista, que os melhores valores para viscosidade plástica, necessários para se obter a tixotropia de fluídos de perfuração em esmectitas sódicas, são conseguidos quando a troca em temperaturas ambientes com carbonato de sódio é feita antes de qualquer tratamento térmico da argila natural para obter secagem necessária à moagem; quando a troca com carbonato for posterior à secagem prévia e antes da secagem final, a melhor faixa de temperatura de secagem está entre 30 °C e 55 °C para se obter viscosidade aparente acima de 15 cP e plástica acima de 8 cP.

Kiminami & Ferreira (1980) concluíram que as argilas esmectíticas verde-claro de Boa Vista-PB, curadas em câmara climatizada, usando diferentes condições de temperatura e umidade relativa, por 7 dias com intervalo de 24 horas, após tratamento com carbonato de sódio, apresentam melhora de suas propriedades reológicas. Exceção se faz quando a argila verde-clara é submetida às condições experimentais mais severas, ou seja, 90% de umidade relativa a 90 °C. As argilas de cor vermelha não apresentaram, nas mesmas condições experimentais, propriedades adequadas para uso como agente tixotrópico de fluido de perfuração.

Estudos de propriedades de argilas esmectíticas de Boa Vista-PB foram desenvolvidos por Souza Santos et al. (1980), em argilas de diferentes cores da localidade de Bravo. Nesse estudo não foi possível correlacionar a morfologia das partículas verificadas em micrografia eletrônica com as cores das argilas.

Dematté (1980), discutiu sobre o beneficiamento e uso no Brasil, das argilas esmectíticas de Boa Vista-PB.

Araújo et al. (1980) concluíram que as argilas esmectíticas do depósito da fazenda Campos Novos, localizada no município de Cubati-PB, apresentam viscosidades plásticas que satisfazem as

especificações da Petrobrás, para utilização como agente tixotrópico em fluido de perfuração rotativa de poços de petróleo.

Com vistas à otimização das propriedades reológicas (viscosidade aparente e plástica e volume do filtrado), de argilas esmectíticas de Boa Vista-PB, Kiminami & Ferreira (1981-a) submeteram à cura em câmara climatizada e autoclave, após tratamento com carbonato de sódio, suas amostras de argilas esmectíticas (de cores verde-claro e vermelho) do Sítio Bravo, tendo chegado à conclusão de que a argila de cor vermelha não apresentou propriedades reológicas adequadas após cura nas condições de aquecimento na faixa de 40 °C a 50 °C conjuntamente com umidades relativas na faixa de 50% a 100%. As argilas de cor verde-clara a 70% de umidade relativa apresentaram propriedades reológicas compatíveis com as especificações da Petrobrás (1968).

A tentativa inicial de correlação entre as cores das argilas e a morfologia das partículas feita em trabalho de Souza Santos et al. (1980), foi retomada em trabalho de Souza Santos et al. (1981), onde foi assinalada a homogeneidade morfológica observada nas argilas da mina Bravo e diferenças morfológicas entre as partículas constituintes das argilas da mina Lajes e Juá.

Araújo et al. (1981) concluíram que o ensaio de Greene-Kelly, aplicado às amostras de esmectitas das minas de Boa Vista (Bravo, Lajes e Juá), mostrou que algumas delas contém montmorilonita propriamente dita, enquanto outras podem conter um ou mais dos outros cinco argilominerais esmectíticos (provavelmente montmorilonita). As amostras de esmectitas da mesma cor, da mesma localidade ou de localidades diferentes, podem expandir ou não no ensaio de Greene-Kelly; não parecendo haver qualquer correlação entre as respectivas cores e tonalidades com as viscosidades plásticas, apresentadas na forma só-dica das amostras estudadas.

Novos estudos objetivando a verificação do efeito de diversas condições de cura (temperatura e umidade relativa), em argilas esmectíticas da jazida de Bravo, Boa Vista-PB, após tratamento com carbonato de sódio, visando a melhoria de suas propriedades

reológicas, tendo em vista a sua utilização como agente tixotrópico para perfuração de poços, foram realizadas por Kiminami (1981).

Baraúna et al. (1981), em estudo mineralógico sistemático realizado nas argilas esmectíticas das minas Bravo, Lajes e Juá, do distrito de Boa Vista-PB, no município de Campina Grande-PB, encontraram pequenos teores de paligorsquita em argilas esmectíticas de cores brancas (“bentonita branca”) e verde-lodo da mina Bravo.

Gopinath et al. (1981), estudando as argilas esmectíticas do depósito de Boa Vista-PB, admitiram que as mesmas são resultantes de alteração de materiais piroclásticos de natureza tufo e lapilli, oriundos de vulcanismo local.

Baraúna & Nascimento (1982), em estudos geoeconômicos realizados no depósito de argilas esmectíticas da fazenda Campos Novos, no município de Cubati-PB, sugeriram, para as argilas, uma origem a partir do basalto em associação, e uma idade Plio-Pleistocênica para todos os sedimentos do jazimento, com base no comportamento geológico-estratigráfico do depósito, e químico, paleontológico e palinológico das argilas.

Diaz (1983), e Diaz et al. (1986) estudando as argilas esmectíticas verde-claro do depósito do sítio Lages, do distrito de Boa Vista-PB, verificaram que abaixo do teor de água de 31% se a esmectita for seca (antes da troca por sódio), não haverá esta troca por sódio entre as camadas 2:1, não havendo problemas em seca-lá e depois se ter à troca por sódio, se a esmectita contiver umidade acima desse limite. Com esmectita verde-lodo de Lages, após adquirir umidades em torno de 47% (mantendo-se assim úmida por tempo adequado), podem ser obtidas trocas satisfatórias por sódio após secagem, as quais levam a valores de viscosidade plásticas condizentes com o uso em fluídos de perfuração.

Ramos et al. (1987) e Lira & Ferreira (1989), realizaram estudo tecnológico comparativo entre várias formas combinadas de tratamento térmico e diálise em dispersões de argilas esmectitas de Boa Vista-PB.

Berthou et al. (1990) fizeram uma análise das associações de

minerais argilosos da Formação Cariri e das unidades litológicas do Cretáceo da Bacia do Araripe.

Os trabalhos mais recentes sobre argilas esmectíticas do Nordeste correspondem aos de Diaz et al. (1991-a e 1991-b), sobre o estudo da variação das viscosidades de misturas esmectita-água, esmectita-água-álcool e esmectita-álcool-óleo de soja; e ao de Accioly & Ferreira (1991) sobre caracterização reológica de esmectita sódicas para uso na construção de paredes diafragmas.

CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Foi coletado um total de 122 amostras de argilas nas frentes de lavras de nove Minas de gipsita localizadas no Estado de Pernambuco. No município de Araripina foram coletadas 50 amostras em perfis das minas Campevi, Gipso, Lagoa de Dentro, Rancharia I e Rancharia II; no município de Ouricuri a amostragem correspondeu a um total de 24 amostras coletadas na frente de lavra da mina São Jorge; e no município de Ipubi a amostragem foi realizada nas minas Alto Bonito, Calmina e Matarazzo, num total de 48 amostras.

Em cada perfil foi coletado um número de amostras que representassem as suas características globais, com coleta de todas as litologias. O processo de amostragem, no pacote de argilas, ficou condicionado às mudanças faciológicas que pudessem eventualmente caracterizar variações do conteúdo de argilominerais.

Foram executadas amostragens simples ou compostas, por camada, dependendo da espessura evidenciada. No caso da amostra composta os espécimes pontuais foram representativos da base e topo, ou da base, meio e topo da camada. Todas as amostras foram submetidas a ensaios sedimentológicos. As amostras escolhidas para ensaios tecnológicos foram àquelas representativas, por perfil, das camadas mais espessas, que pudesse lavar a aproveitamento econômico pelo volume existente.

40 amostras foram submetidas a ensaios para fins tecnológicos e estão referenciadas conforme relação a seguir:

Frente de Lavra	Amostras
Mina Alto Bonito	AB-01, AB-02, AB-03/04, AB-05/06/07, AB-09/10/11 e AB-12/13/14
Mina Calmina	CA-01, CA-02/03/04, CA-07/08, CA-09/10/11, CA-12/13, CA-18/18 e CA-19
Mina Campevi	CM-01/02, CM-03/04, CM-07/08/09
Mina Gipso	GI-03/04/05, GI-09/10, GI-12/13 e GI-14
Mina Lagoa de Dentro	LD-01/02/03, LD-07/08
Mina Matarazzo	MA-01/02, MA-04/05 e MA-10/11
Mina Rancharia I	RAI-01/02, RAI-03/04 e RAI-05/06/07
Mina Rancharia II	RAII-01/02, RAII-03, RAI-06 e RAII-07
Mina São Jorge	SJ-01, SJ-04, SJ-05, SJ-08/09/10, SJ-15, SJ-16/17/18, SJ-19/20 e SJ-24

5.2 – MÉTODOS

5.2.1 - Localização

Os trabalhos geológicos foram desenvolvidos na porção sudoeste do limite meridional da Bacia Sedimentar do Araripe, englobando áreas dos municípios pernambucanos de Oricuri, Ipubi, Trindade e Araripina (Fig. 5.1, 5.2 e 5.3).

5.2.2 - Tratamento preliminar das amostras

As amostras objeto de estudo desta Dissertação, foram quarteadas conforme a metodologia sugerida por Souza Santos (1989). Aproximadamente 50% do volume individual das amostras a serem analisadas em laboratório, preparadas conforme método acima mencionado, foram secas ao ar com a finalidade de eliminar a possível umidade residual. As amostras depois de secadas ao ar⁴ e fragmentadas, foram quarteadas e separadas em duas amostras de 1kg, uma das quais estocada como referência em saco fechando de polietileno. As amostras quarteadas e homogeneizadas, geradas na operação antecedente, foram submetidas a uma redução manual de granulação

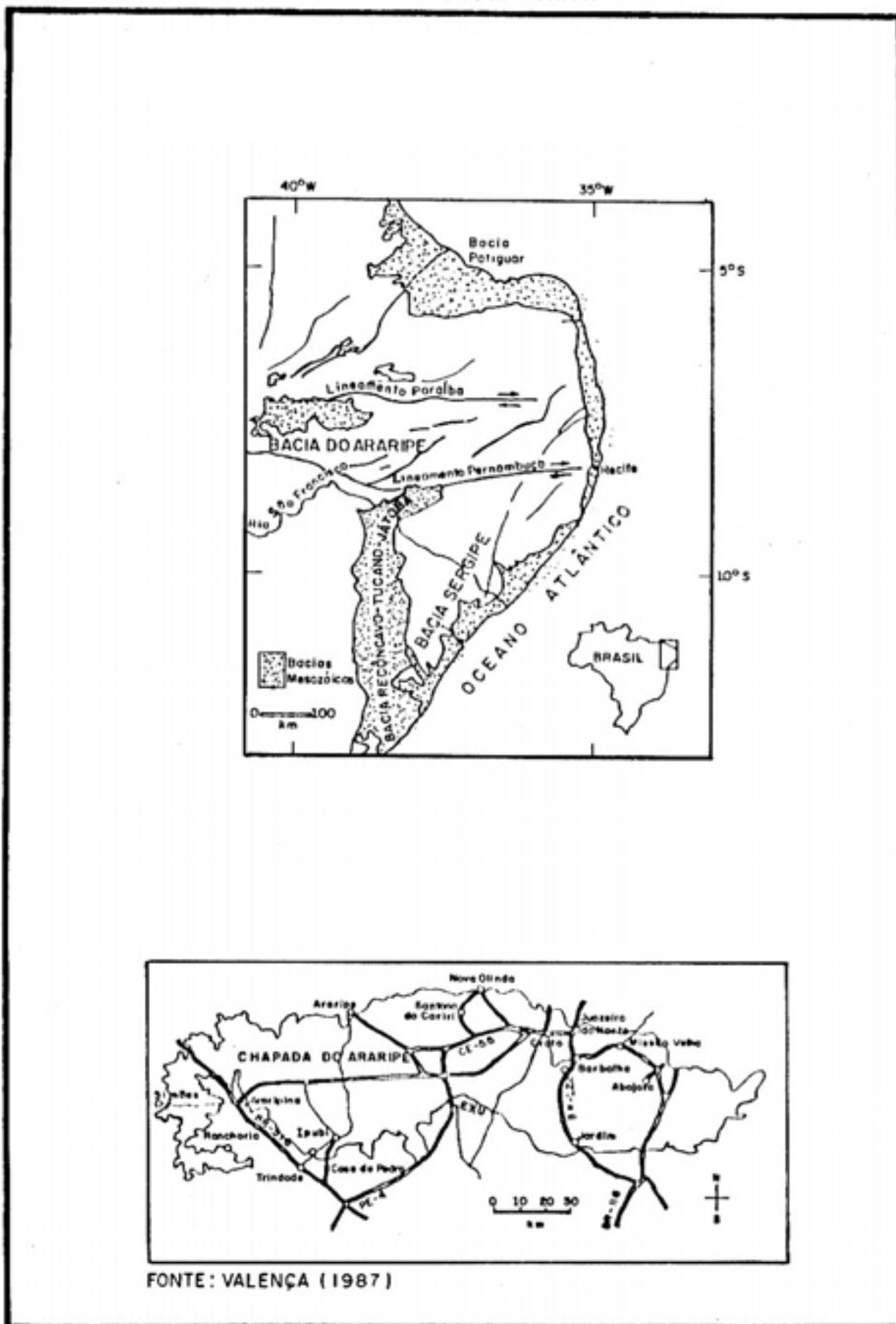
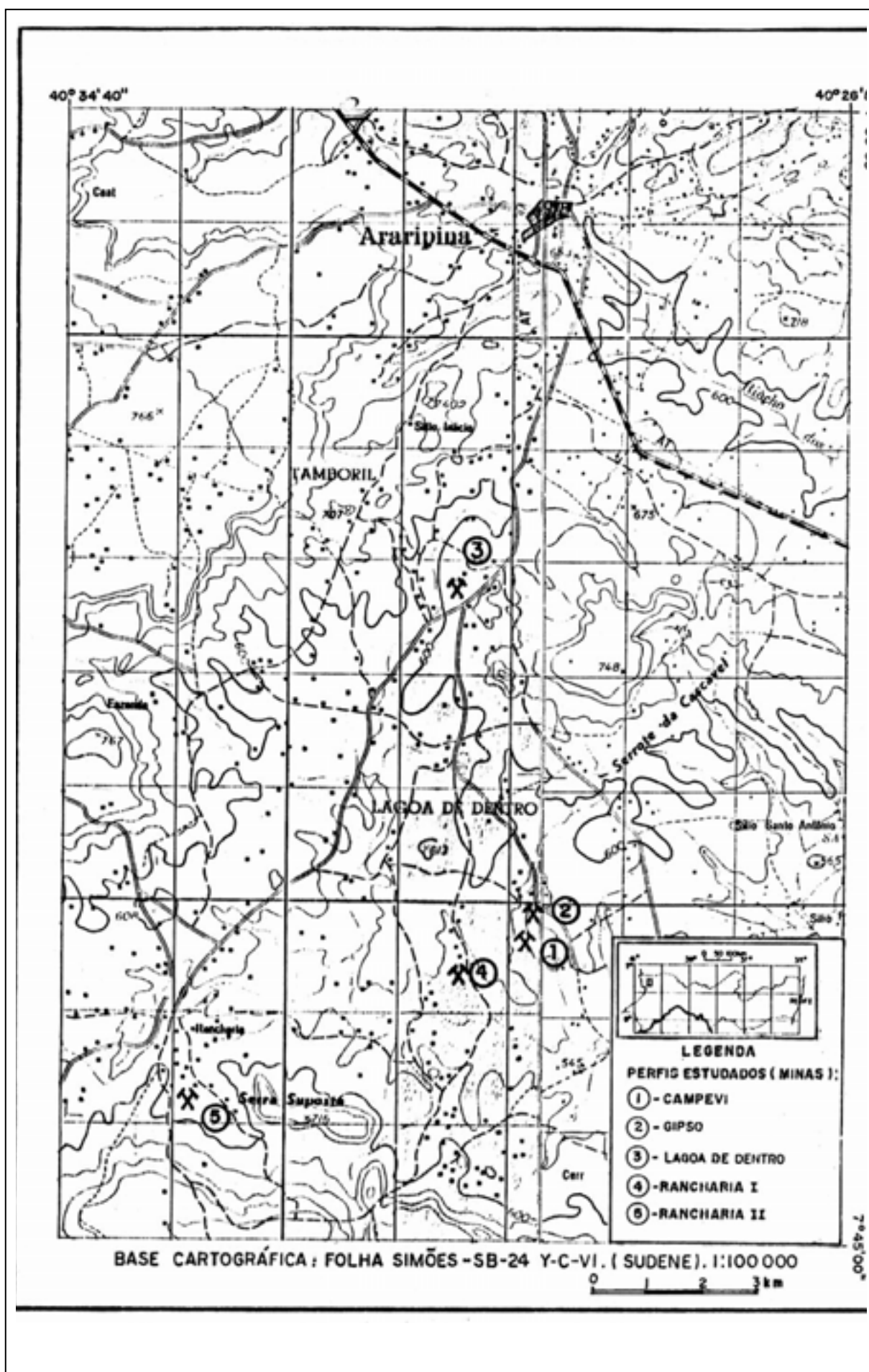


Fig. 5.1 – Mapa de localização (Adaptado de Silva, 1983)



5.2 – Mapa de localização dos perfis estudados (área Araripina)

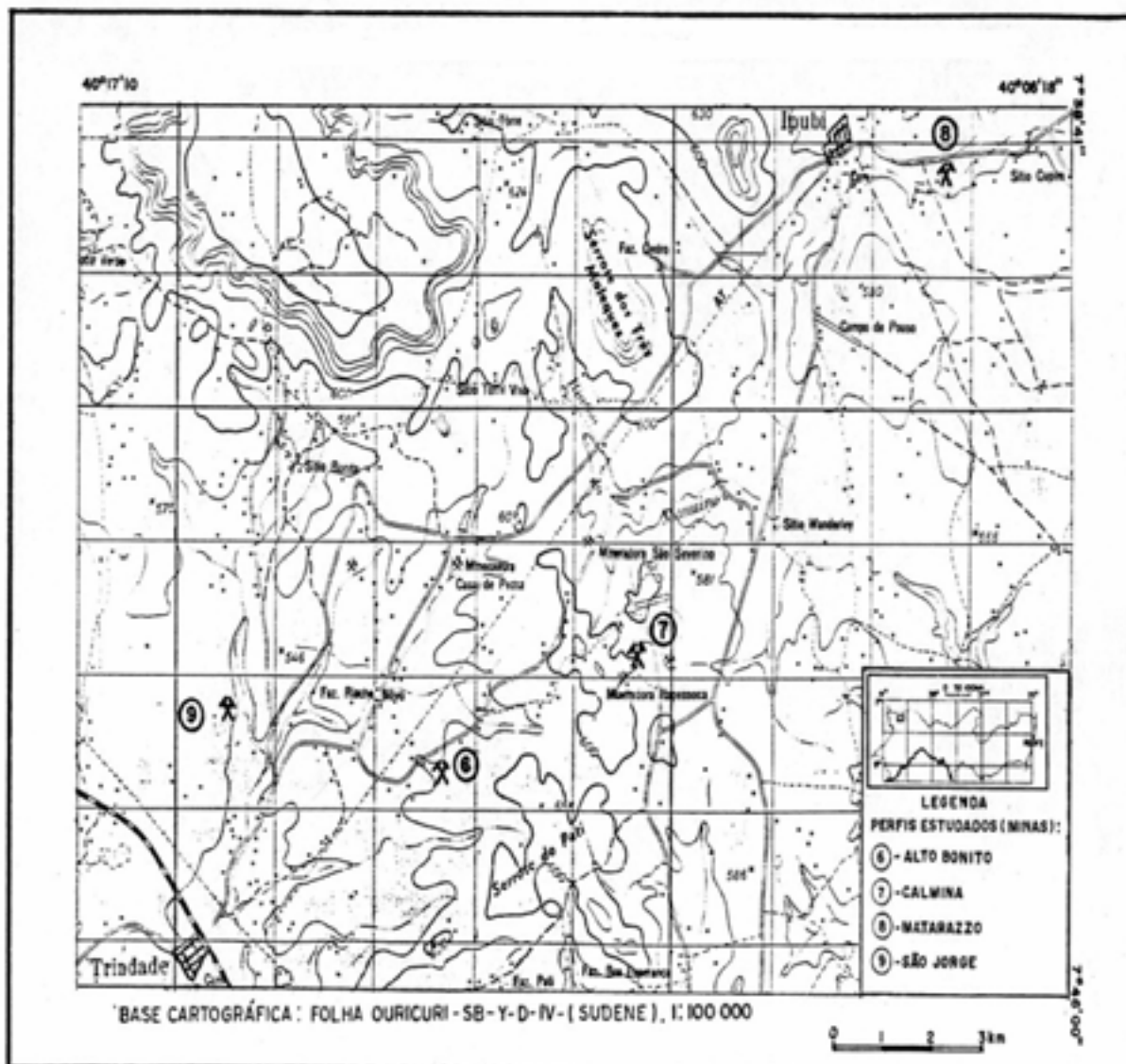


Fig. 5.3 – Mapa de localização dos perfis estudados (área Trindade/Ipubi-PE).

em um almofariz de porcelana, de forma a permitir a passagem total, a seco, em peneira ABNT nº 50 (abertura de 0,30 mm). Essas amostras foram quarteadas e divididas em duas amostras de aproximadamente 0,5 kg, uma das quais separada para servir como referência, também saco fechado de polietileno.

As amostras com granulação inferior a 0,30 mm foram quarteadas, cominuidas em almofariz de porcelana e passadas totalmente a seco em peneira ABNT nº 200 (abertura de 0,075 mm); essa granulação é a recomendada pela Petrobrás (1968) e pelo API para bentonitas para fluídos de perfuração rotativa de poços de petróleo.

5.2.3 - Caracterização Sedimentológica

5.2.3.1 - Determinação do teor de carbonatos

Foi inicialmente realizada uma seleção das amostras mediante ataque com HCl (25 %); aquelas que apresentaram efervescência foram submetidas ao ensaio de perda ao fogo.

Para a definição das temperaturas que deveriam ser utilizadas nessa determinação, levou-se em consideração o fato de que a perda ao fogo é devida principalmente às águas intercaladas (de coordenação e zeolíticas) e à água de hidroxilas dos argilominerais e também de componentes voláteis de matérias orgânicas, de sulfetos, de sulfatos e carbonatos.

A inexistência de sulfetos e sulfatos nos sedimentos estudados, excetuando-se os evaporitos (item 5.2.4.5 e 5.2.4.6) e o conhecimento do comportamento térmico da água constituinte dos argilominerais e da matéria orgânica, ambas sendo eliminadas a uma temperatura de 600 °C, levou à determinação do teor de carbonatos em todas as amostras coletadas, mediante o seguinte procedimento: combustão a 600 °C e 1000 °C, até peso constante, de uma alíquota de 2 g de amostras preparada, de acordo com o item 5.2 e passada em peneira ABNT nº 200.

A partir do conhecimento dos pesos medidos nas duas temperaturas, foi possível a determinação do percentual ponderal do CO₂ liberado, o que permitiu o cálculo do teor de carbonato de cálcio. Os resultados acham-se na Tabela V-1.

5.2.3.2- Análise granulométrica por peneiramento e sedimentação

Em função dos teores de carbonato de cálcio verificados nas amostras, foi admitido o seguinte procedimento com vistas à determinação da granulometria dos sedimentos, utilizando alíquotas de amostras naturais preparadas de acordo com o item 5.2.

5.2.3.2.1- Amostras com teores de CaCO₃ iguais ou inferiores a 5%: as alíquotas correspondentes foram submetidas a análise granulométrica sem serem atacadas com HCl, considerando que os erros (admissíveis) cometidos em análises granulométricas são da

ordem de 5%. As amostras que por ataque com HCl não apresentaram efervescência (item 5.2.3.1) foram incluídas neste grupo.

5.2.3.2.2- Amostras com teores de CaCO_3 superiores a 5% e iguais ou inferiores a 25%: as alíquotas correspondentes foram atacadas com HCl, na concentração de 10 %, lavadas com água de maneira retirar o excesso do diluente e submetidas a análise granulométrica.

5.2.3.2.3- Amostras com teores de CaCO_3 superiores a 25%: as alíquotas correspondentes foram atacadas com HCl, na concentração 10%, lavadas com água e passadas em peneira ABNT nº 130 (abertura 0,062 mm) de maneira a separar as frações areia e silte + argila.

A análise granulométrica (referidas nos itens 5.2.3.2.1 e 5.2.3.2.2) foi realizada mediante o seguinte procedimento: determinação do percentual em peso da fração grosseira total, por peneiramento a úmido utilizando peneira ABNT nº 130 (abertura 0,062 mm); determinação dos intervalos granulométricos da fração grosseira por peneiramento em equipamento ROTAP, por 10 minutos; determinação da fração fina (fração que passa pela peneira ABNT nº 130 (abertura 0,062 mm), de acordo com método de Buoyoucos (apud Suguio, 1973) recomendado pela ABNT (1984), utilizando densímetro com graduação entre $0,990 \text{ g/cm}^3$ e $1,050 \text{ g/cm}^3$, previamente calibrado. As leituras no densímetro foram efetuadas quando decorridos 15 e 30 segundos; 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos; 1, 2, 4, 8 e 16 horas, a contar do início da sedimentação, de acordo com recomendações de Suguio (op. cit.). Os dados granulométricos estão contidos na Tabela V-2 e V-3.

Na apresentação gráfica dos dados granulométricos usou-se apenas à parte detrítica (o material dissolvido durante a preparação da amostra não foi considerado). Desse modo, recalcularam-se as análises, para obter 100% da matéria detrítica (Fig. 5-4 a 5.11).

A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth (1922).

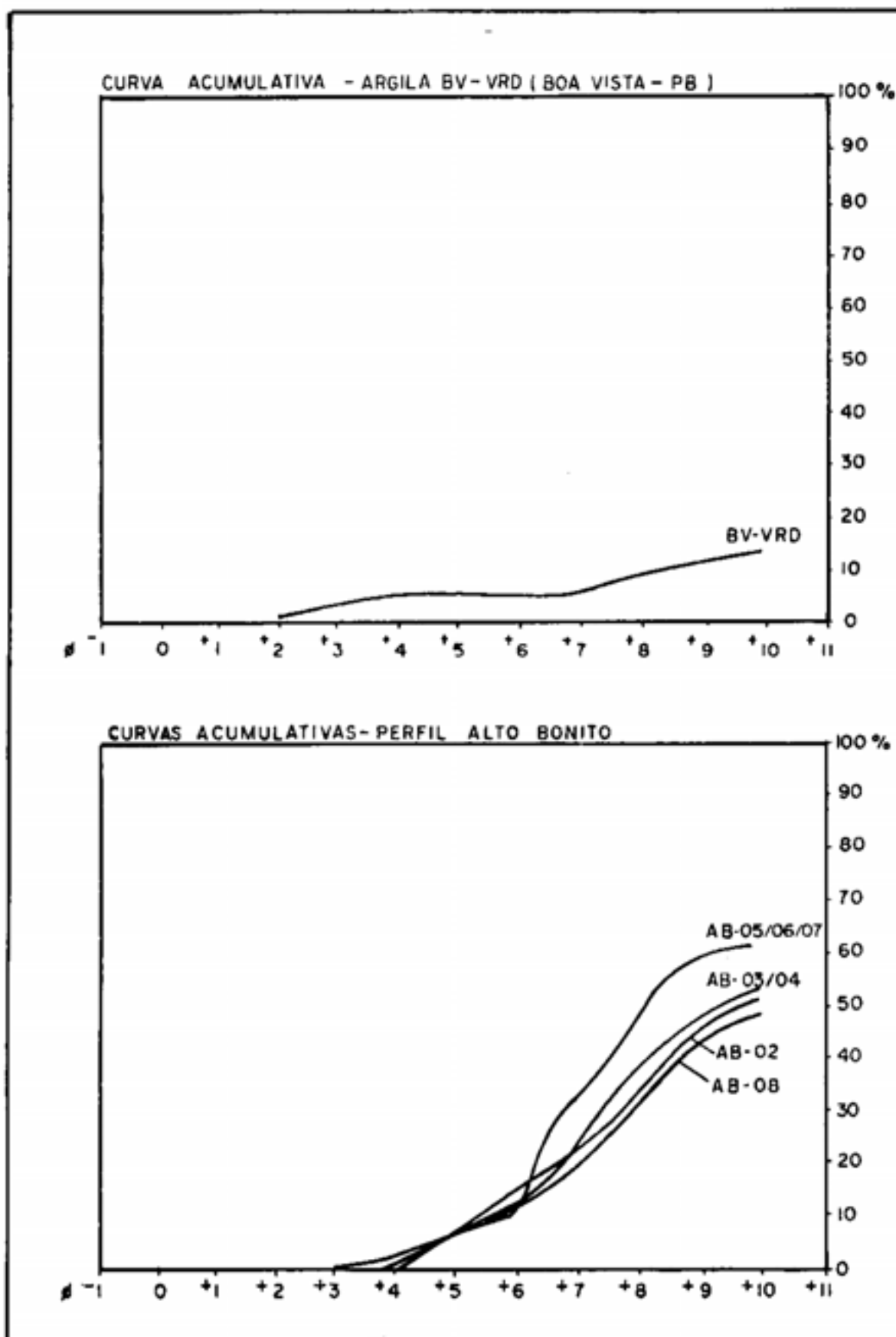


Fig.5.4 – Curvas cumulativas da argila BV-VRD (Boa Vista –PB) e dos sedimentos representativos dos perfis da mina Alto Bonito.

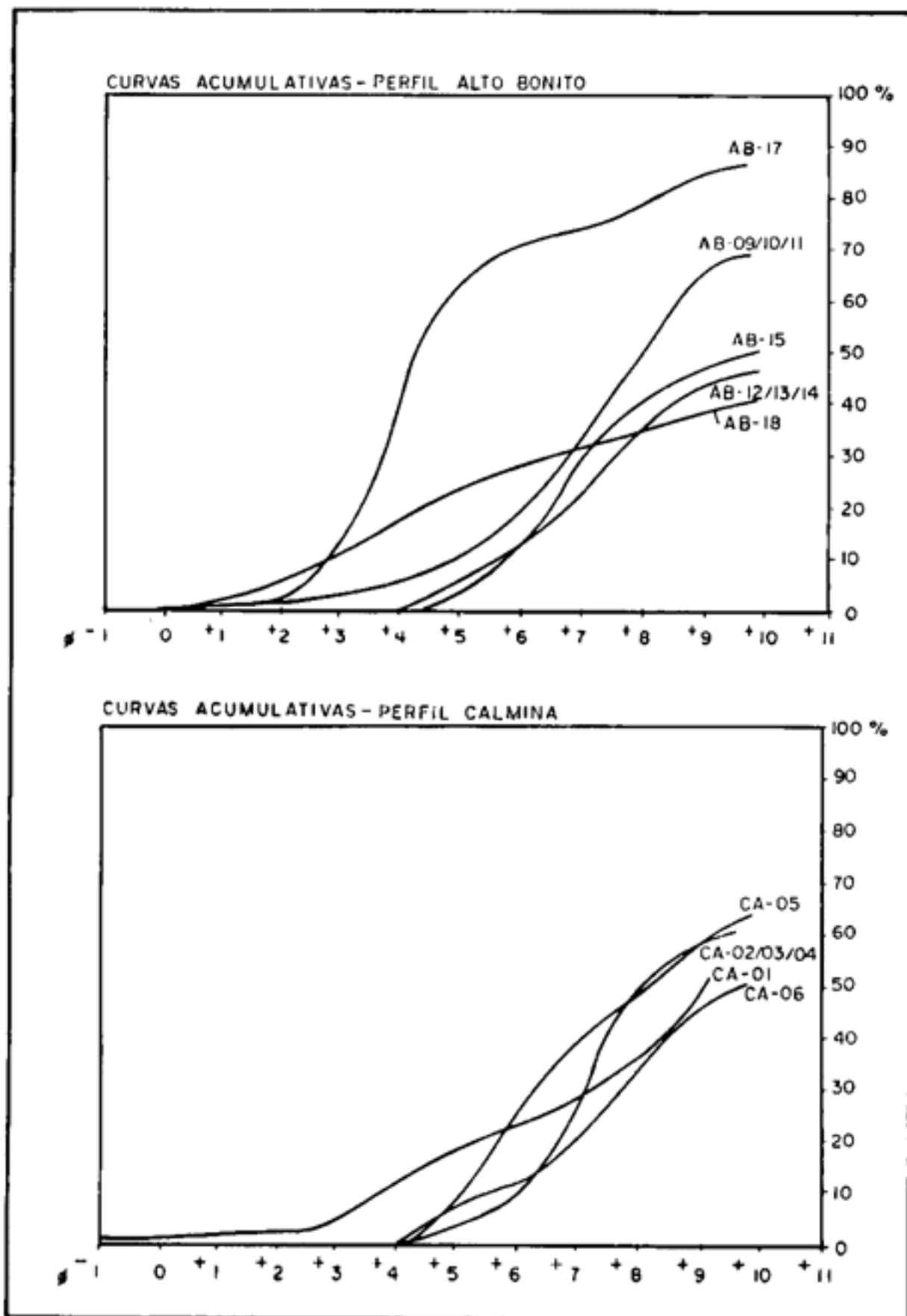


Fig. 5.5 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos dos perfis Alto Bonito e Calmina.

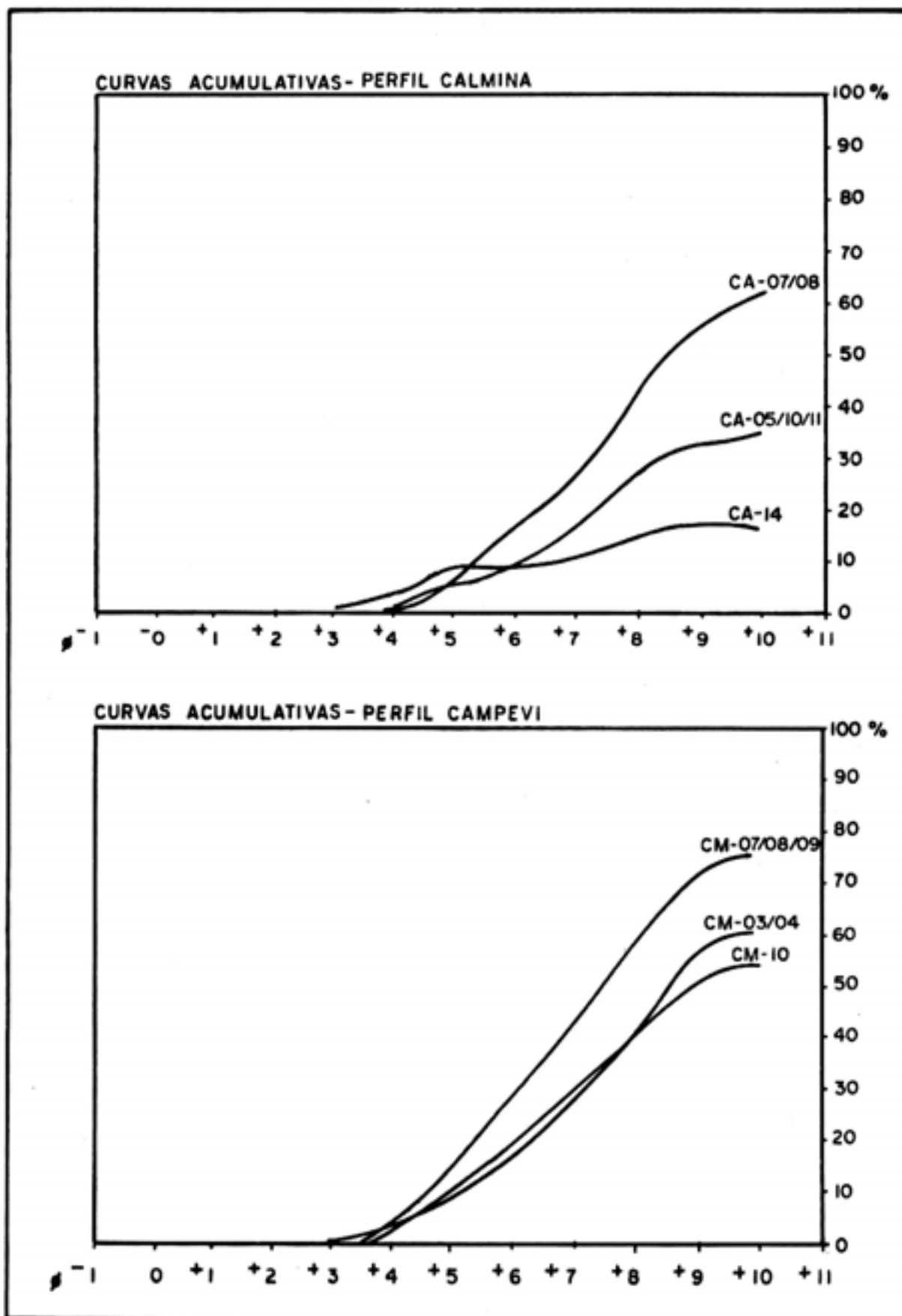


Fig. 5.6 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos dos perfis Calmina e Campevi.

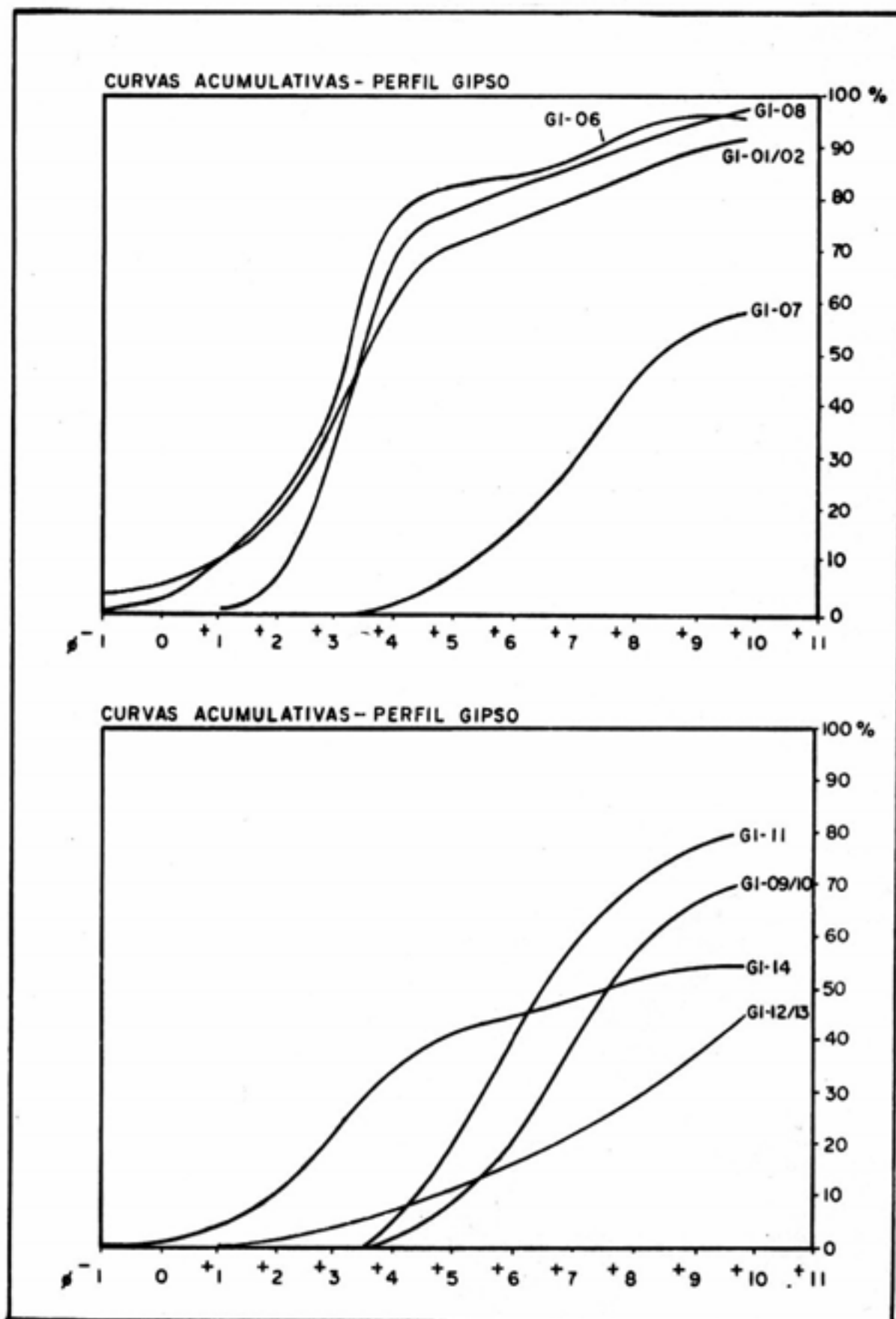


Fig. 5.7 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos do perfil Gipso.

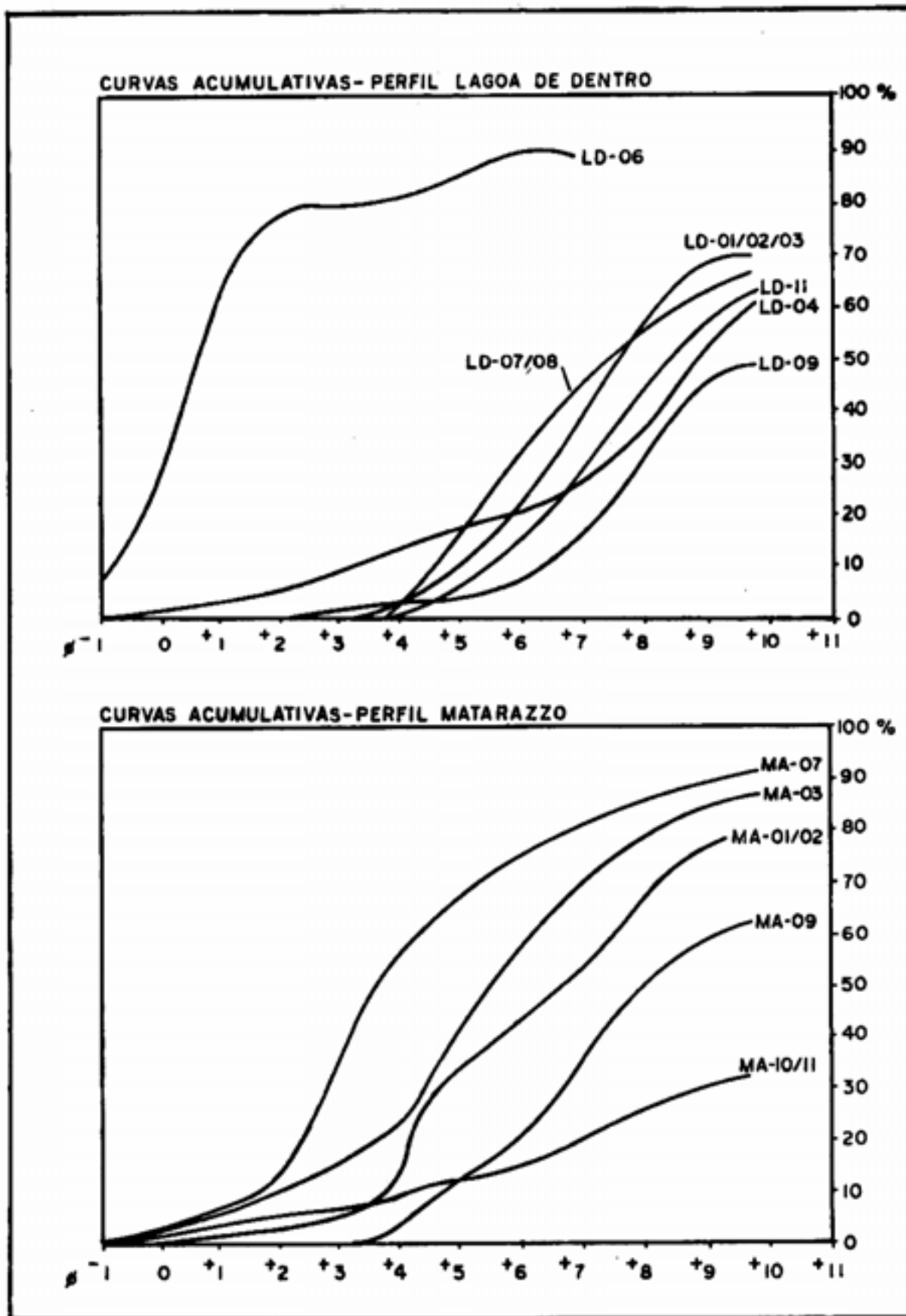


Fig. 5.8 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos dos perfis Lagoa de Dentro e Matarazzo.

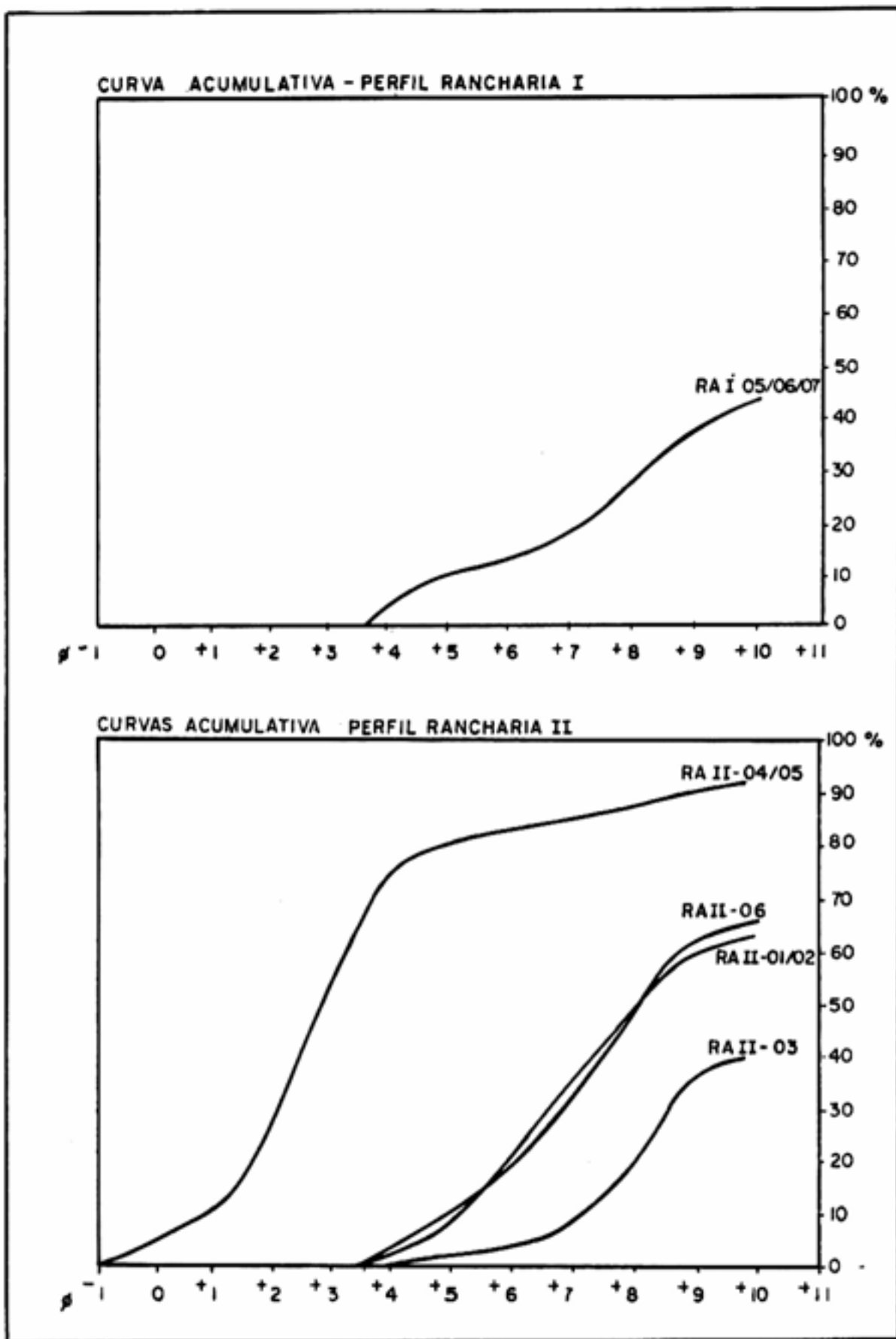


Fig. 5.9 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos dos perfis Rancharia I e Rancharia II.

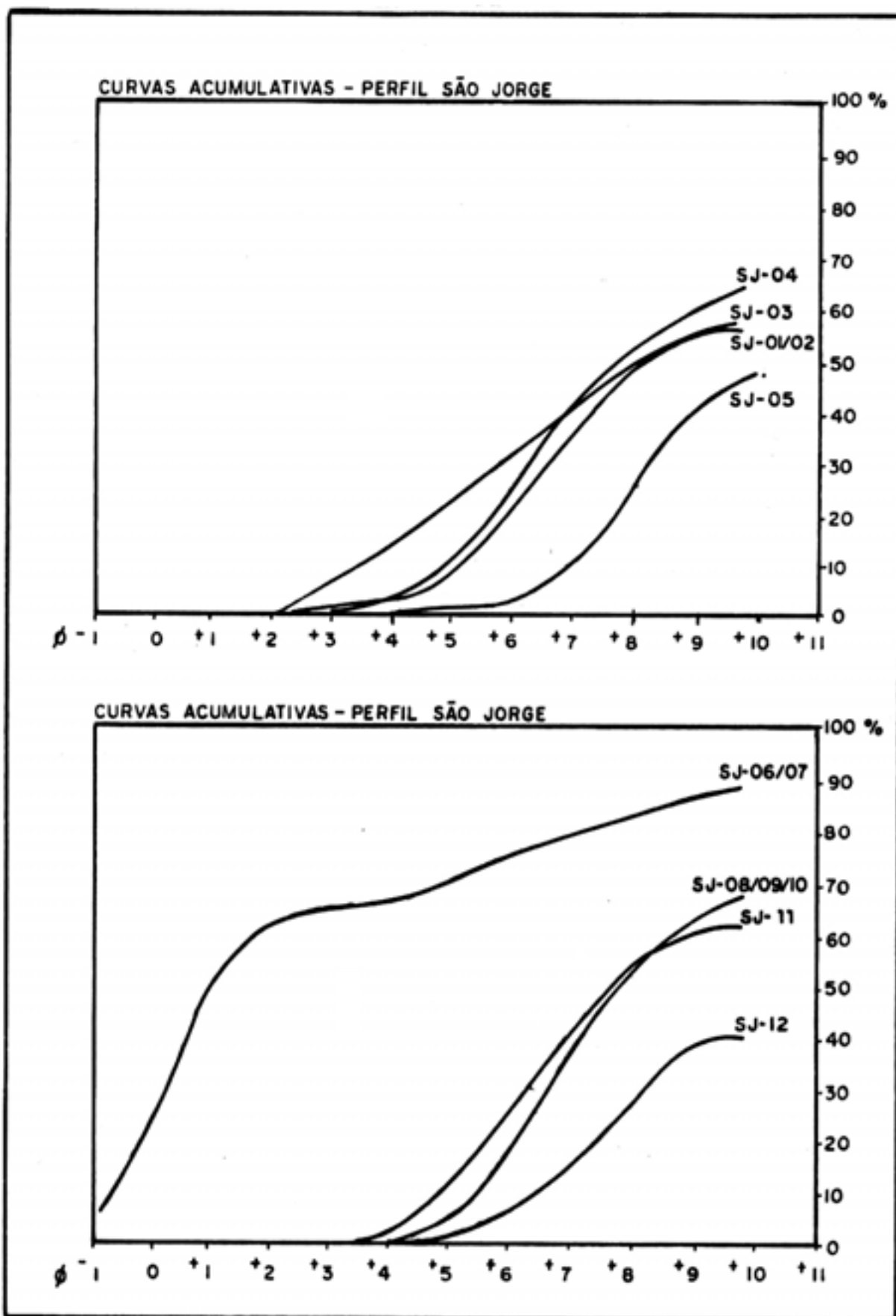


Fig. 5.10 – Curvas cumulativas dos sedimentos representativos do perfil São Jorge.

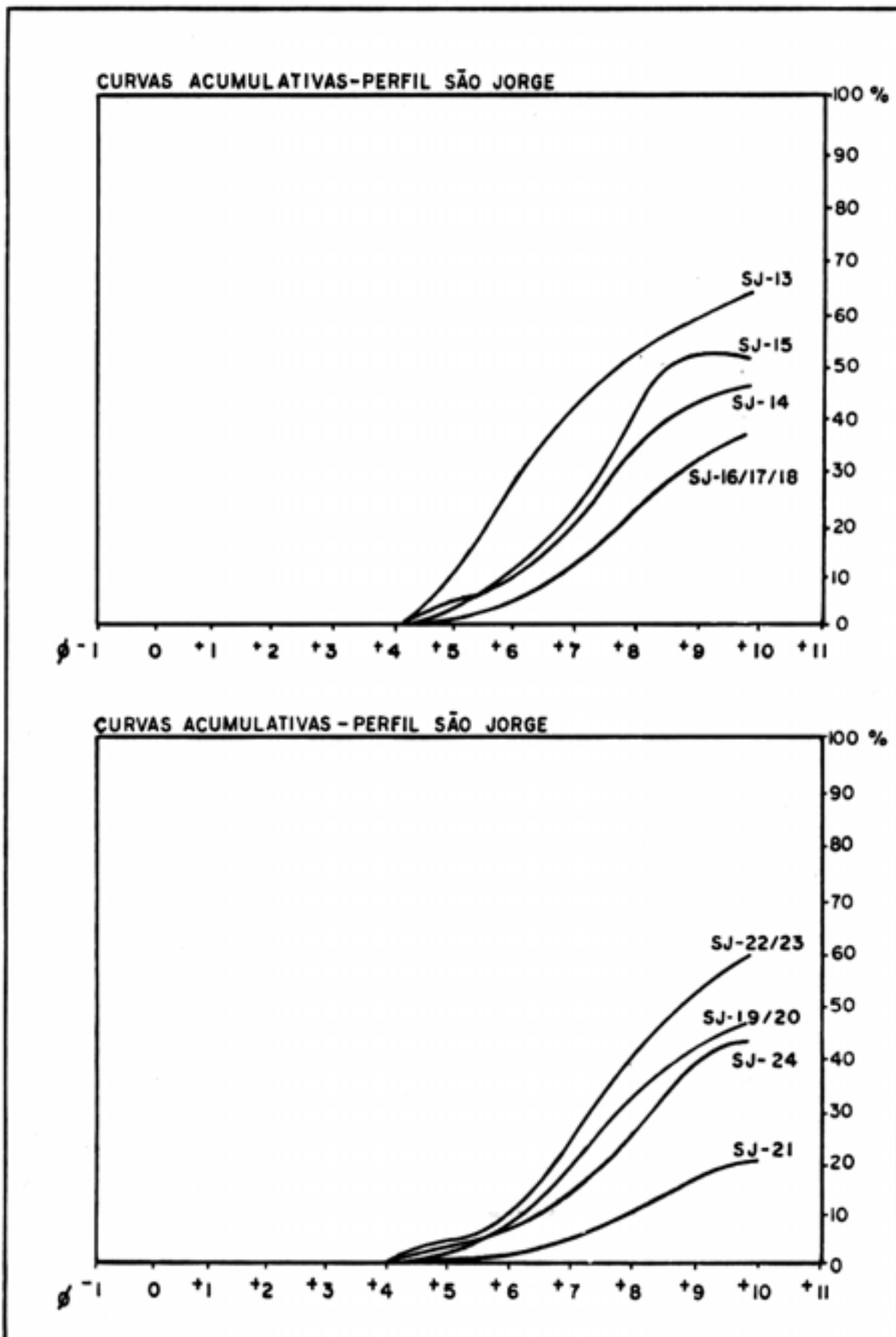


Fig. 5.11-Curvas cumulativas dos sedimentos representativos do perfil São Jorge.

5.2.4 - Caracterização Tecnológica

Em seu estado natural, os solos e argilas contêm água nos vazios intersticiais entre as partículas (água líquida), adsorvidas na superfície das partículas dos argilominerais (água rígida) e na forma de oxidrilas ou hidroxilas na estrutura cristalina das partículas dos argilominerais (Souza Santos, 1989).

Grim (1965) demonstrou que a água líquida tinha propriedades diferentes da água rígida adsorvida na superfície dos argilominerais. Essa é constituída por moléculas arranjadas em uma espécie de estrutura rígida justaposta à superfície externa dos cristais dos argilominerais e paralelas aos planos basais dos cristais, tendo propriedades mais próximas às do gelo do que às das águas líquidas comuns.

A natureza da superfície e, portanto, da estrutura cristalina do argilomineral, a natureza dos cátions e ânions adsorvidos são fatores que influenciam fundamentalmente na espessura e estabilidade desta água rígida, cuja transição com a água líquida se faz de forma brusca ou gradual (Souza Santos, 1989).

Os condicionantes que exercem influência sobre propriedades do sistema água + argila, tais como plasticidade, viscosidade, tixotropia, poder ligante e resistência mecânica no estado úmido, correspondem à natureza da água adsorvida, à superfície das partículas dos argilominerais e aos fatores que influenciam na sua formação.

As águas líquida e rígida ficam retidas nos argilominerais a temperaturas relativamente baixas, podendo ser eliminadas pelo aquecimento a temperatura respectiva de até 100°C e entre 100°C e 150°C. Água de hidroxilas é eliminada a temperaturas superiores a 300°C.

Água que pode ser eliminada a temperaturas baixas pode ser classificada, segundo Souza Santos (op. cit.) em três categorias, segundo a sua relação com o tipo e a estrutura dos argilominerais presentes:

- 1- A água líquida nos poros, na superfície e em volta das arestas

das partículas nos argilominerais e outros minerais de argila;

2 - No caso das vermiculitas, esmectitas (e minerais de camadas interestratificadas dessas estruturas), e da forma hidratada da haloisita, a água se encontra intercalada entre as camadas que definem a estrutura cristalina desses filossilicatos (é essa água que causa o inchamento ou expansão basal do plano 001 da montmorilonita, por causar um aumento da distância Interplanar basal);

3 - No caso dos argilominerais sepiolita-paligorsquita, a água se encontra dentro dos canais tubulares existentes entre as unidades estruturais fibrilantes.

Assim, a compreensão do comportamento do sistema água + argila é fundamental para o estudo das propriedades plásticas, entre outras, a dos argilominerais.

Dessa forma, a avaliação das características das argilas, objeto de estudo desta Dissertação, segundo o comportamento do sistema água + argila, foi realizada mediante ensaios de higroscopicidade, umidade e inchamento (macroscópico e de Foster), discriminadas a seguir, com finalidade de caracterização tecnológica.

5.2.4.1 - Higroscopicidade

Foram submetidas a um ensaio de higroscopicidade amostras de argilas, passadas em peneira ABNT nº 50, preparadas conforme o item 5.2.2.

O método de ensaio, desenvolvido no Agrupamento de Tecnologia Inorgânica da Divisão de Química e Engenharia Química do IPT (Ferreira,1972), consta das seguintes etapas: 2 g da mostra tratada é colocada em recipiente adequado, de forma que fique exposta a maior área possível, sendo usado, para essa finalidade vidros de relógio previamente tarados ou placas de Petri. A mostra, em seguida, colocada em câmara úmida com umidade relativa de 100% e sendo feitas pesagens até peso constante. A câmara úmida foi utilizada a uma temperatura oscilando entre 25°C e 30°C na tentativa de simular as condições naturais a que as argilas estiveram submetidas.

A higroscopicidade é determinada em porcentagem em relação à

massa seca a 130°C, por 24 horas.

Os resultados do ensaio realizados nas argilas objeto desta Dissertação e de uma argila verde-claro referência BV-VRD, da mina Bravo, distrito de Boa Vista, município de Campina Grande-PB utilizada como referência, encontram-se na Tabela V-4.

5.2.4.2 - Umidade natural⁽⁴⁾

Da amostra partilhada sem nenhum tratamento prévio, foi separada uma alíquota com 5 g a 10 g e aquecida por 48 horas em estufa com temperatura de 45°C e pesada até atingir massa constante. Essa operação foi repetida com a alíquota inicial sendo submetida a aquecimentos consecutivos a temperaturas de 130°C, 200°C e 300°C. As umidades são calculadas em percentagem em relação à massa seca às temperaturas mencionadas. As umidades das amostras compostas correspondem à média aritmética dos valores das umidades das amostras simples respectivas.

Os resultados das umidades das argilas em estudos encontram-se na Tabela V-5.

5.2.4.3 - Inchamento macroscópico

Amostras naturais que apresentam fragmentos com dimensões que permitiam a confecção de blocos foram submetidas aos ensaios descritos a seguir. Foram moldados dois prismas retangulares de cada amostra, um dos quais considerado como referencial.

Sobre uma das espécies foram pingadas de 5 a 6 gotas de água destilada diariamente e verificado seu comportamento, até cessar a influência da água sobre a amostra, relacionada basicamente às mudanças geométricas e estruturais da amostra. Foram determinadas as umidades inicial e final referidas, respectivamente, às umidades do fragmenta referencial e do fragmento umedecido, 48 horas após a última adição de água da operação de umedecimento. Os resultados do ensaio estão contidos na Tabela V-6.

⁴ É a umidade que apresenta a amostra coletada e colocada imediatamente em saco de polietileno, que é mantido fechado até a execução do ensaio.

Foram submetidas ao ensaio de inchamento de Foster amostras naturais de argilas secas a 45°C por 24 horas. Aproximadamente 5 g da amostra foram cominuídos em almofariz de porcelana e passados em peneira ABNT nº 200.

Pesou-se 1 g da mostra passada na primeira ABNT nº 200, que foi colocada em uma proveta graduada com capacidade para 100 ml contendo 100 ml de água destilada. Durante a colocação da argila, foram observados os cuidados de não permitir a flutuação e a formação excessiva de grumos, o que se verifica quando da rápida incorporação da argila. Após 24 horas de repouso foi feita a leitura do volume do precipitado de argila na proveta. As leituras relativas ao ensaio de inchamento de Foster encontram-se na Tabela V-7.

5.2.4.5 - Resíduo em peneira ABNT nº 325

Foram submetidas a esse ensaio alíquotas de amostras sem tratamento prévio.

Uma fração da mostra com massa correspondente a 100 g foi dispersa em uma solução formada por 10ml de hidróxido de amônio concentrado (28%) completada para 200 ml com água. A dispersão foi fervida por um período de 2 horas, sendo a seguir resfriada e passada em peneira ABNT nº 325. O resíduo foi pesado e o resultado expresso em percentagem em relação do peso inicial da mostra seca a 105°C.

Foi ainda realizado estudo mineralógico e qualitativo do resíduo, em lâminas petrográficas impregnadas. As lâminas foram analisadas em microscópio polarizador, marca Zeiss, constituído por ocular com aumento de 6,3, 10 e 40 vezes, objetivas com aumento de 6,3, 10 e 40 vezes. As observações encontram-se resumidas na Tabela V-8.

5.2.4.6 - Difração de raios-X

Alíquotas de amostras passadas na peneira ABNT nº 200 (item 5.2.2), foram submetidas ao ensaio de difração de raios-X, utilizando método do pó; foram colocadas em lâminas escavadas de vidro.

Foi utilizado um difratômetro de raios-X marca RIGAKO - Geigerflex, operando sob tensão de 40Kw e corrente 20 mA, utilizando radiação K-alfa do cobre, fendas de difusão DS1, de recebimento RS

0,6° e de espalhamento SS 1°; velocidade do goniômetro de 1° (2θ) por minuto; velocidade da carta de 20 mm/minuto; intensidade de 4×10^2 e constante de tempo igual a 2.

As amostras foram colocadas em lâminas de vidro escavadas, levemente compactadas e alisadas de modo a intensificar as reflexões basais (001).

Face às dificuldades de interpretação que normalmente ocorrem quando há presença de diferentes grupos de argilominerais (Brindley & MacEwan, 1951; Brindley, 1961; Brindley & Ougland, 1962; Souza Santos et al., 1964), as reflexões (060) não foram cogitadas no estudo ora desenvolvido.

A difração de raios-X foi realizada percorrendo a região entre $2\theta = 2^\circ$ e $2\theta = 45^\circ$, uma vez que há interesse em identificar, além dos grupos de argilominerais, em especial as esmectitas, outros integrantes da associação mineral, componentes das argilas estudadas, na fração silte + argila⁽⁵⁾.

As alíquotas de amostras foram também submetidas a tratamento com glicol etilênico por gotejamento nas bordas das lâminas de vidro escavadas, onde as amostras já haviam sido previamente colocadas. As lâminas foram em seguida expostas durante 72 horas a uma atmosfera saturada de glicol etilênico em dessecador. A fração de raios-X, neste caso, foi feita entre $2\theta = 2^\circ$ e $2\theta = 20^\circ$.

Os difratogramas das argilas da região do Araripe e de uma amostra de argila de cor verde-claro do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande-PB, encontram-se nas Fig.s 5.12 a 5.32.

⁵ Fração como definida na nomenclatura tecnológica, cujo limite superior corresponde ao diâmetro 0,075mm.

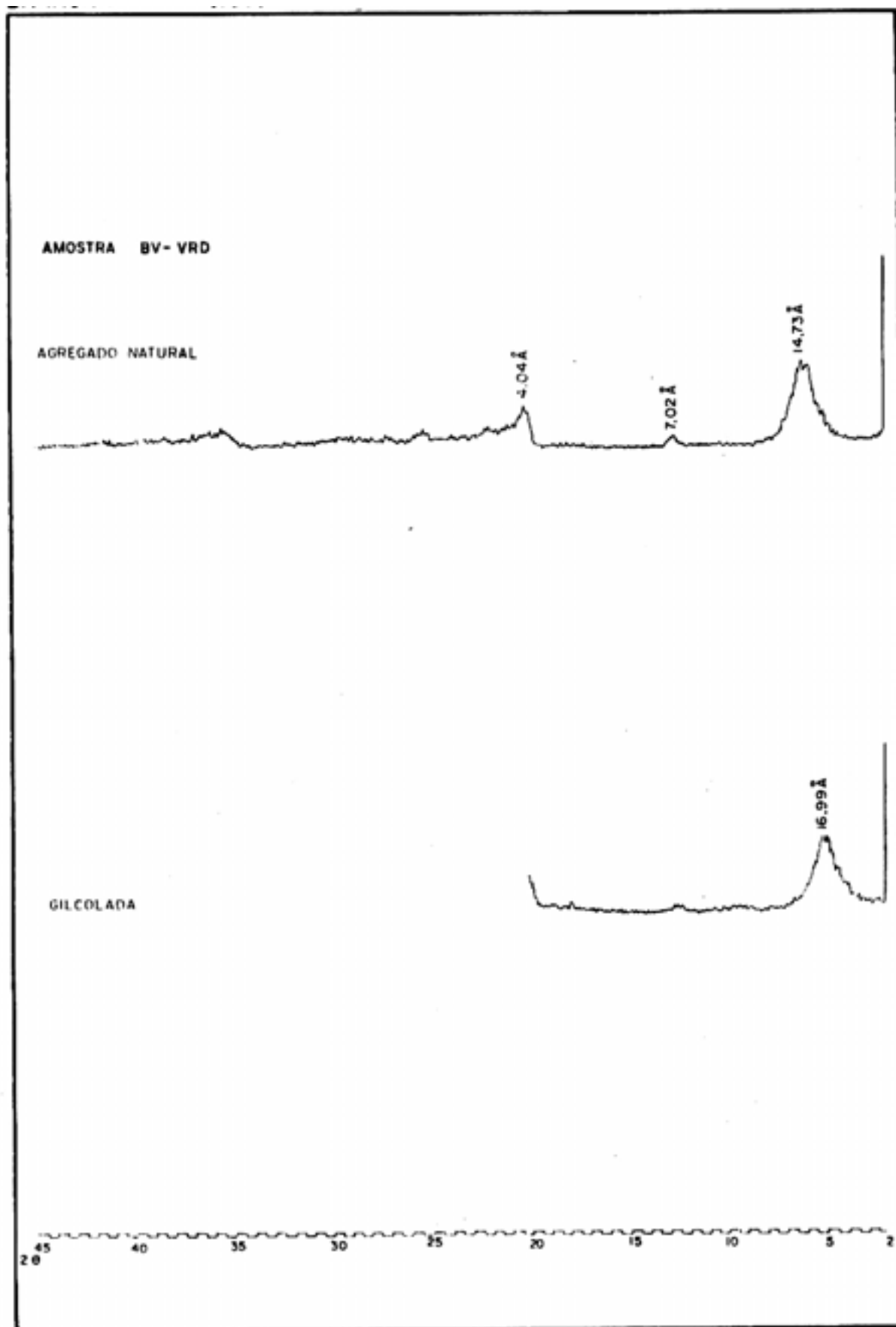


Fig. 5.12 – Difractogramas de raios-X da amostra BV-VRD, natural e glicolada (radiação K-alfa do cobre).

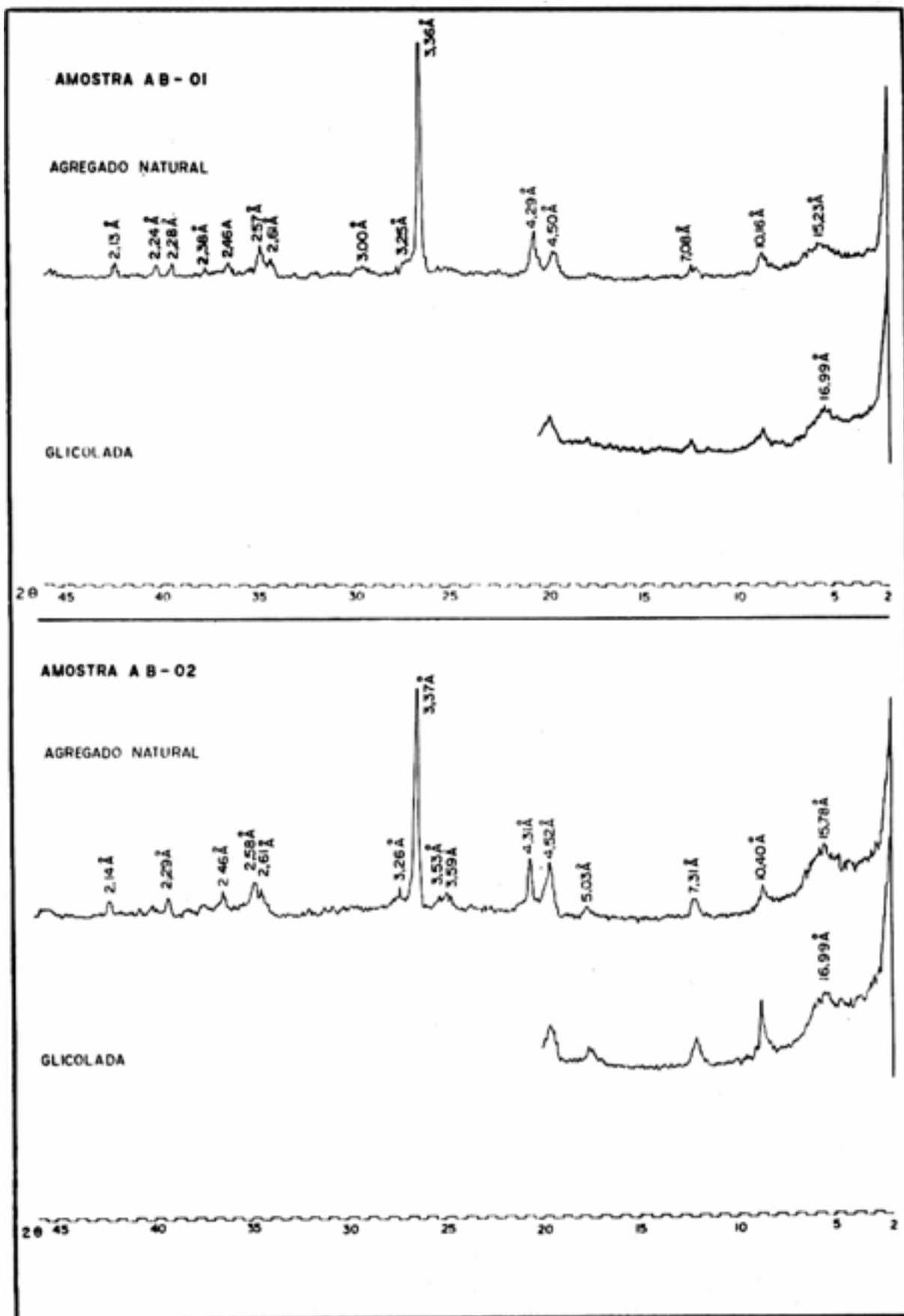


Fig. 5.13 – Difractogramas de raios-X das amostras AB-01 e AB-02, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

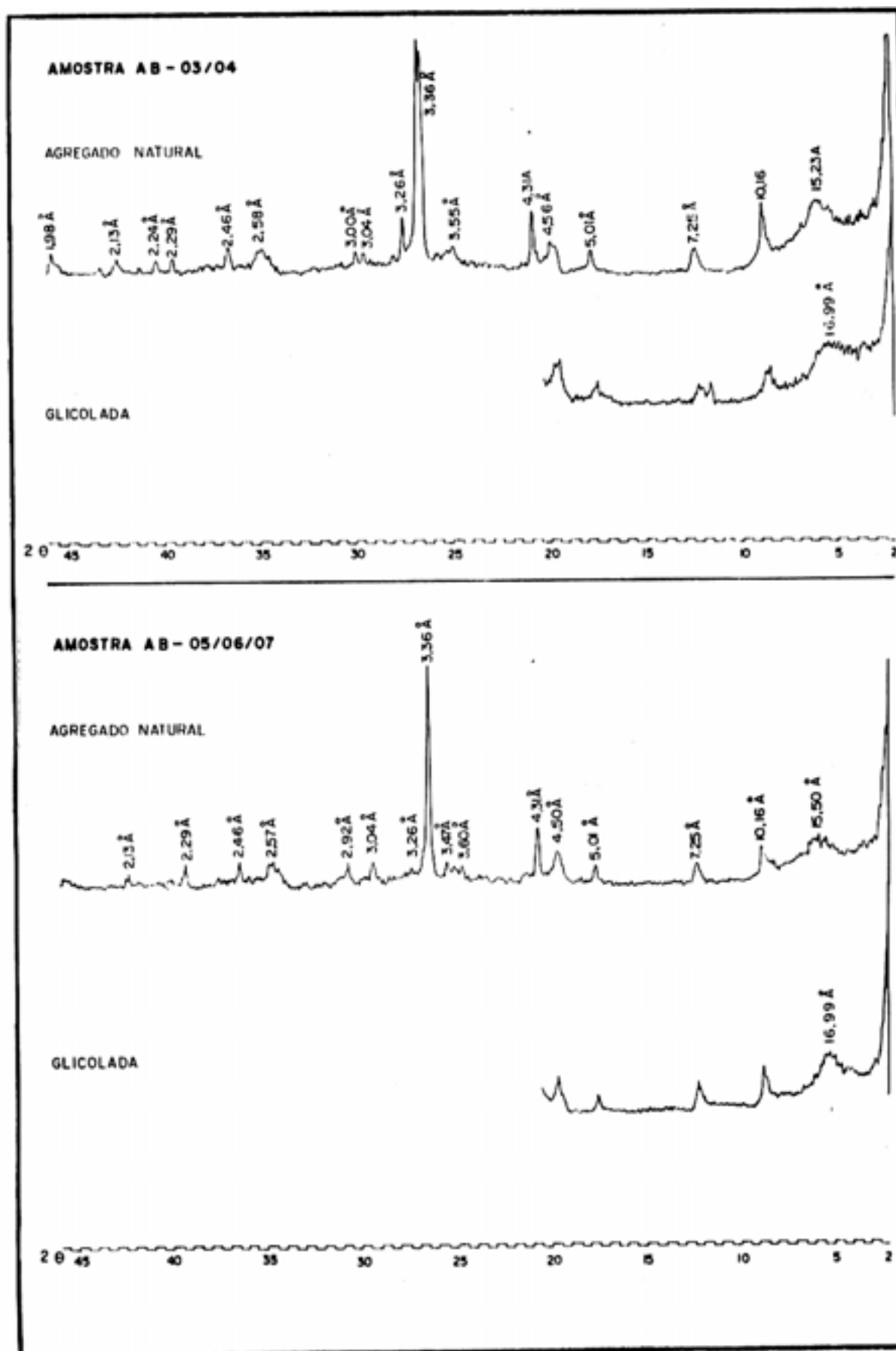


Fig. 5.14 – Difractogramas de raios-X das amostras AB-03/04 e AB-05/06/07, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

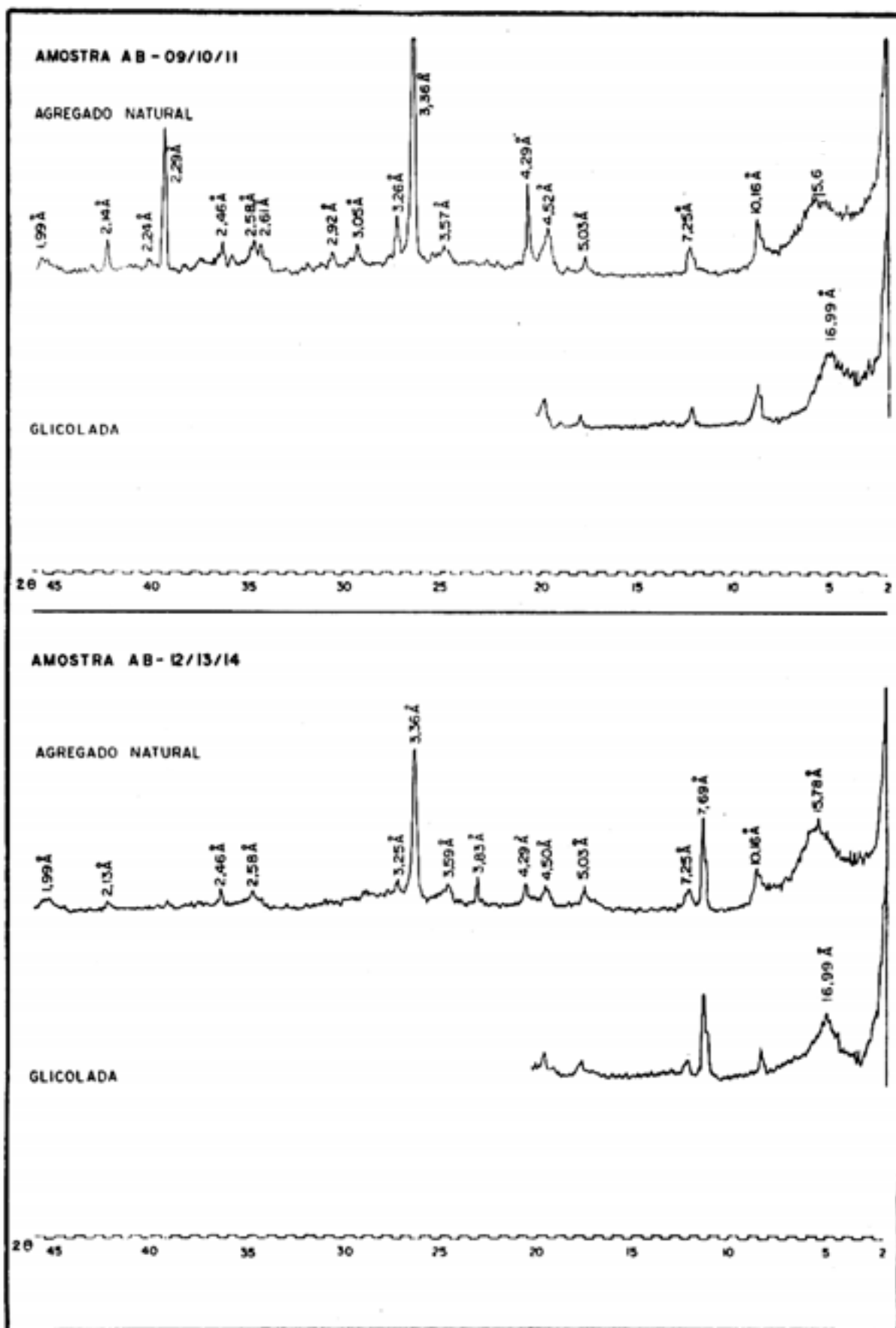


Fig. 5.15 – Difractogramas de raios-X das amostras AB-09/10/11 e AB-12/13/14 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

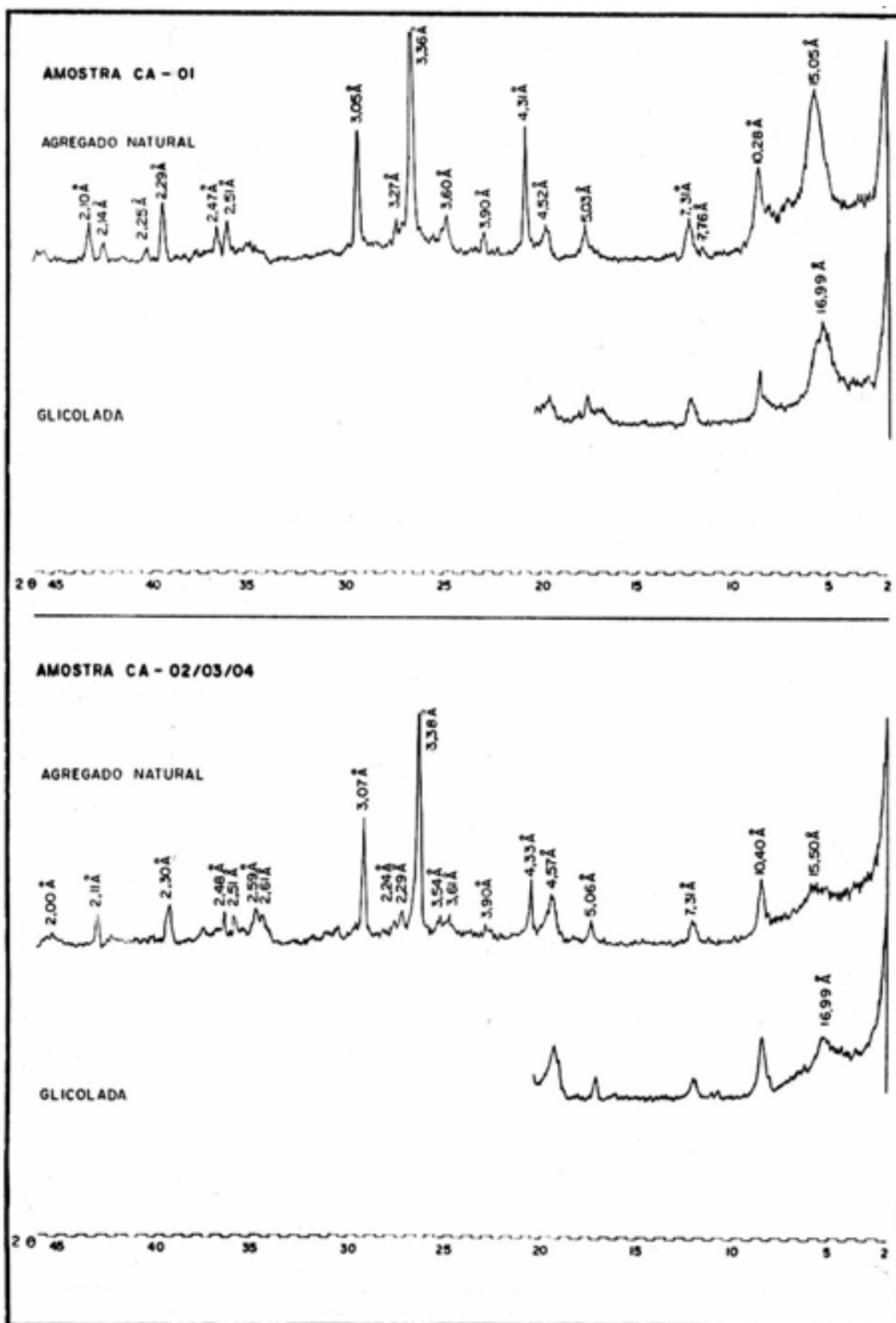


Fig. 5.16 – Difractogramas de raios-X das amostras CA-01 e CA-02/03/04, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

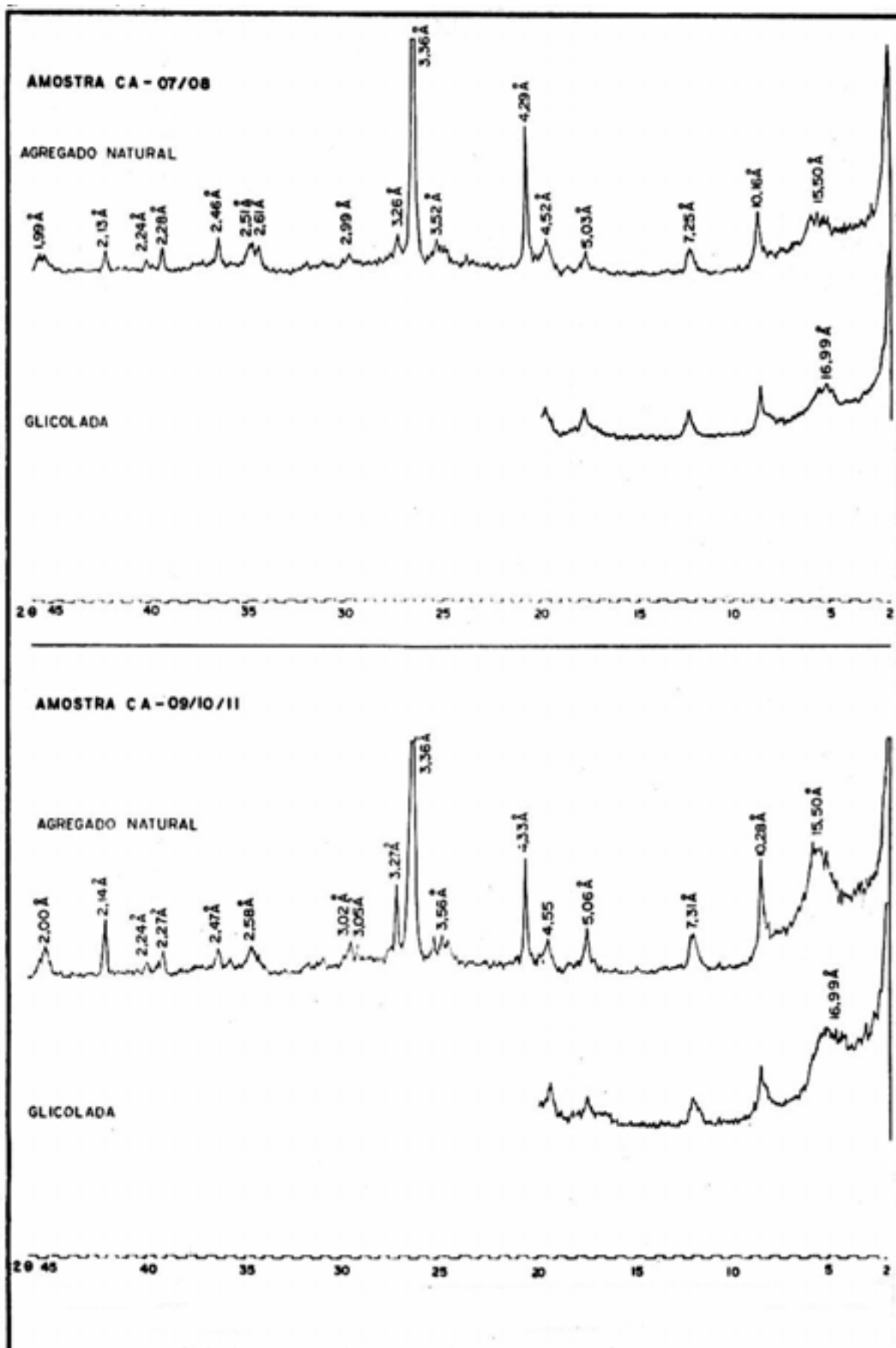


Fig. 5.17 – Difractogramas de raios-X das amostras CA-07/08 e CA-09/10 /11, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

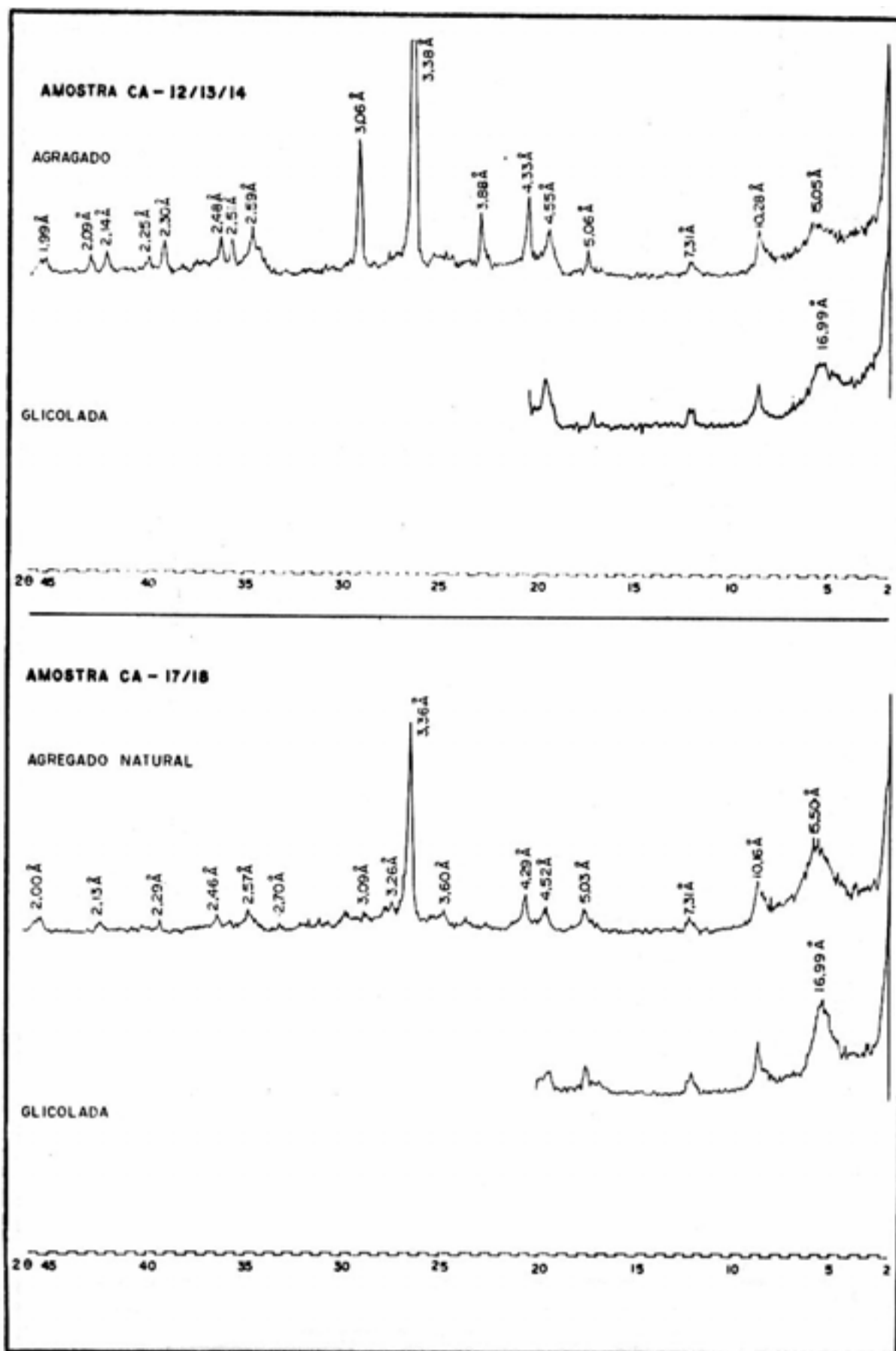


Fig. 5.18 – Difractogramas de raios-X das amostras CA-12/13/14 e CA-17/18, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

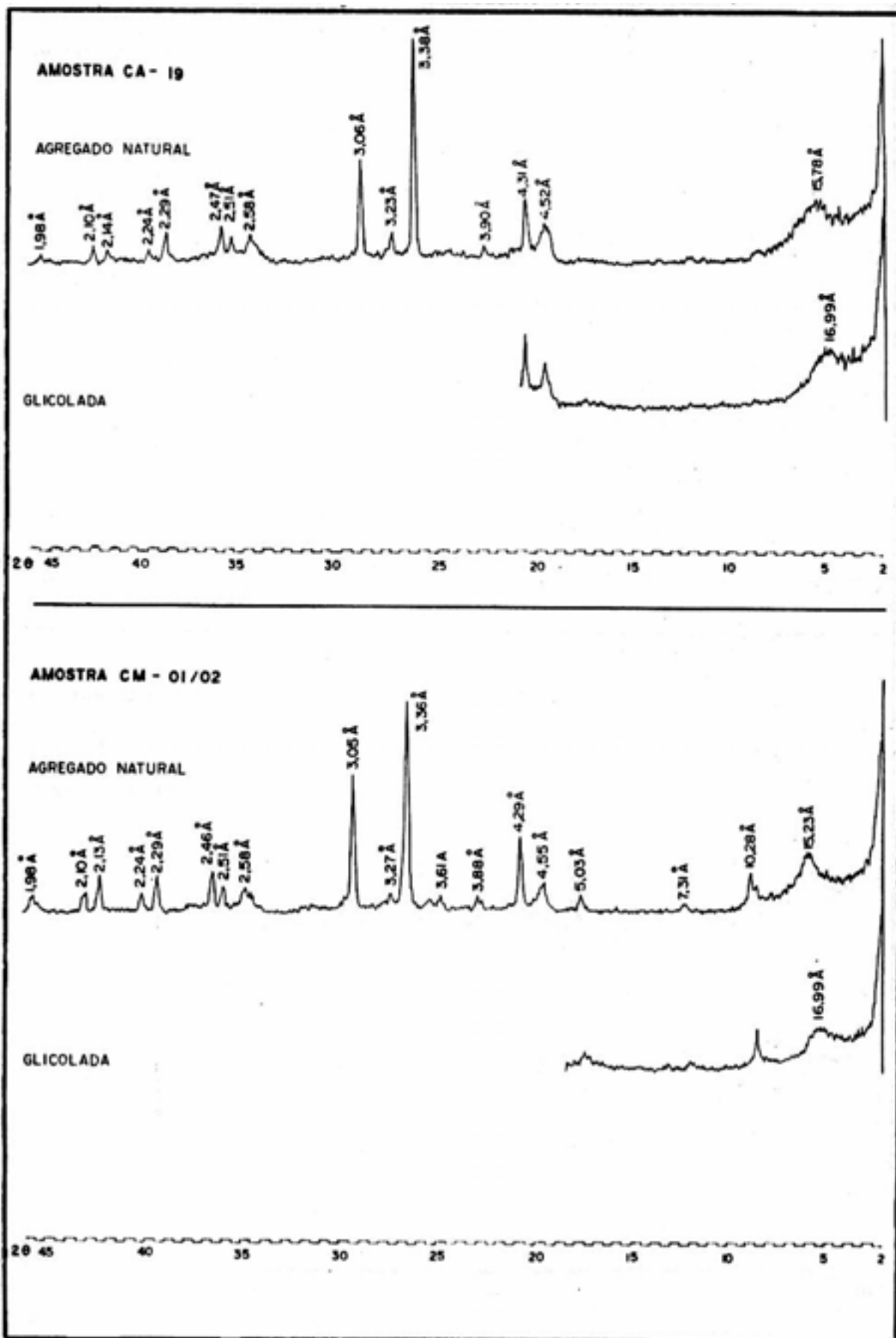


Fig. 5.19 – Difractogramas de raios-X das amostras CA-19 e CM-01/02, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

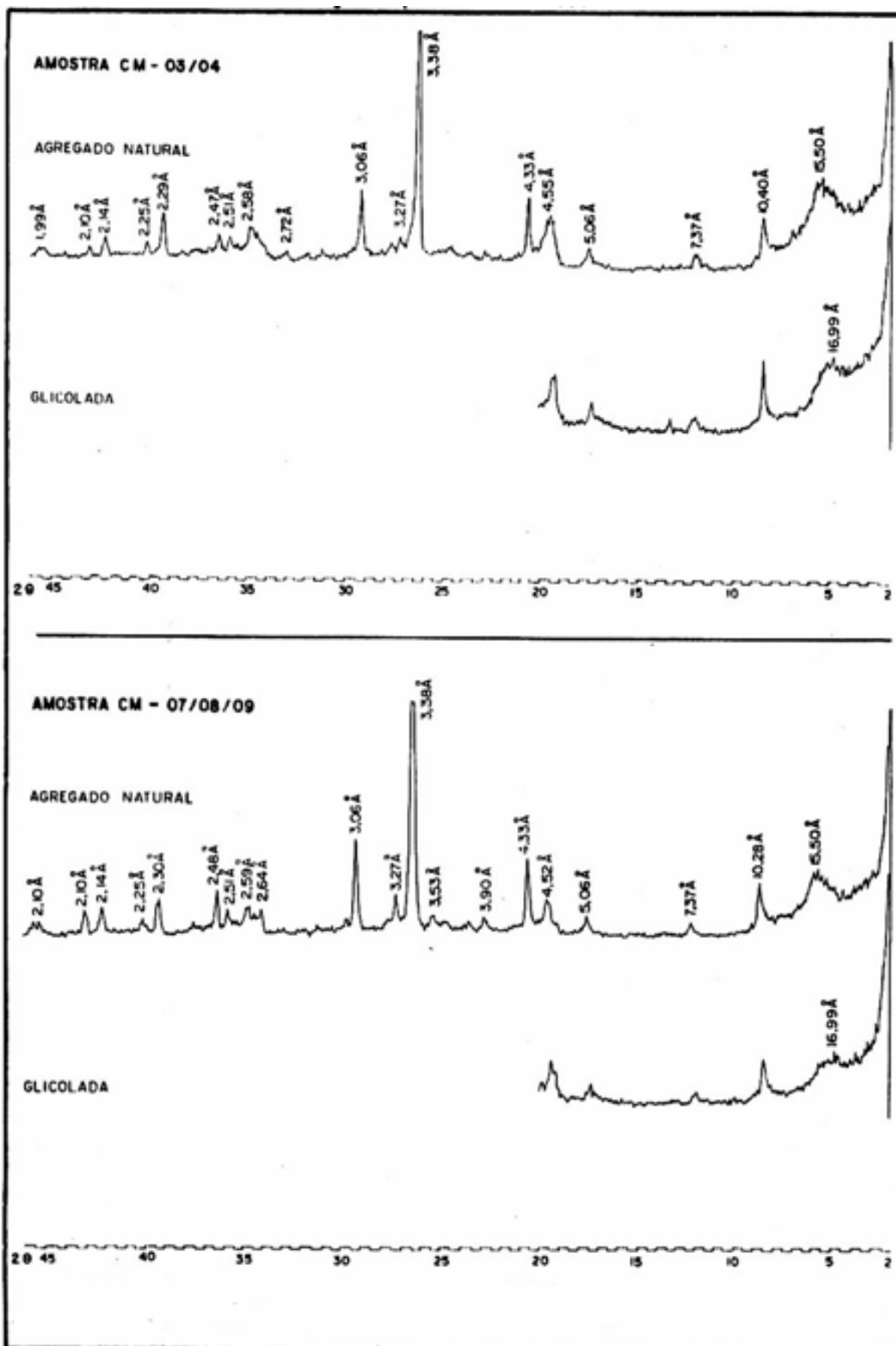


Fig. 5.20 - Difractogramas de raios-X das amostras CM-03/04 e CM-07/08/09, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

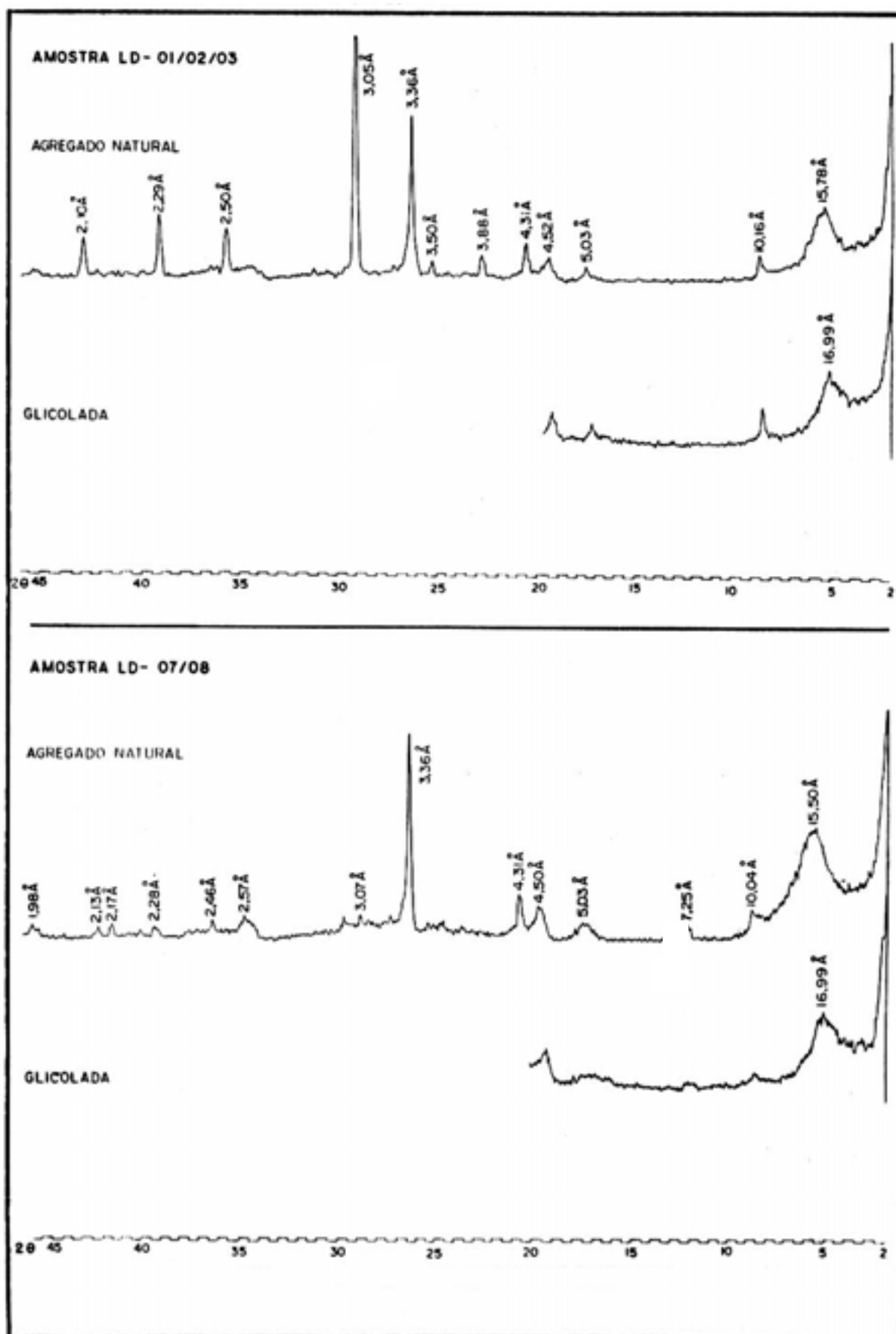


Fig. 5.21 – Difractogramas de raios-X das amostras LD-01/02/03 e LD-07/08, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

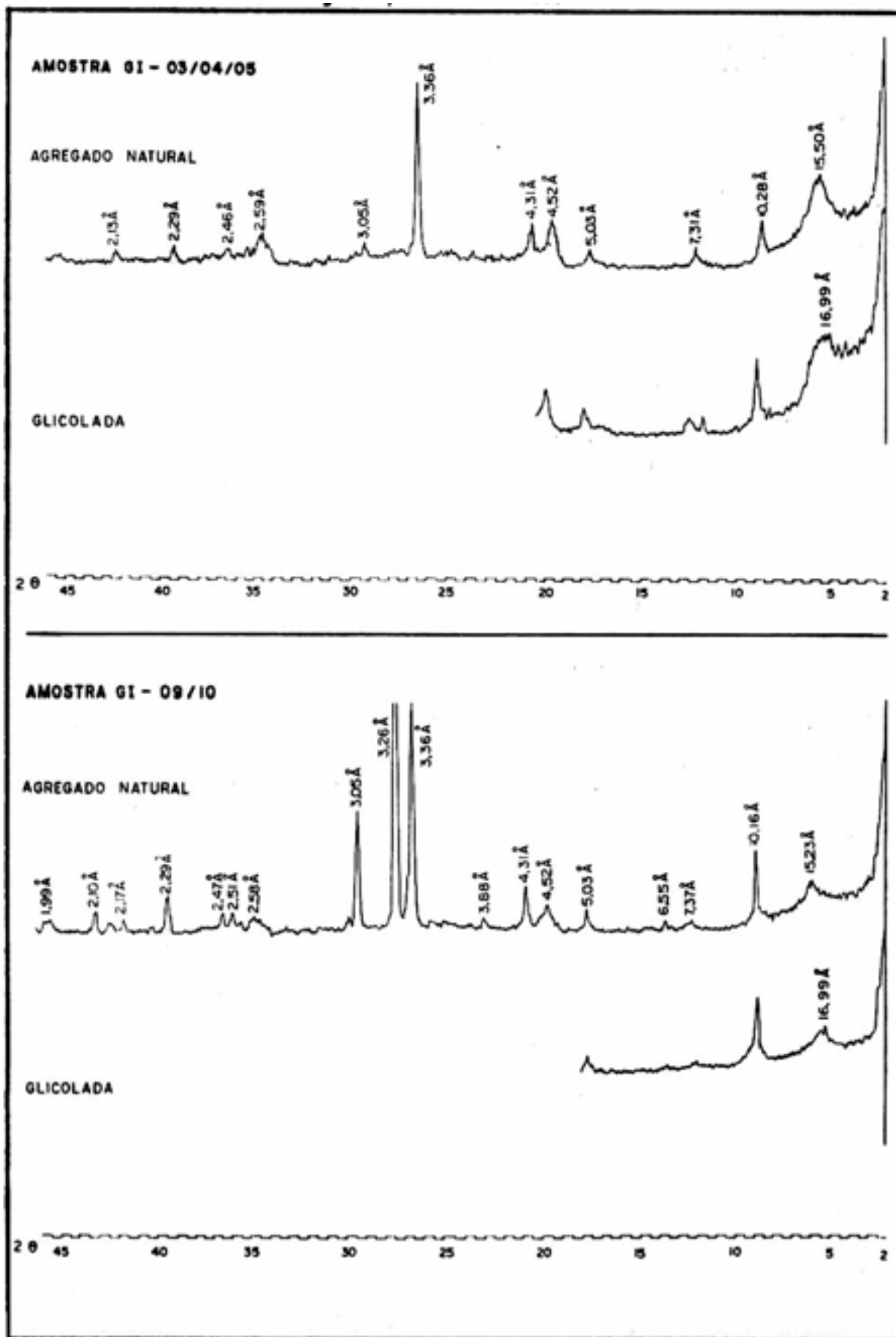


Fig. 5.22 - Difractogramas de raios-X das amostras GI-03/04/05 e GI-09/10, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

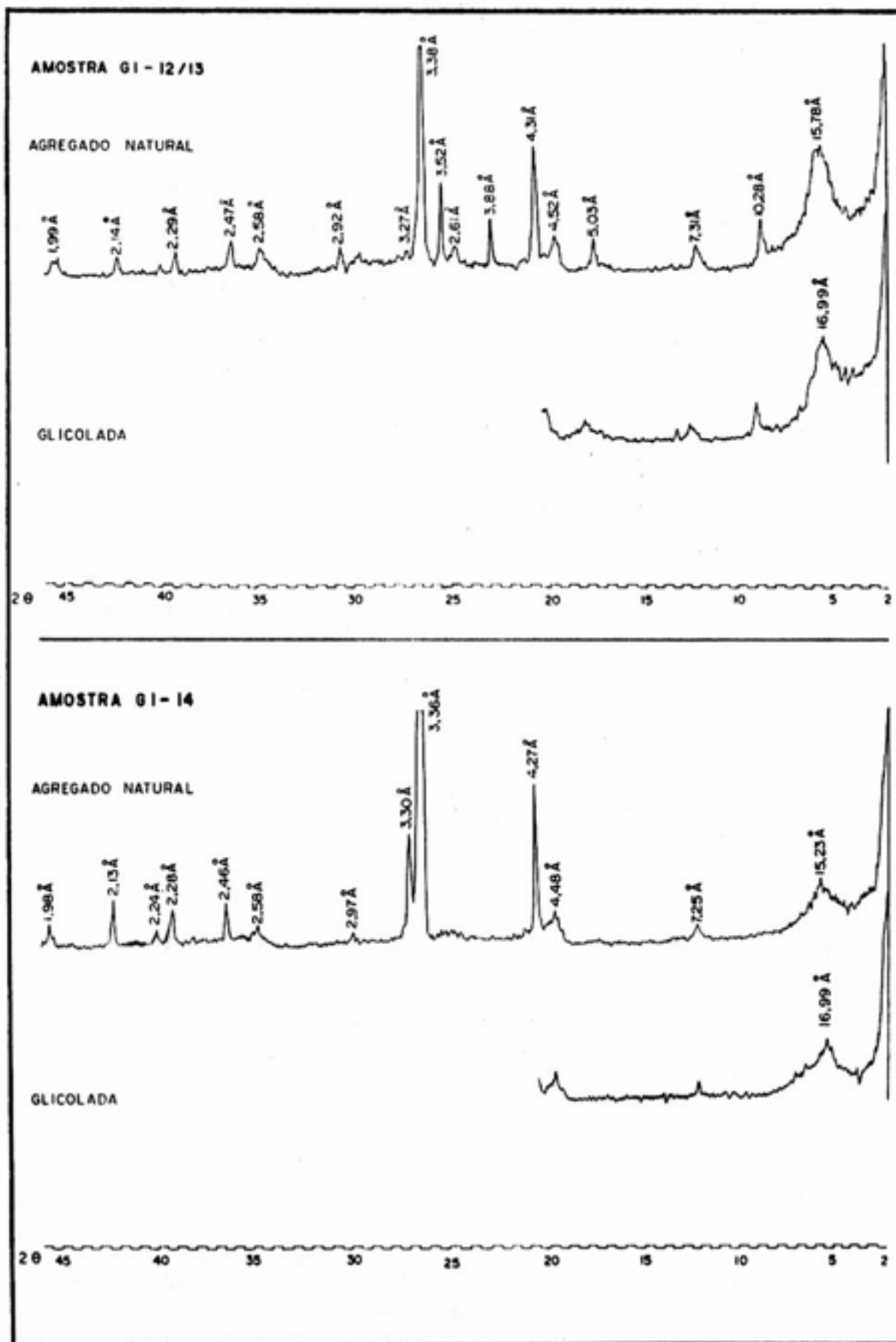


Fig. 5.23 - Difractogramas de raios-X das amostras GI-12/13 e GI-14, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

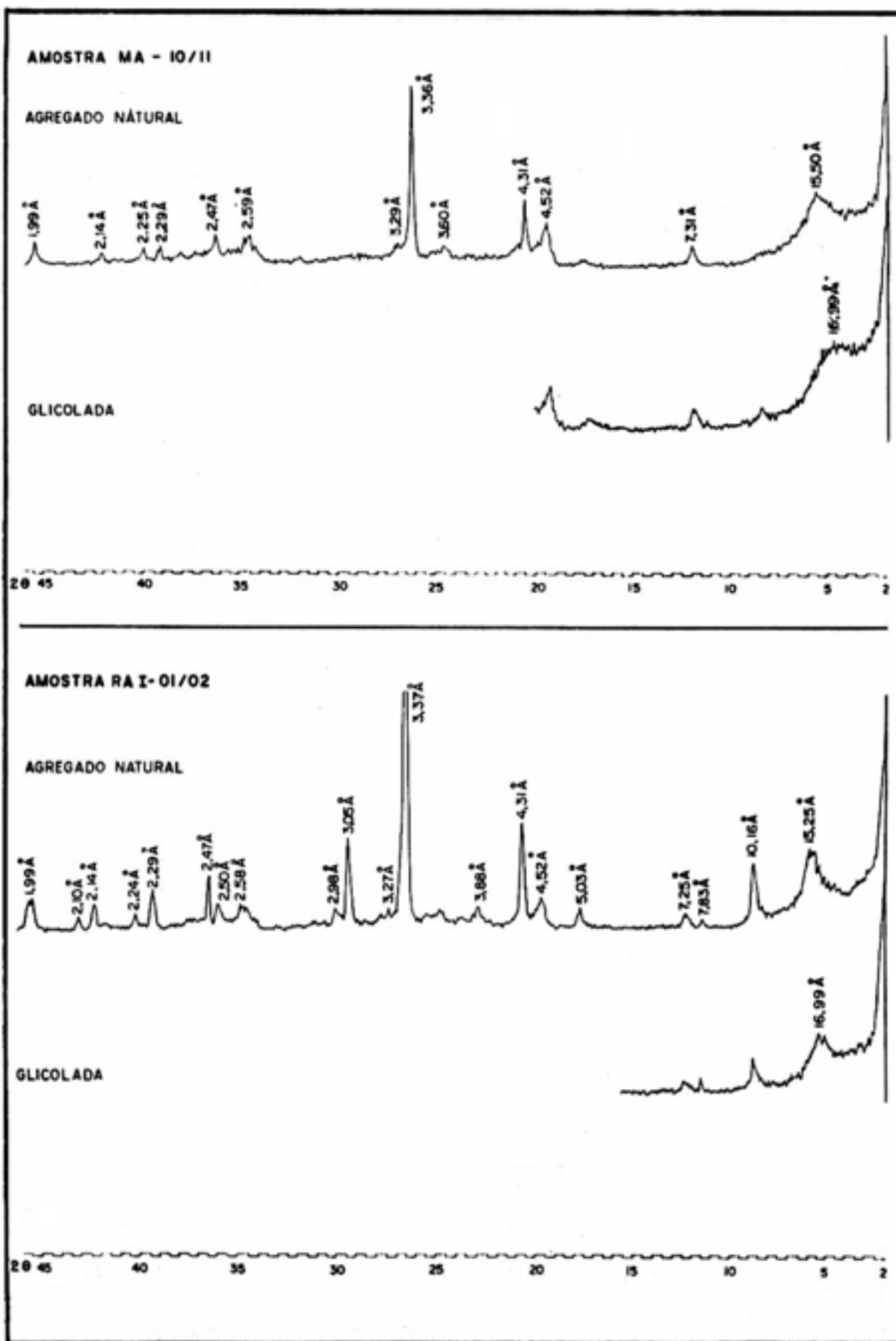


Fig. 5.25 - Difractogramas de raios-X das amostras MA-10/11 e RAI- 01/02, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

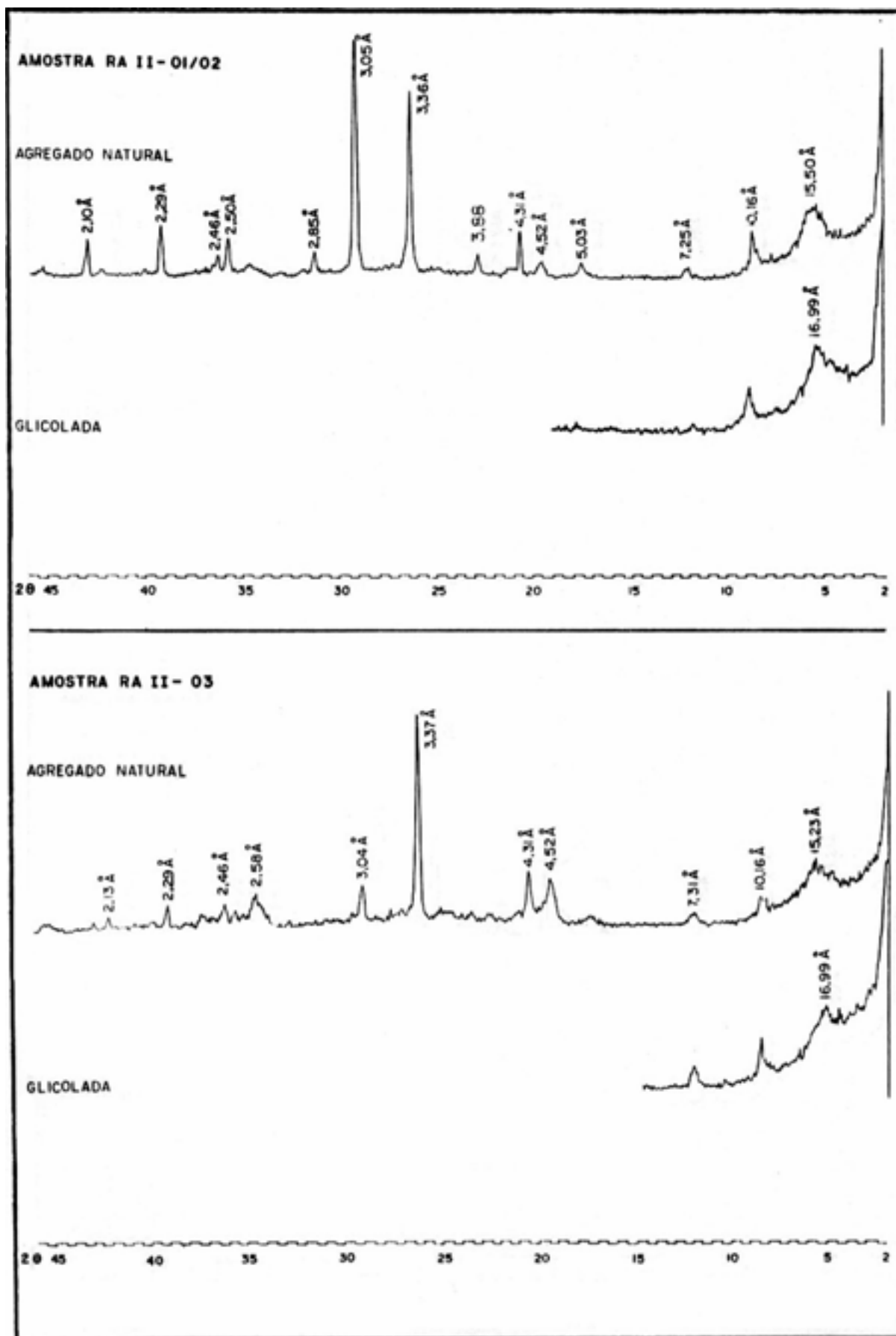


Fig. 5.26 – Difrátogramas de raios-X das amostras RAI-03/04 e RAI-05/06/07, naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

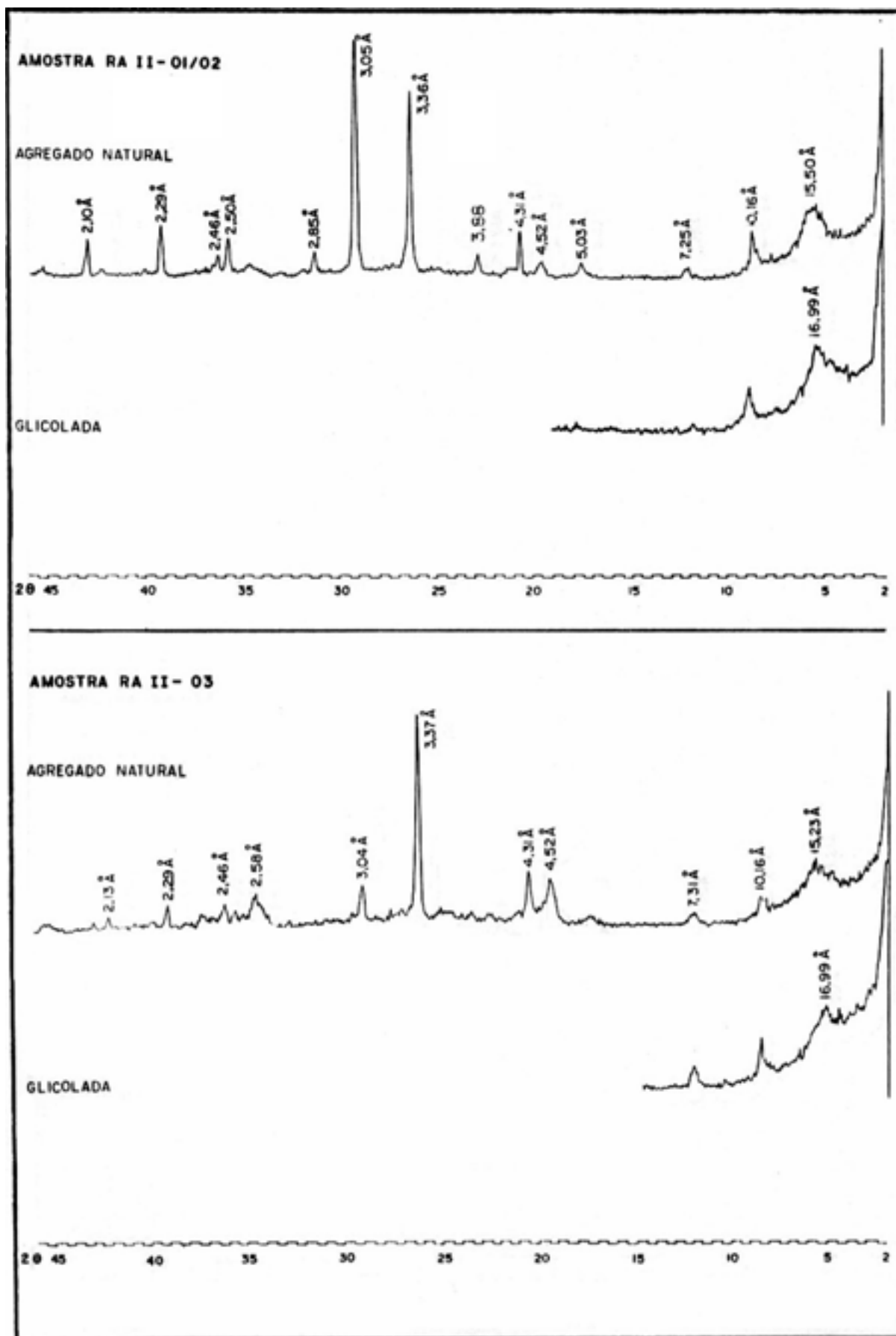


Fig.5.27- Difractogramas de raios-X das amostras RAII-01/02 e RAII-03 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

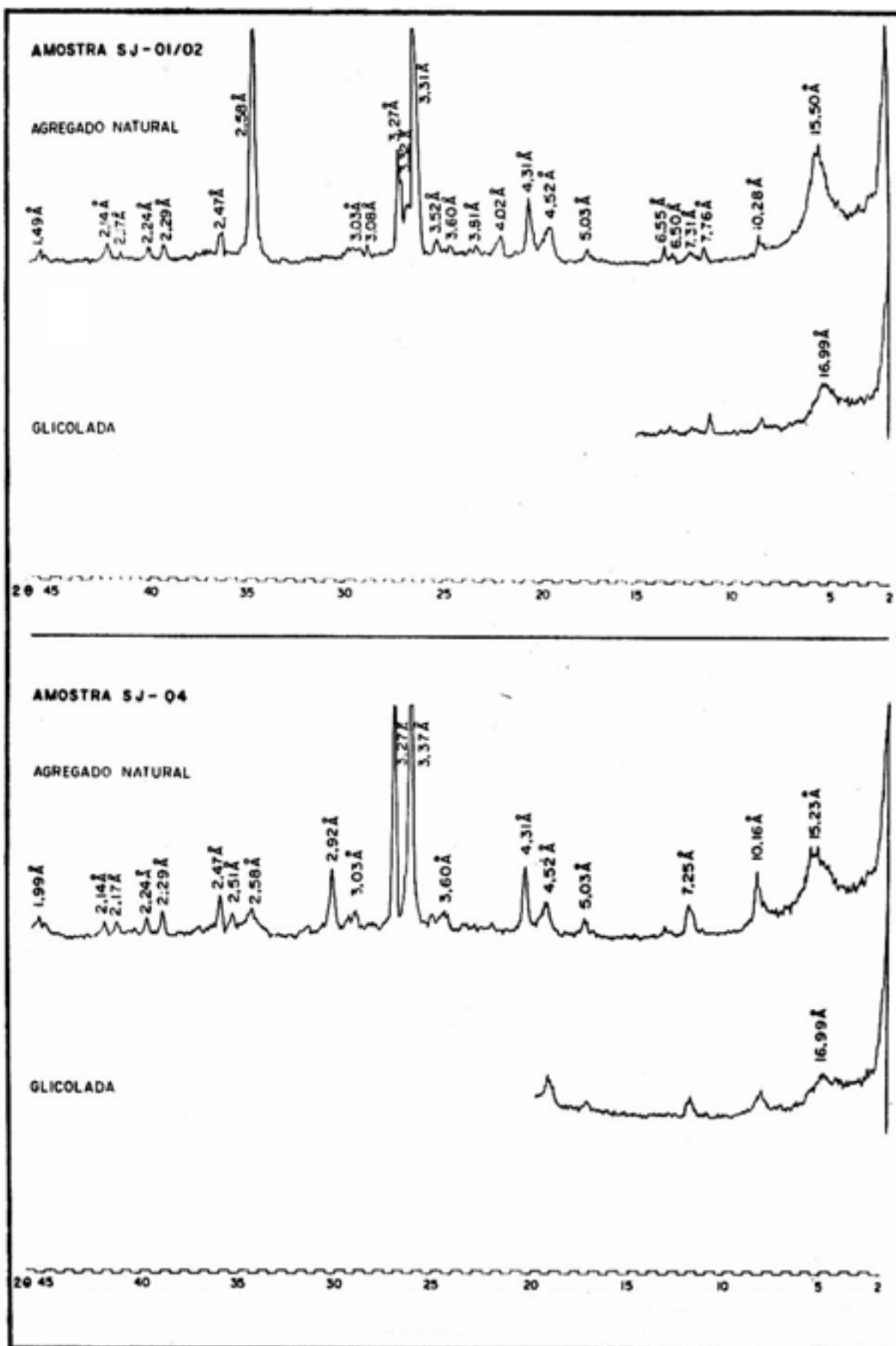


Fig. 5.28 - Difratomogramas de raios-X das amostras RAI-06 e RAI-07 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

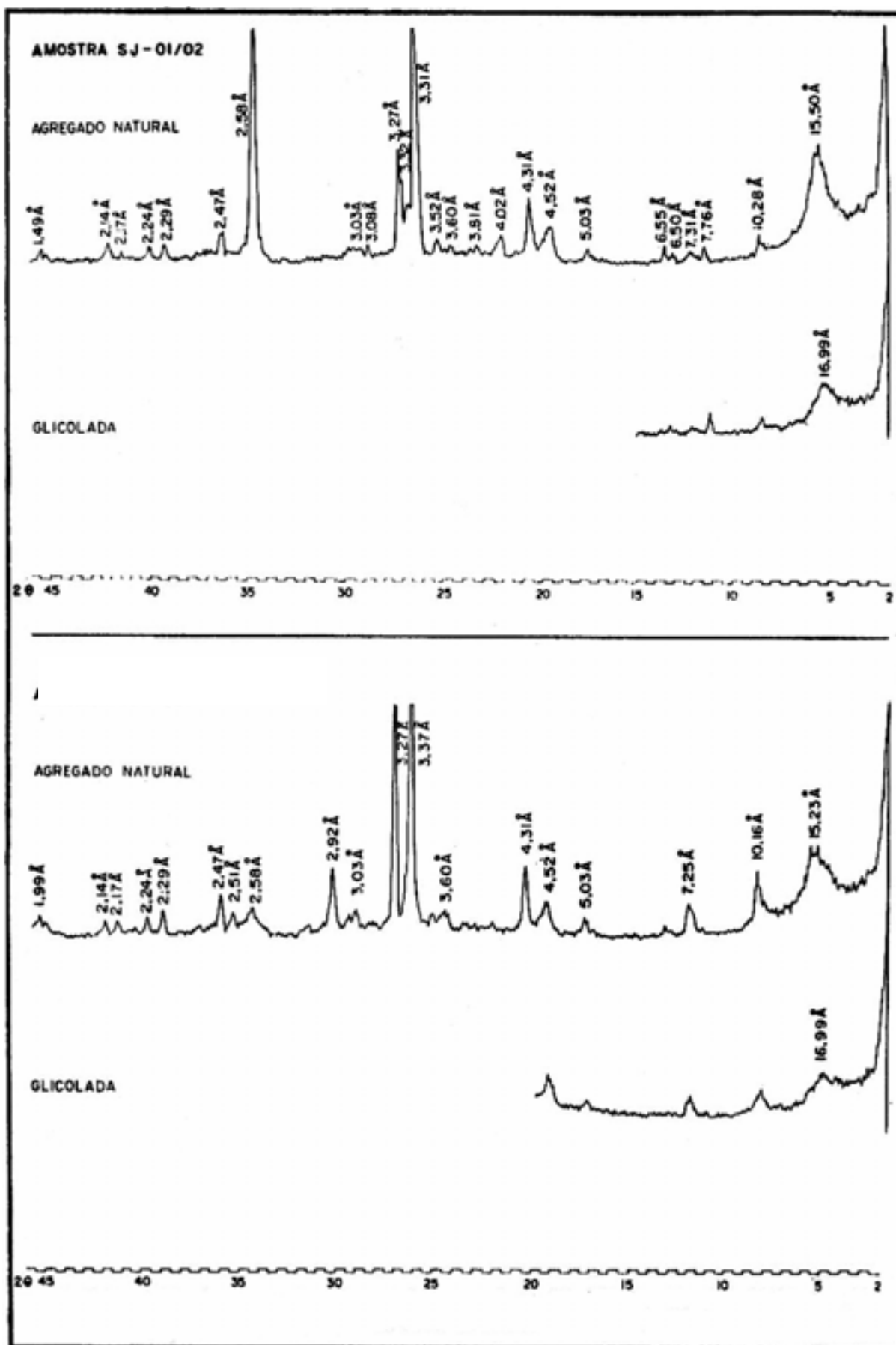


Fig. 5.29 - Difrátogramas de raios-X das amostras SJ-01/02 e SJ-04 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

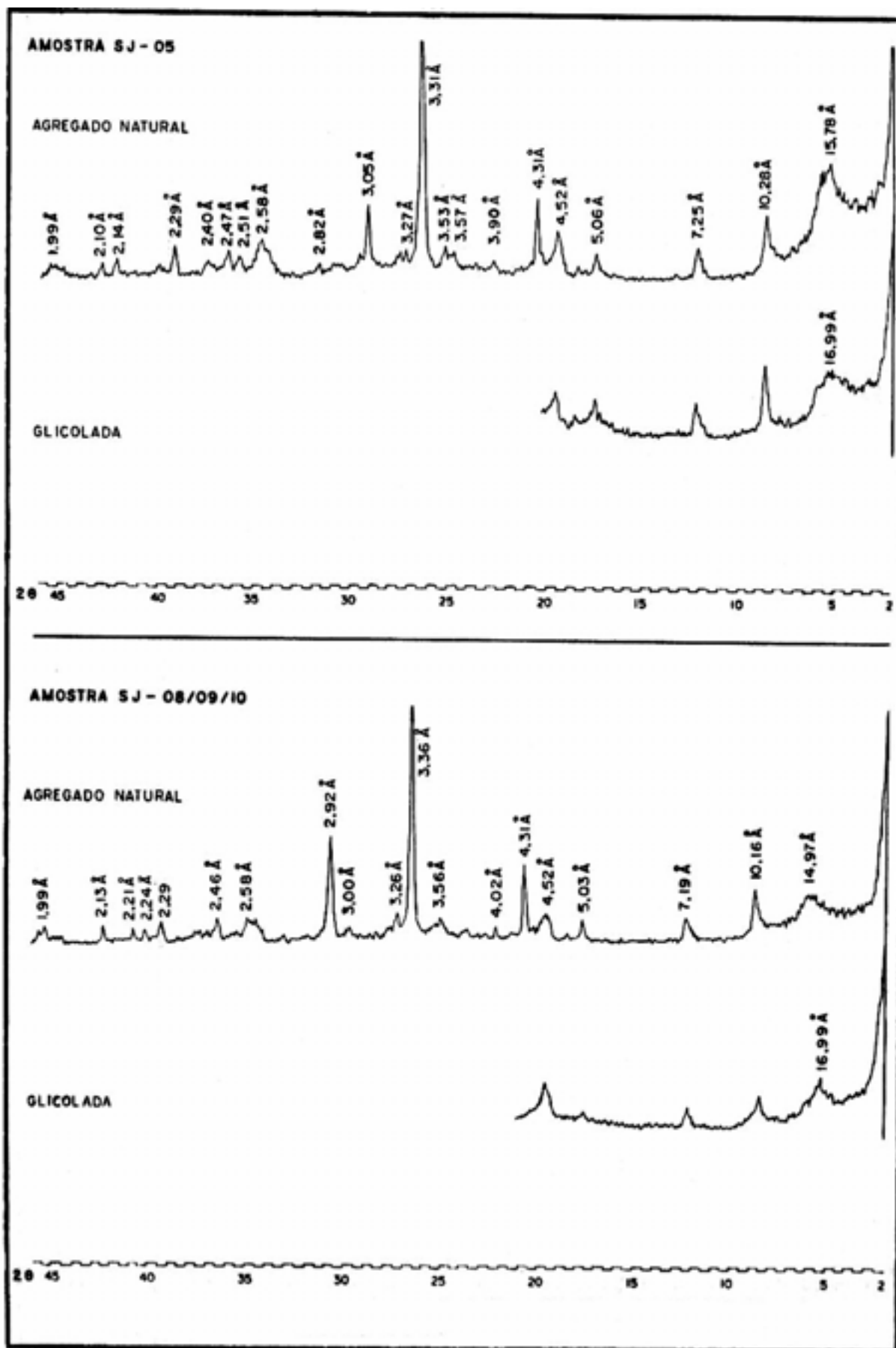


Fig. 5.30 - Difratomogramas de raios-X das amostras SJ-05 e SJ-08/09/10 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

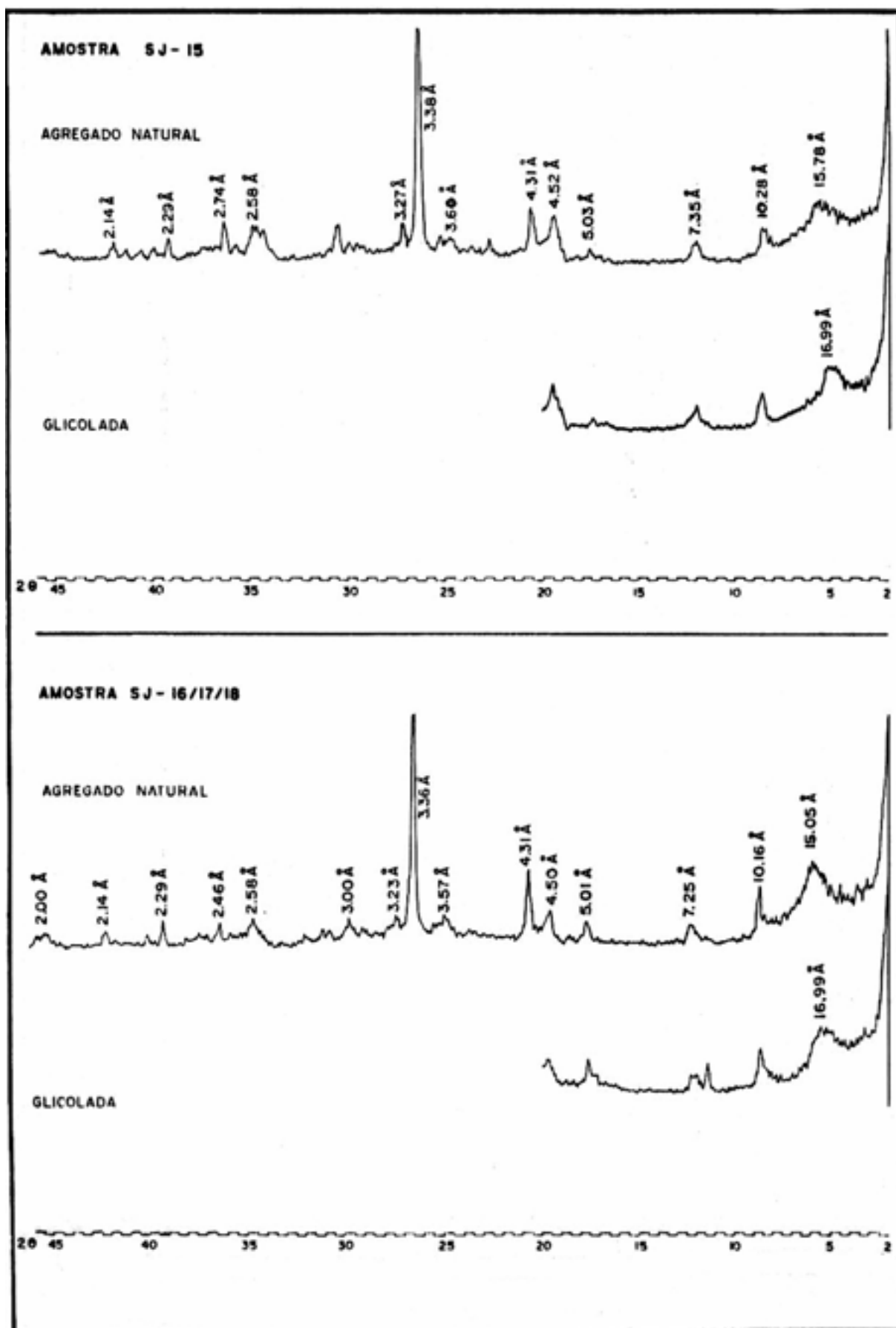


Fig. 5.31 - Difratoigramas de raios-X das amostras SJ-15 e SJ-16/17/18 naturais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

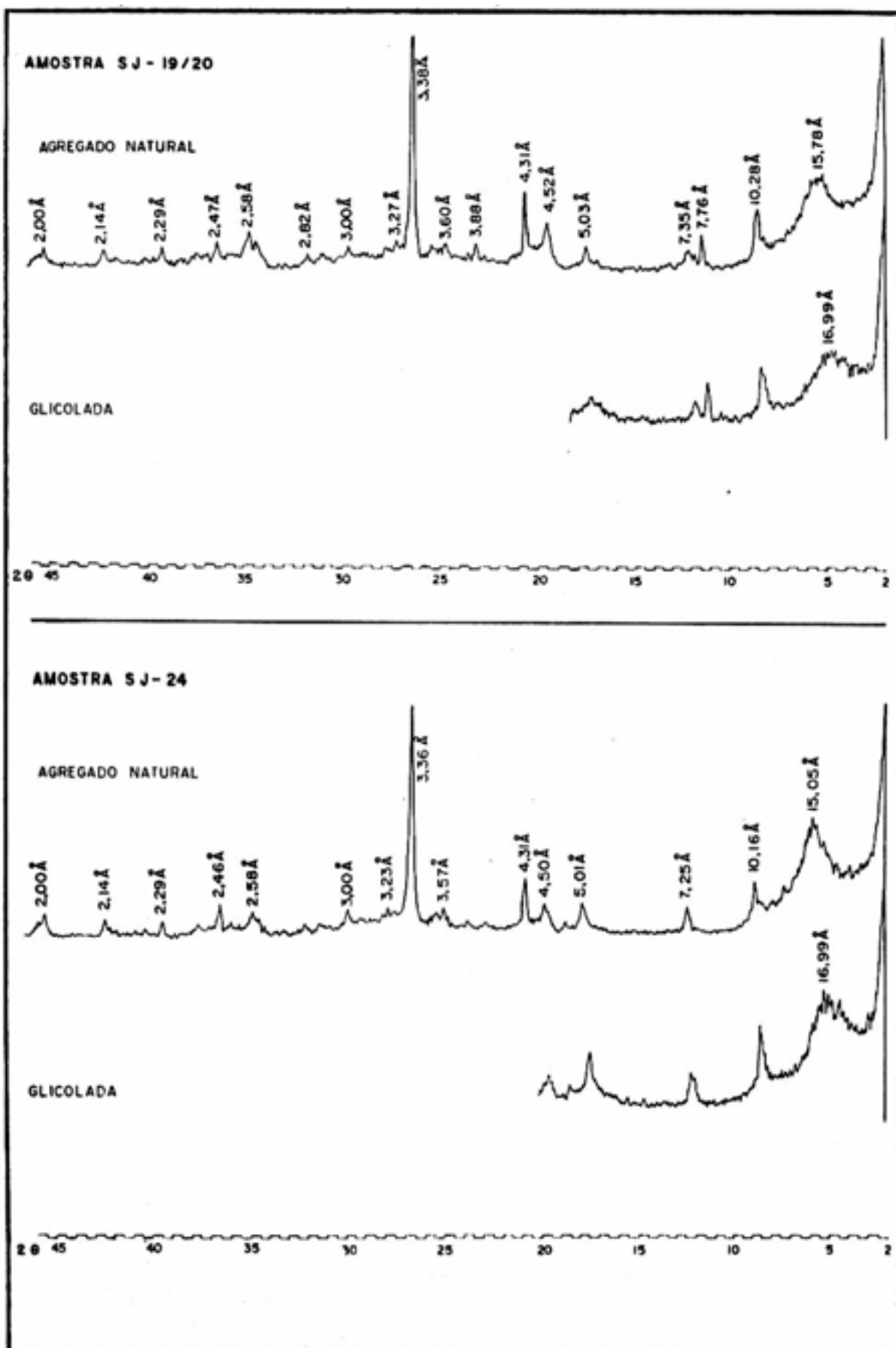


Fig. 5.32 - Difractogramas de raios-X das amostras SJ-19/20 e SJ-24 na turais e glicoladas (radiação K-alfa do cobre).

5.2.4.7 - Cátions trocados (CT) e capacidade de troca de cátions total (CTC)

Foram utilizadas alíquotas de amostras passadas em peneira ABNT nº 200, preparadas conforme método descrito no item 5.2.2.

O procedimento químico de laboratório utilizado para se determinar os cátions trocados (CT) e a capacidade de troca de cátions total (CTC) consistiu, em linhas gerais, em se tratar a argila diversas vezes em solução concentrada (3M) de acetato de amônio de pH 7, permitindo assim que todos os cátions trocáveis fossem substituídos pelo íon amônio. Depois de eliminar o excesso de acetato de amônio lavado com álcool etílico, a amostra foi tratada com solução de hidróxido de sódio; a amônia (NH₃) liberada foi recolhida em volume padronizado de ácido sulfúrico, sendo esse posteriormente titulado em solução normalizada de hidróxido de sódio (Souza Santos, 1989).

Os cátions trocados extraídos da argila foram identificados e dosados em soluções reunidas em acetato de amônio, após eliminação desse sal em ácido sulfúrico. Maior detalhamento da marcha analítica desse ensaio pode ser verificado no Manual de Métodos de Análise do Solo da Embrapa, organizado por Barreto et al. (1979). O teor de cátions encontrados, expresso em meq/100g, encontra-se na Tabela V-9.

5.2.5 - Ensaio Tecnológico

5.2.5.1 - Determinação das viscosidades

Souza Santos (1968) e Souza Santos et al. (1980-a) constataram experimentalmente a interferência da temperatura de secagem no comportamento tecnológico de argilas esmectíticas. Souza Santos et al. (1980-b), sugeriram que, com vistas à preservação das propriedades das esmectitas policatiônicas, a adição de carbonato de sódio à argila seja feita antes de secá-la a qualquer temperatura.

Alíquotas de amostras sem tratamento prévio foram utilizadas na determinação da viscosidade aparente plástica.

O método utilizado corresponde ao "Processo Pádua" (Diaz, 1983 e Diaz et al. 1986), estabelecido pelo engenheiro químico Antônio de Pádua Rodrigues de Araújo, da então Divisão de Minerais Não-metáli-

cos, da Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco.

Em linhas gerais, o processo consiste nas seguintes etapas: a amostra imediatamente após ser coletada na ocorrência com umidade natural é colocada em sacos de polietileno; nesses sacos recebe posteriormente adição de solução concentrada (265 g de sal anidro por litro de água deionizada) de carbonato de sódio na proporção de 100 meq /100 g de argila seca (a umidade da argila deve ser determinada por ensaio prévio), efetuando-se a homogeneização manual no próprio saco. A mostra permanece durante um tempo mínimo de oito dias no saco de polietileno fechado, a temperatura ambiente. Posteriormente é secada em estufa ou mufla com circulação de ar a temperatura de 35 °C, moída em almofariz de porcelana, passada em peneira ABNT nº 200, e submetida à cura em câmara úmida com umidade relativa de 100%, por um período de três dias para eventual homogeneização. Após esse período é dispersa em água destilada com concentração de 6% de argila (tratada com carbonato de sódio), homogeneizada por 20 minutos e ficando em repouso por 24 horas (Araújo et al., 1979). Após esse tempo, a dispersão é submetida à homogeneização em agitador automático por 5 minutos; as viscosidades aparente e plástica foram medidas em viscosímetro Fann modelo 35-A, a 600 e 300 rpm, segundo métodos da Petrobrás (1968) e API (1975). Os valores das viscosidades aparente e plástica encontrados, expressos em centipoises (cP), constam na Tabela V-10.

5.2.5.2 - Determinação das viscosidades após diálise

O ensaio de diálise tem objetivo de verificar a possibilidade de melhoria da viscosidade plástica pela eliminação de cátions divalentes trocados com Na⁺.

As suspensões utilizadas no processo anteriormente descrito (item 5.2.5.1), relativas às alíquotas que apresentaram os maiores valores para as viscosidades plásticas, foram acondicionadas individualmente em saco de papel celofane, que foram submersos em água corrente e dialisadas por um período de oito dias. Após esse período foram homogeneizadas com agitador mecânico por 20 minutos, ficando em repouso por 24 horas, quando foram homogeneizadas por 5

minutos e medidas as viscosidades aparente e plástica, de acordo com métodos da Petrobrás (1968) e API (1976). Não se verificou melhoria nas viscosidades aparente e plástica conseguidas originalmente.

Foram ainda dialisadas, por oito dias, alíquota naturais (sem tratamento com carbonato de sódio) representativas das amostras que apresentaram melhor viscosidade, após o que foram submetidas ao “Processo Pádua” para obtenção das viscosidades aparente e plástica que não alteraram os valores originais.

5.2.5.3 - Determinação das propriedades das argilas como agentes descorantes de óleo vegetal (soja)

O teor de substâncias sólidas e de corantes orgânicos contidos em óleos vegetais como animais e minerais devem ser extraídos de forma a atender aos diversos requisitos de cor e de pureza exigidos pelos diferentes usos comerciais. As argilas descorantes naturais ou ativadas são usadas com essa finalidade.

As argilas que são naturalmente descorantes são chamadas terras fuller. O magnésio é considerado como o cátion predominante das terras fuller (Klinefelter & Hamlin, 1967, apud Souza Santos, 1968). Essas argilas são constituídas essencialmente por argilominerais esmectíticos em que o cátion trocável saturante é predominantemente hidrogênio (hidroxônio) ou pelos argilominerais paligorsquita/sepiolita, esses muito ricos em magnésio na estrutura cristalina (Grim, 1953).

As argilas utilizadas na obtenção de argilas ativadas por ácido são esmectitas essencialmente cálcicas, que no estado natural têm poder descorante baixo ou nulo, mas que pelo tratamento com ácido sulfúrico ou clorídrico, desenvolvem elevado poder descorante (Souza Santos, 1963); é o caso das esmectitas de Ponte Alta, próximas a Uberlândia-MG e de Boa Vista, Campina Grande-PB.

Os estudos realizados nas argilas que recobrem as camadas de gipsita do Membro Romualdo da Formação Santana, relativos ao presente item, têm como objetivo verificar se essas argilas esmectíticas ricas em cálcio e magnésio, na forma natural ou mediante a ativação ácida (H_2SO_4) possuem atividade descorante de óleo vegetal (soja).

Para o ensaio de descoramento foram utilizadas três amostras de

óleo de soja semi-refinado obtidas junto à SANBRA – Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A., na unidade industrial Recife-PE. Não foram ensaiados outros óleos como de mamona e de algodão, pelo fato de a fábrica mencionada da SANBRA não processá-los industrialmente na época do ensaio.

Foram selecionadas as amostras de esmectitas com capacidade total de troca de cátions maiores associados aos teores dos cátions Ca^{+2} e Mg^{+2} mais elevados.

No ensaio de ativação ácida todas as alíquotas de amostras naturais, preparadas de acordo com o item 5.2.2, foram previamente secas a temperatura de 45 °C, moídas em moinho de disco e moinho de bolas até granulometria inferior a 0,075 mm (peneira ABNT nº 200). Foi utilizada, na ativação, solução 10 N de ácido sulfúrico P.A. com aquecimento em chapa quente a 100 °C, durante 3 horas. O aquecimento foi realizado em refluxo com a finalidade de permitir a condensação dos vapores. Finda a ativação as argilas foram individualmente lavadas várias vezes em água deionizada por filtração a vácuo em um funil Büchner com papel filtro quantitativo médio, até quando o pH do filtrado se encontrou entre 5 e 6. Os passos seguintes corresponderam à secagem à temperatura de 100°C, desagregação e passagem em peneira ABNT nº 200, da argila ativada.

O ensaio de descoloramento do óleo foi feito pelo “método do contato”. Nesse processo o agente descolorante colocado em contato com o óleo aquecido a 120 °C sobre a agitação suave constante, durante 25 minutos e filtrado a quente sobre vácuo através de papel filtro quantitativo médio em funil de Büchner. Foram realizados ensaios com as argilas naturais e ativadas, objeto de estudo dessa Dissertação na proporção ponderal de 0,5%, 1% e 2% em relação a três amostras distintas de óleo, e como não há especificações para as argilas descolorantes, o poder descolorante foi avaliado em comparação com uma argila ativada (ensaiada nas mesmas proporções) de origem mexicana, denominada Tonsil, usualmente importada para essa finalidade e utilizada pela unidade Industrial da SANBRA-Recife. O uso de uma argila padrão ou de referência nos ensaios de descoloramento é

recomendado pela A.O.C.S. American Oil Chemist's Society (1958). As cores do óleo original e do óleo após o tratamento pelas argilas foram determinadas com o tintômetro de Wesson com placas coloridas da escala Lovibond, aferidas pelo National Bureau of Standards, Washington D.C., e descrito pela A.O.C.S (op. cit.) para uma camada de 133 mm de espessura nas cores amarela e vermelha. As leituras conseguidas estão sumarizadas na Tabelas V-11, V-12 e V-13.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 – GEOLOGIA LOCAL

6.1.1 – Classificação dos Sedimentos

Os valores de CaCO_3 (Tabela V-1), analisados conjuntamente com os resultados das análises granulométricas (Tabelas V-2 e V-3), permitiram a classificação dos sedimentos, para o que foram adotados dois critérios distintos:

1) utilização das regras propostas por Fuchtbauer (1957, in Mabesoone, 1983), para os sedimentos com teor de CaCO_3 e igual ou inferior a 25% (Tabela VI-1); 2) utilização do diagrama triangular de classificação e nomenclatura dos sedimentos mistos de carbonatos e matérias clásticas, sugerido por Mabesoone (1983), para sedimento com teor de CaCO_3 superior a 25% (Fig. 6.1 e Tabela VI-2).

Os critérios acima mencionados não foram utilizados para a classificação dos folhelhos, que foram identificados em campo pelas características estruturais referentes ao folheamento ou clivagem ao longo dos planos de acamamento. A análise granulométrica foi realizada, no caso dos folhelhos, com a finalidade de determinar o conteúdo global das diferentes frações granulométrica, na tentativa de verificar uma correlação entre os dados granulométricos e o comportamento tecnológico da rocha.

Com base nas observações de campo e na classificação dos sedimentos foram delineados perfis colunares correspondente a seqüência sedimentar objeto desta Dissertação, de cada mina estudada, cujas representações gráficas corresponde às Fig. 6.2 a 6.10.

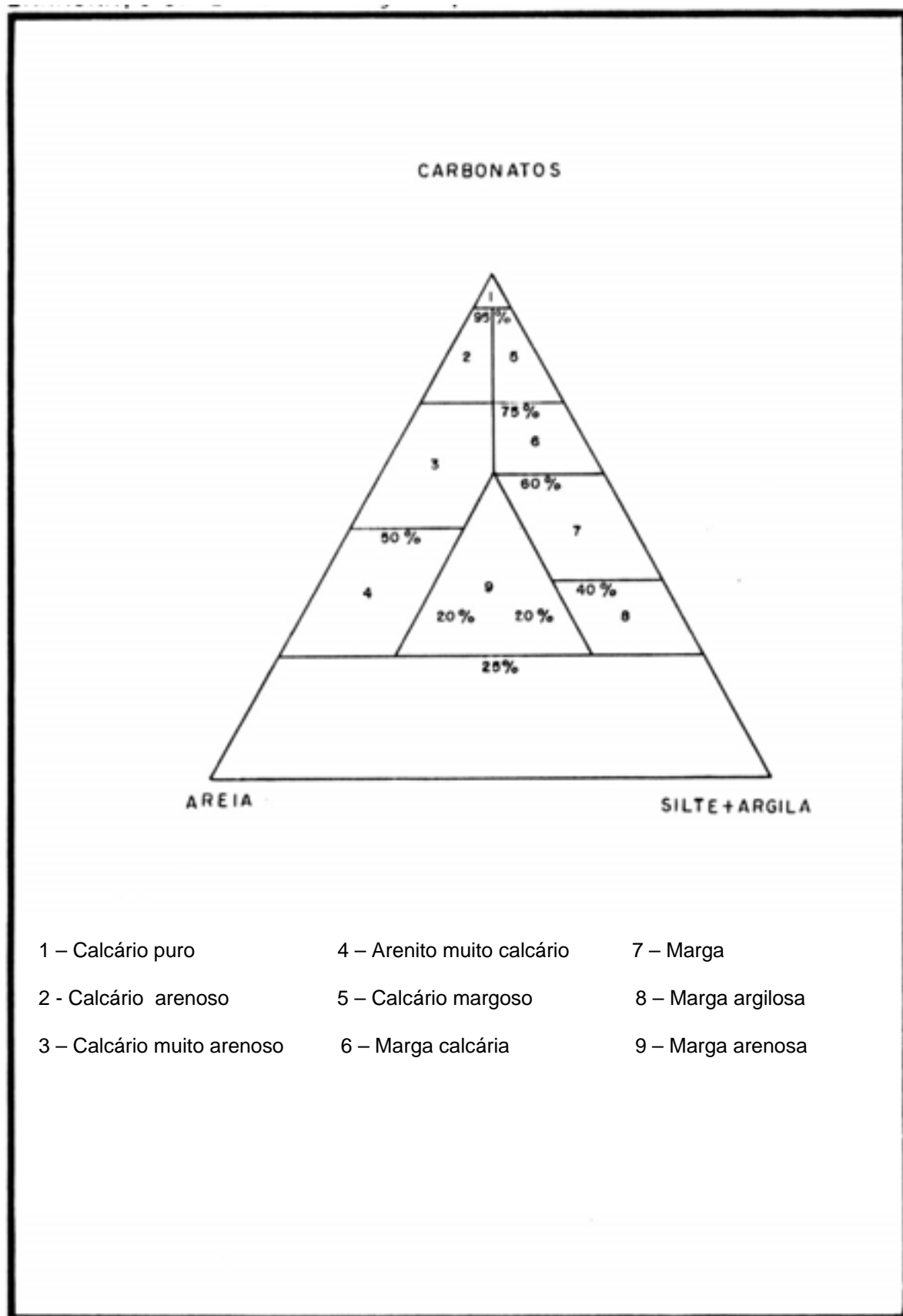


Fig. 6.1 – Classificação e nomenclatura dos sedimentos mistos Carbonatos e matéria clástica (Mabesoone, 1983 - modificada).

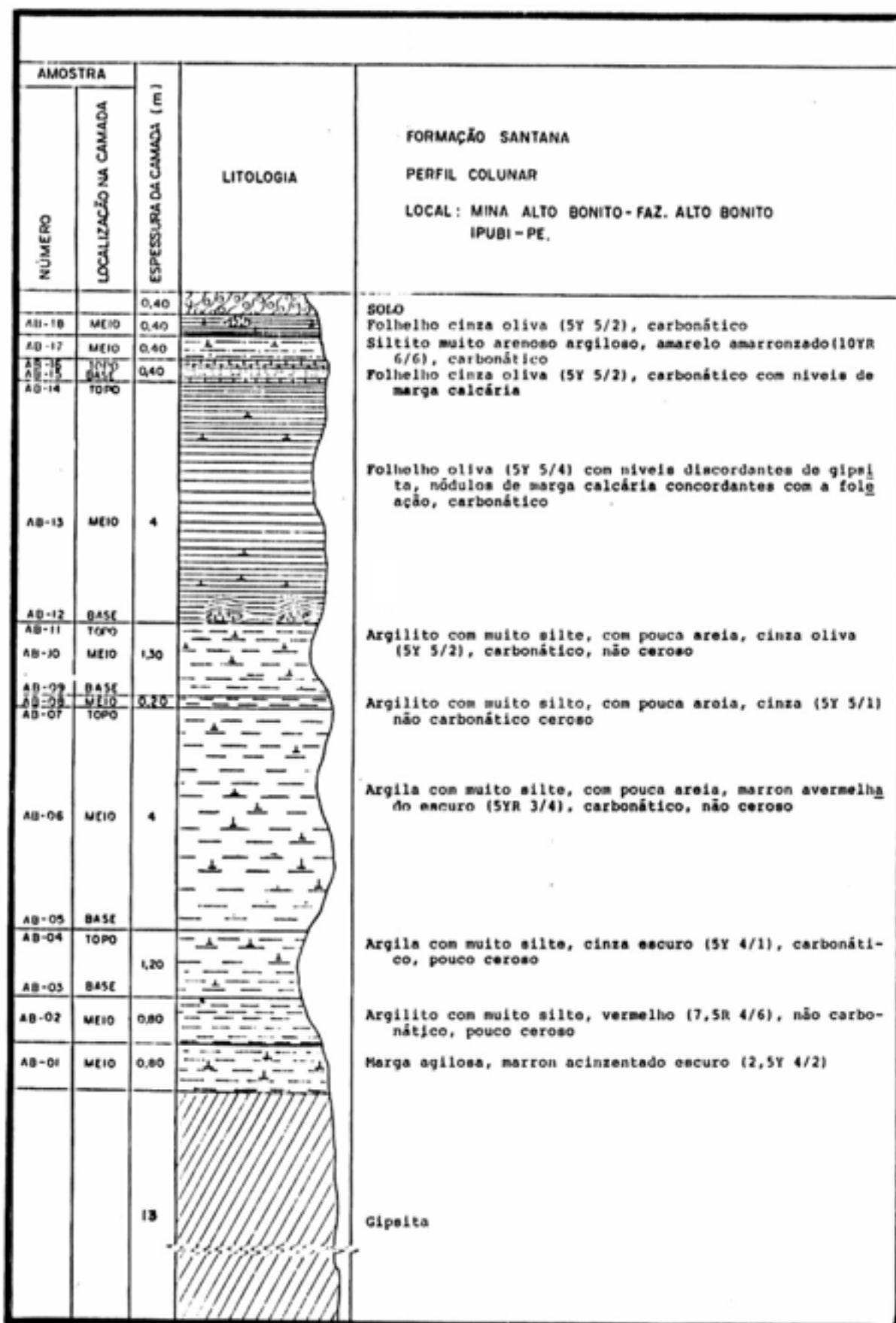


Fig. 6.2 – Perfil colunar da mina Alto Bonito – Fazenda Alto Bonito – Ipubi-PE.

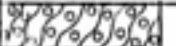
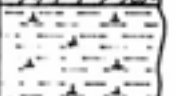



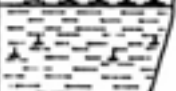


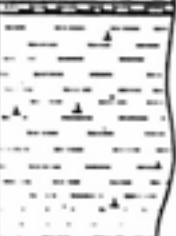




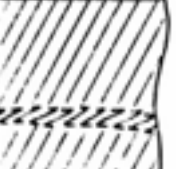
AMOSTRA			LITOLOGIA	FORMAÇÃO SANTANA PERFIL COLUNAR LOCAL: MINA CALMINA - SÍTIO BAIXAS IPUBI-PE.
NÚMERO	LOCALIZAÇÃO NA CAMADA	ESPESSURA DA CAMADA (m)		
CA-19	MEIO	0,8		SOLO
CA-18	TOPO	1,50		Marga argilosa cinza-escuro (5Y 4/1)
CA-17	BASE			
CA-16	TOPO	1,70		Marga argilosa marron oliva claro (2,5Y 5/4), alternando-se com níveis de marga calcária amarelo pálido (2,5Y 7/4)
CA-15	BASE			
CA-14	MEIO	0,20		Argilito siltico com pouca areia, cinza oliva claro (5Y 6/2)
CA-13	TOPO	0,60		Marga argilosa oliva pálido (5Y 6/4)
CA-12	BASE			
CA-11	TOPO	1,20		Argilito siltico com pouca areia, cinza oliva (5Y 4/2), carbonático com laminação incipiente
CA-10	MEIO			
CA-09	BASE	0,80		Argilito com muito silte, cinza oliva escuro (5Y 3/2), carbonático
CA-08	TOPO			
CA-07	BASE	0,20		Argilito com muito silte, cinza oliva escuro (5Y 3/2), não carbon.
CA-06	TOPO			
CA-05	MEIO	3		Argilito com muito silte, cinza oliva claro (5Y 6/2), não carbon.
CA-04	TOPO			
CA-03	MEIO	16		Argilito com muito silte, vermelho escurecido (10R 3/2), carbonático
CA-02	BASE			
CA-01	MEIO	0,60		Argilito siltico arenoso, cinza oliva (5Y 6/2), não carbonático não ceroso
				Gipsita
				Folhelho
				Gipsita

Fig. 6.3 – Perfil colunar da mina Calmina – sítio Baixas – Ipubi-PE.

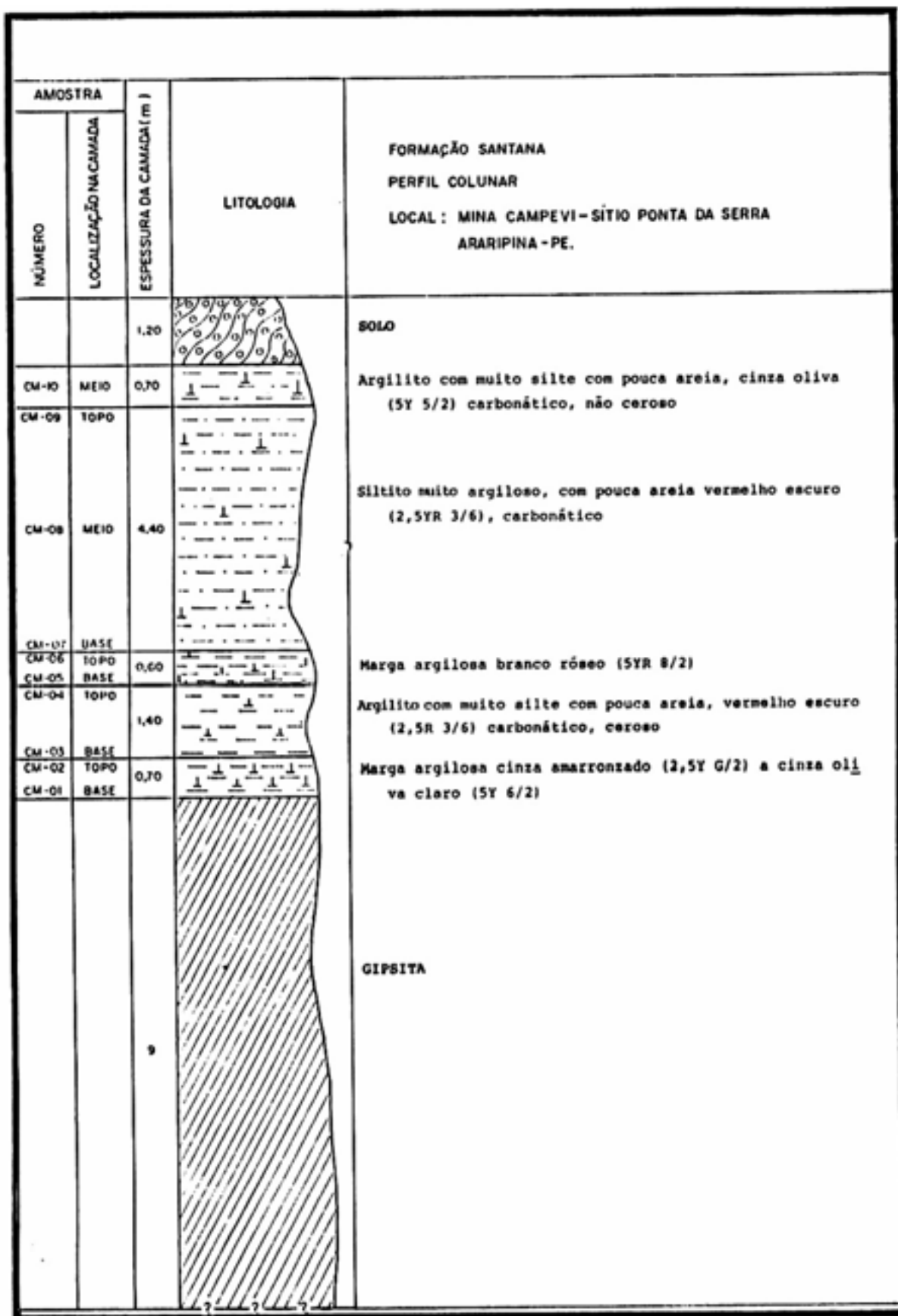


Fig. 6.4 – Perfil colunar da mina Campevi – sítio Ponta da Serra – Araripina-PE.

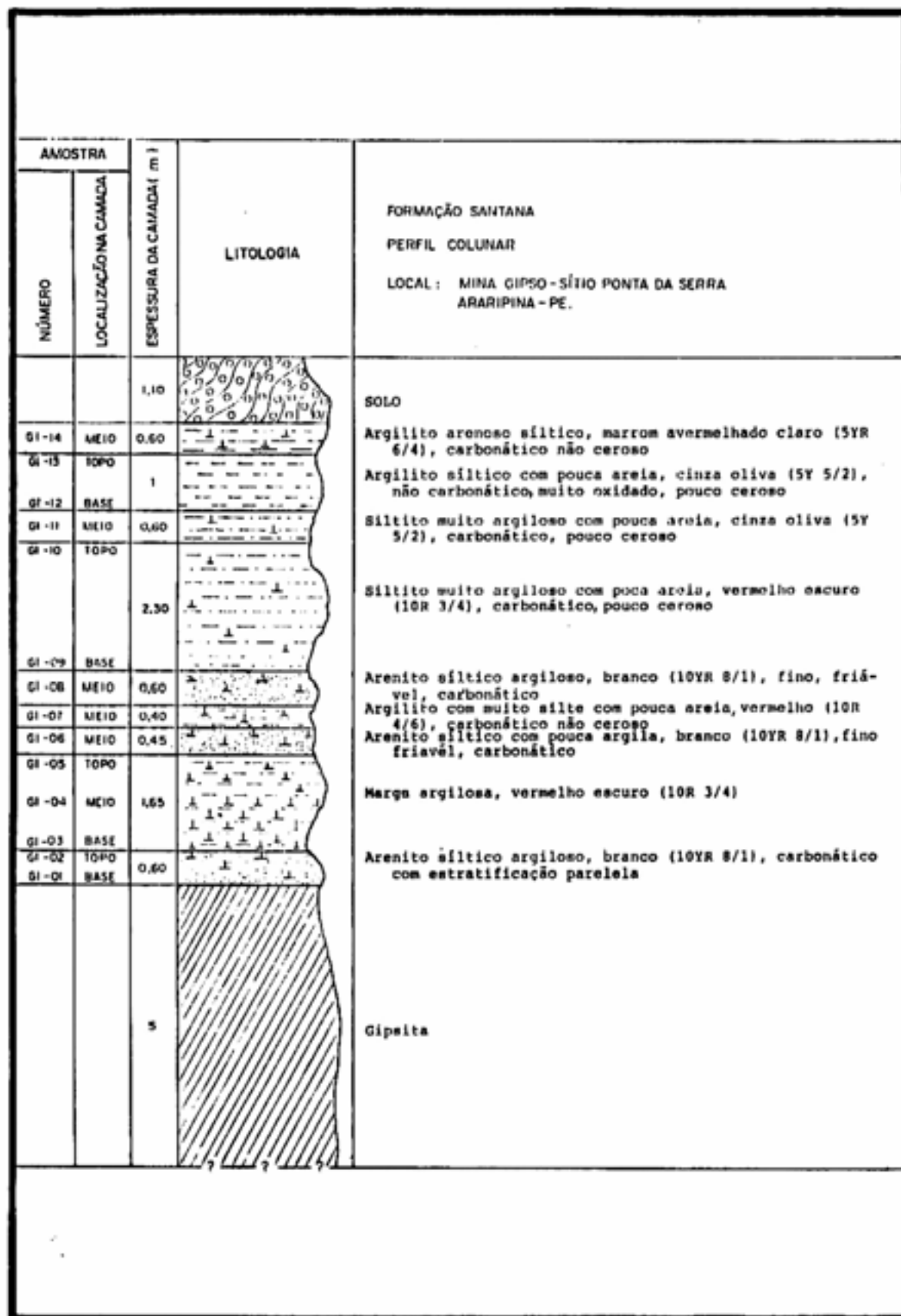


Fig. 6.5 – Perfil colunar da mina Gipso – sítio Ponta da Serra– Araripina-PE.

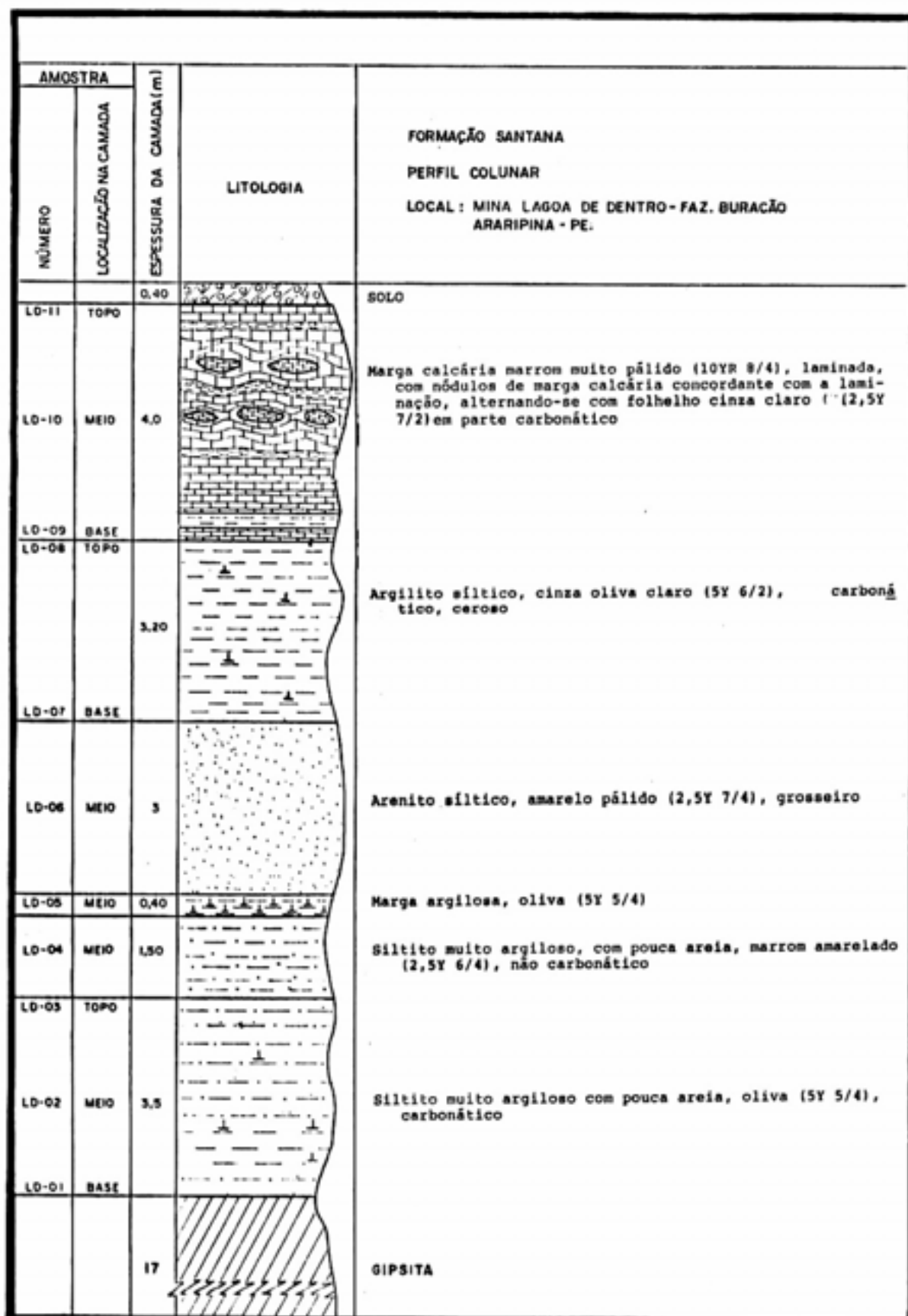


Fig. 6.6 – Perfil colunar da mina Lagoa de Dentro – Fazenda Buracão – Araripina-PE.

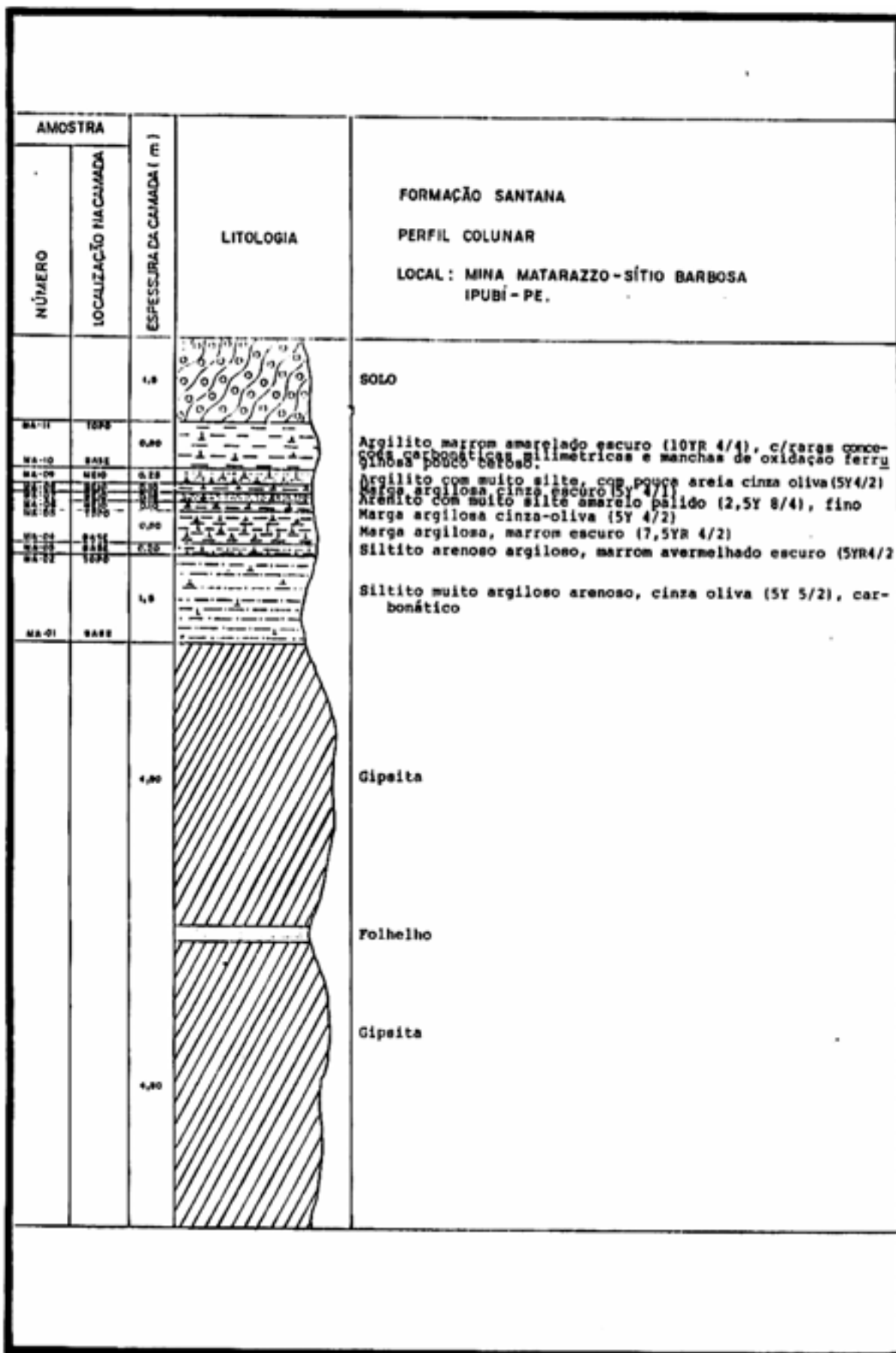


Fig. 6.7 – Perfil colunar da mina Matarazzo – sítio Barbosa – Ipubi-PE.

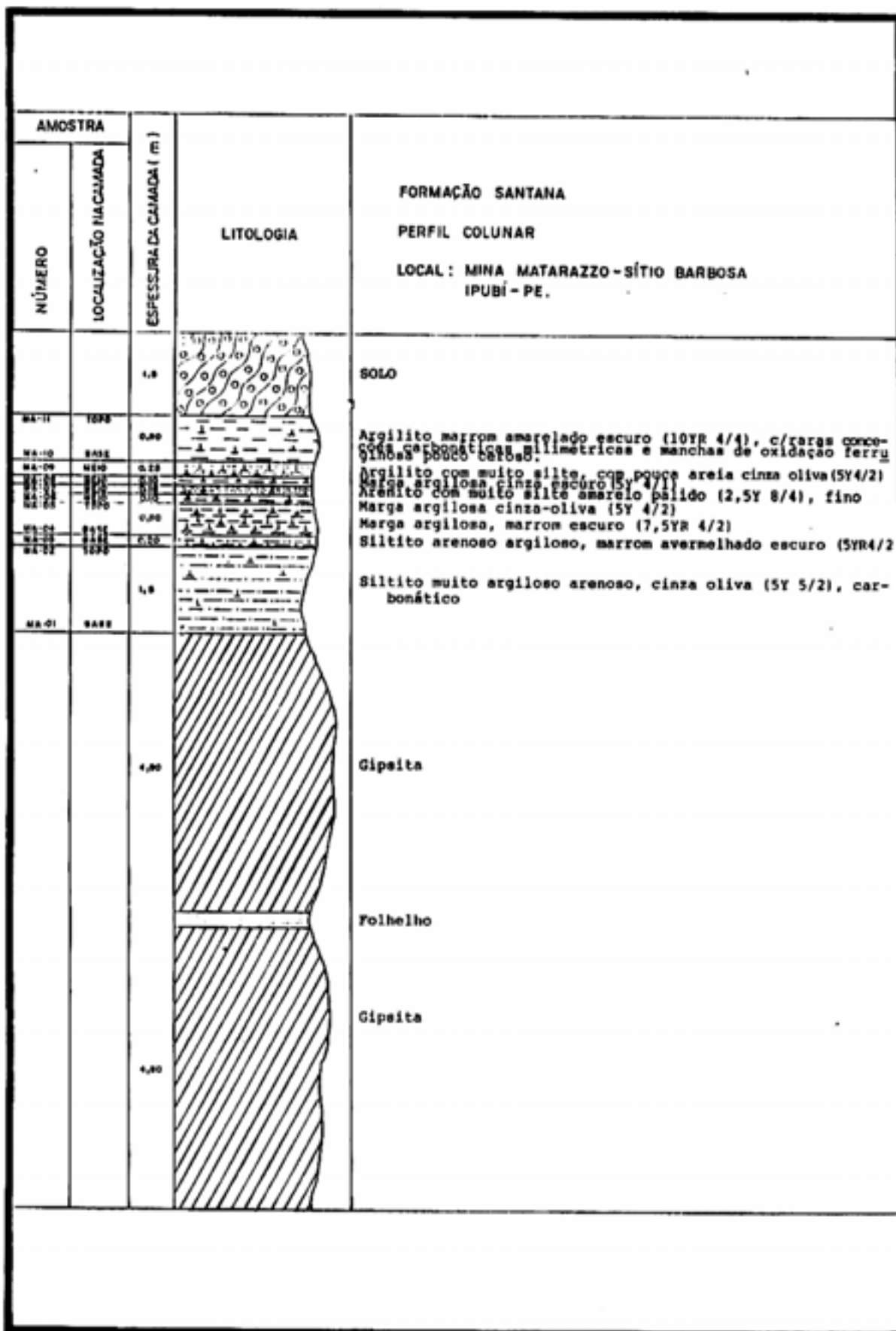


Fig. 6.8 – Perfil colunar da mina Rancharia I – Mina Rancharia – Rancharia - PE.

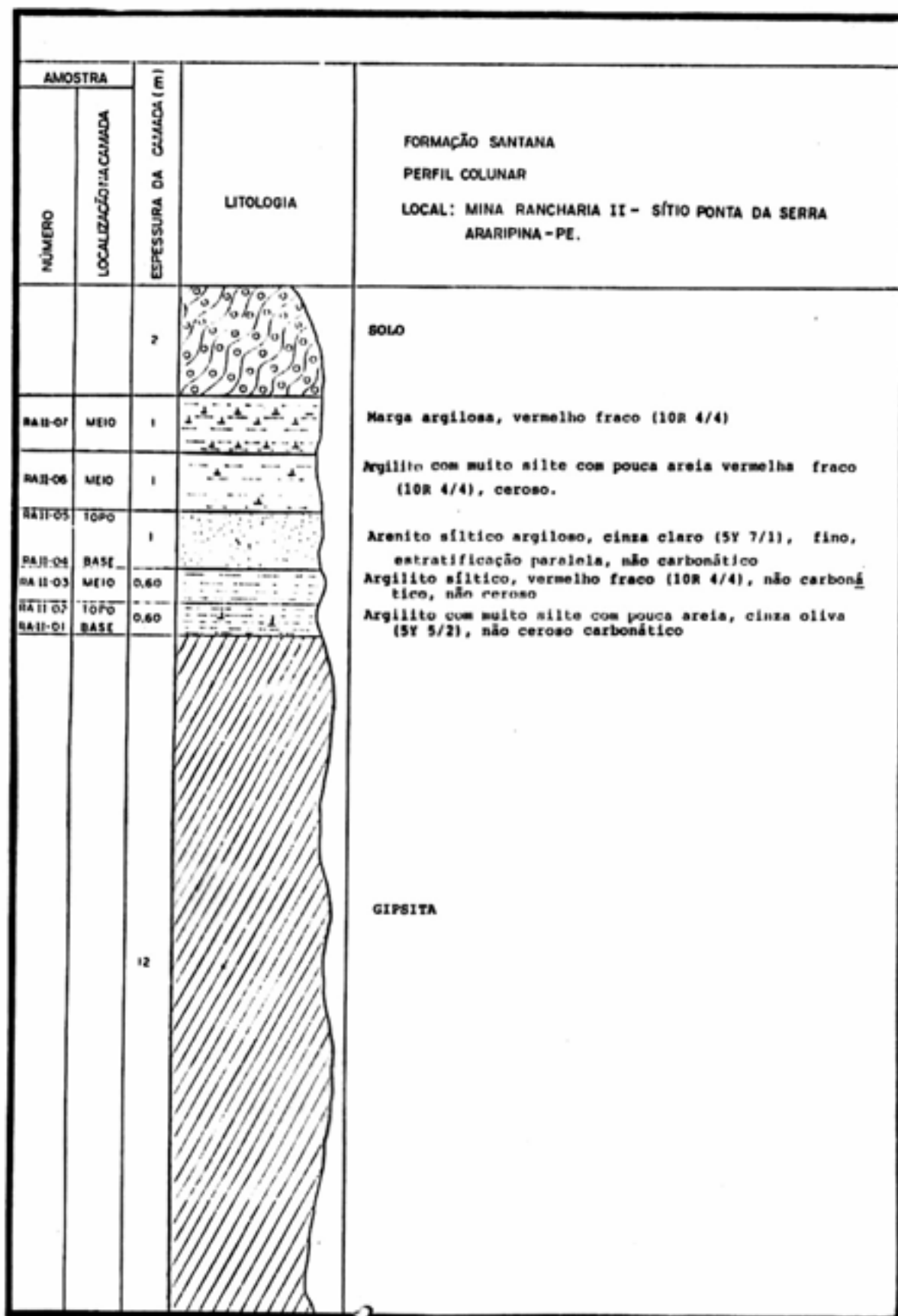


Fig. 6.9 – Perfil colunar da mina Rancharia II – sítio Ponta da Serra – Rancharia - PE.

AMOSTRA		ESPESSURA DA CAMADA (m)	LITOLOGIA	FORMAÇÃO SANTANA PERFIL COLUNAR LOCAL: MINA SÃO JORGE - FAZ. SÃO JORGE OURICURI-PE.	
NÚMERO	LOCALIZAÇÃO NA CAMADA				
		0,80		SOLO	
SJ-24	MEIO	0,60		Folhelho cinza oliva (5Y 5/2), carbonático, pouco ceroso com conecções de margem calcária	
SJ-23	TOPO	3		Folhelho cinza oliva (5Y 5/2), carbonático, pouco ceroso, em alternância com camadas tabulares de margem calcária marrom muito pálido (10YR 7/4), e com conecções de margem calcária fossilífera no topo.	
SJ-22	BASE				
SJ-21	MEIO		0,30		Argilito siltico, cinza oliva (5Y 5/2), não carbonático
SJ-20	TOPO	1,0		Argilito com muito silte, cinza oliva claro (5Y 6/2), não carbonático com veios de gipsita, ceroso	
SJ-19	BASE				
SJ-18	TOPO	3,0		Argilito siltico, oliva acinzentado (10Y 4/2), não carbonático, ceroso, com laminação incipiente e nódulos de margem calcária	
SJ-17	MEIO				
SJ-16	BASE				
SJ-15	MEIO	1,0		Argilito com muito silte, cinza escuro (10YR 4/1), não carbonático, pouco ceroso	
SJ-14	MEIO	0,30		Argilito com muito silte marrom aver.escuro (2,5YR 3/4)	
SJ-13	MEIO	0,50		Siltito muito argiloso, cinza escuro (10YR 4/1), não carbonático, ceroso	
SJ-12	MEIO	0,20		Argilito com muito silte, marrom aver.esc. (2,5YR 3/4)	
SJ-11	MEIO	0,30		Siltito muito argiloso com pouca areia, cinza escuro (10YR 4/1), não carbonático	
SJ-10	TOPO	2,6		Siltito muito argiloso, cinza oliva claro (5Y 6/2), não carbonático	
SJ-09	MEIO				
SJ-08	BASE	0,60		Arenito argiloso siltico, branco (10YR 8/1), fino, friável, carbonático, estratificação paralela	
SJ-07	TOPO				
SJ-06	BASE	0,60		Argilito com muito silte, oliva acinzentado (10Y 4/2), não carbonático, ceroso	
SJ-05	MEIO				
SJ-04	MEIO	0,60		Siltito muito argiloso com pouca areia, oliva acinzentado (10YR 4/2), carbonático	
SJ-03	MEIO	0,20		Argilito com muito silte com pouca areia, vermelho escuro (10R 3/4), não carbonático, pouco ceroso	
SJ-02	TOPO	0,60		Argilito com muito silte, com pouca areia, cinza oliva (5Y 5/2), carbonático, não ceroso.	
SJ-01	BASE				
		18		Gipsita *	

Fig.6.10 Perfil colunar da mina São Jorge - Fazenda São Jorge - Ouricuri - PE.

6.1.2 – O Membro Romualdo

Os sedimentos estudados do Membro Romualdo da Formação Santana compreendem uma seqüência de arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos e margas com espessura de até 30 m, cuja sedimentação ocorreu em fase pós-tectônica, sob condições lagunares, com drenagem centrípeta, que culminaram com a ingressão marinha com deposição de bancos carbonáticos contendo fósseis marinhos.

Os resultados conseguidos com a realização de análises granulométricas dos sedimentos de cada ocorrência estudada (Tab. V-2 e V-3), indicaram que as variações existentes entre os teores das frações silte e argila são, via de regra, pouco expressivas, sugerindo uma participação mais significativa da fração argila. A fração areia é representada por grãos de quartzo em parte semifoscas, apresenta regular seleção predominantemente representada por areia fina a média, como pode ser verificado nas curvas granulométricas cumulativas (fig. 5.4 a 5.11). Estudos sobre velocidades críticas do vento para a movimentação de grãos realizados por Horikawa & Shen (apud Allen, 1970) concluíram que o silte e a argila necessitam de velocidades iguais às necessárias para a movimentação de areia fina e média. A ausência de areia em espessos trechos da seqüência do Membro Romualdo, como pôde ser verificado, no perfil da mina São Jorge, Trindade-PE e Calmina, Ipubi-PE (Tab. V-2 e V-3), os baixos teores e as características superficiais dos grãos, devem estar relacionados a uma contribuição continental episódica de caráter eólico, diferindo do evento que culminou com a sedimentação dos arenitos brancos com estratificação paralela, provavelmente originados a partir da drenagem centrípeta que dominou a fase lagunar do Membro Romualdo.

O termo psamítico se faz representar por camadas de arenitos brancos e amarelos pálidos, friáveis, finos, silticos, eventualmente carbonáticos com estratificação paralela. Estão representados no perfil da mina Gipso, Araripina-PE, por três camadas de aproximadamente 60 cm uma das quais iniciando a seqüência. Em função da abundância relativa das frações granulométricas, os pelitos predominantes são os

argilitos, freqüentemente carbonáticos e silticos. Os siltitos são geralmente carbonáticos e argilosos. Os folhelhos oliva, cinza oliva e cinza claro encontram-se representados exclusivamente nos topos dos perfis das minas São Jorge no município de Trindade-PE, Alto Bonito, no município de Ipubi-PE e Lagoa de Dentro, no município de Araripina-PE, são carbonáticos e alternam-se com margas calcárias marrom muito pálido dispostas em camadas e em níveis apresentando dispersões de concreções carbonáticas eventualmente ictiolítica. Margas argilosas revelando grande variedade de cor (verde, vermelho, cinza, marrom) são as representantes carbonáticas mais freqüentes da seqüência.

As margas calcárias de Lagoa de Dentro apresentam mergulho de até 30° (Fig 3.8) e, eventualmente, fortes deformações representadas por expressivas e localizadas ondulações (Fig. 6.11 e 6.12.).

A gipsita intercalada ocorre na forma de espato cetim e alabastrina, freqüentemente configurando malhas raramente densas de níveis irregulares nos sedimentos, exceto nos arenitos, em parte apresentando mergulhos subverticais. Essa feição corrobora com a idéia defendida por Silva (1983) de que mudanças diagenéticas posteriores à deposição do Membro Romualdo, transformaram anidrita em gipsita alabastrina preenchendo os vazios disponíveis. Silva (op. cit) sugeriu, ainda, que as feições deformacionais observadas na camada evaporítica não são o resultado de mudanças mineralógicas, embasando-se na alegação de que a hidratação de anidrita para gipsita não implica em aumento de volume da camada e, conseqüentemente, as deformações teriam origem tectônica. Klockmann & Randohr (1961) pesquisando o mesmo fenômeno concluíram que a passagem da anidrita para a gipsita implica em um aumento de 60% do volume original. Considerando as conclusões de Klockmann & Randohr (op. cit.) é possível admitir que modificações da atitude e deformações de camadas de margas e argilitos (Fig. 3.7, 3.8, 6.11 e 6.12) devem ser resultantes da epigênese, marcante principalmente na Mina Lagoa de Dentro, Araripina-PE, onde a face superior da camada de gipsita apresenta topografia acentuadamente irregular, onde não foram detectadas evidências de tectonismo.

Outra forma de ocorrência da gipsita representada pela variedade ala-



Fig. 6.11 – Detalhe do perfil da mina Alto Bonito – Ipubí-PE, exibindo gipsita retorcida.



Fig. 6.12 – Aspecto da gipsita ondulada, visto em uma amostra do perfil da mina Campevi – Araripina-PE.

bastrina corresponde a milimétricos leitos tabulares que aparecem alternando-se com camadas de argilitos, margas ou siltitos, próximas ao topo da seqüência, eventualmente apresentando ondulações superficiais, devendo esses evaporitos terem suas deposições sido consumadas em ambiente de sabkha costeira, compatível com a ambiência lagunar que presidiu a maior parte da sedimentação do

Membro Romualdo. Em algumas exposições a seqüência de níveis assume mergulho de até 20° (Fig. 3.7), influenciado pela epigênese evaporítica do Membro Ipubi.

6. 2 - TECNOLOGIA

6.2.1 - Higroscopicidade

O ensaio de higroscopicidade mede, aproximadamente, a umidade que uma argila pode absorver em equilíbrio em ambiente saturado em vapor d'água à temperatura ambiente. Os caulins apresentam nessas condições, higroscopicidade entre 5% e 10%, enquanto argilas esmectíticas podem atingir 30% de umidade higroscópica e podendo até apresentar valores superiores a 50% se o cátion intercalado for sódio.

Dentro do conjunto de amostras de argilas, objeto de estudo tecnológico desta Dissertação, a análise isolada dos valores encontrados para a higroscopicidade (Tabela V-4) sugere que, de um modo geral, a predominância de argilominerais do grupo das esmectitas, uma vez que 70% das amostras apresentaram valores de higroscopicidade entre com 11% e 15% e o restante das amostras, valores situados entre 16% e 24%; como será visto mais adiante, esse resultado está de acordo com os dados de difração de raios-X.

6.2.2 - Umidade Natural

As umidades obtidas nas várias temperaturas (45°C, 130°C, 200°C e 300°C) com base nos pesos secos respectivos (Tabela V-5), corresponderam a valores extremamente baixos com diferenças insignificantes entre valores obtidos às temperaturas sucessivas e crescentes, sugerindo que:1) não são significativos os valores das unidades conseguidos às temperaturas de 45°C, 130°C e 200°C, do ponto de vista de sua utilização como parâmetro interpretativo da possível influência da gipsita no teor de umidade das argilas esmectíticas; a gipsita perde 1 ½ molécula de água entre as temperaturas de 45°C e 130°C formando o gesso; o gesso perde mais de 1/2 molécula de água a temperatura de 200°C e forma a anidrita; o gesso é agente desidratante forte (produto comercial de nome "drierite"); também a anidrita pode ser reidratar facilmente.

2) as argilas já se encontram, “in situ”, drasticamente dessecadas por influência direta das condições ambientais adversas – altas temperaturas (insolação direta); baixas umidades relativas do ar e baixos índices pluviométricos médios anuais de aproximadamente 700 mm inferiores às taxas médias anuais de evaporação, próximas de 1.000 mm (FIDEPE, 1982), o que acarreta déficit no balanço hídrico. A suposição de dessecamento das argilas fica principalmente corroborada pelos baixos valores das umidades obtidas a 130 °C, temperatura em que é totalmente eliminada água líquida dos poros e praticamente retirada toda a água da superfície e em volta das partículas dos argilominerais e de outros minerais de argila e que correspondem a água do tipo “a” de Grim (1068) referida no item 5.2.4.

3) no caso particular das unidades das amostras obtidas à temperatura de 300°C, houve desidratação completa dos cátions hidratados intercalados entre as camadas 2:1 que caracterizam a estrutura cristalina dos argilominerais esmectíticos; na temperatura de 300°C ocorre a eliminação total da água de coordenação dos cátions intersticiais nas camadas 2:1, que corresponde a água do tipo “b” de Grim (op. cit.) referida no item 5.2.4 - levando em conta que as umidades a essa temperatura são equivalentes às umidades obtidas a temperatura de 130°C, o que atesta a condição de dessecamento com possibilidade de colapso das camadas 2:1 da estrutura cristalina dos argilominerais esmectíticos. Considerando que as condições atmosféricas seriam insuficientes para provocar uma desidratação a esse nível, admite-se que o processo evolutivo da gipsita diagenética do horizonte evaporítico foi responsável pela eliminação da água intercalada (enterlayer water), levando em consideração as observações de Braun (1966), segundo as quais as perturbações estruturais das rochas sobrejacentes aos evaporitos da Bacia do Araripe estão relacionados a hidratação da anidrita, uma vez que a movimentação tectônica da bacia teve fim antes da deposição da Formação Santana. A origem diagenética da gipsita da Bacia do Araripe foi confirmada por Silva (1983) pela identificação de fases evaporíticas primárias formadas durante a fase salina do lago continental do Araripe e mudanças diagenéticas posteriores que transformaram anidrita em gipsita alabastrina preenchendo os vazios disponíveis (Fig. 3.7), porfiroblásticas espato-cetinado. A hidratação da

anidrita diz que, segundo Klockmann & Ramdorh (1961), vem acompanhada de um aumento de 60% de volume, faz-se sentir nitidamente pelo aspecto geral retorcido e ondulado dos evaporitos (Fig. 6.11 e Fig. 6.12) e pela local estruturação de rochas sobrejacentes no horizonte evaporítico, claramente configurada na mina Lagoa de Dentro (Araripina-PE), pela acentuada inclinação de camadas de margas e folhelhos (Fig. 3.8).

6.2.3 - Inchamento Macroscópico

O comportamento de fragmentos de argila “bruta” submetidos à adição diária de água por período de quatro dias foi avaliado pela comparação macroscópica com espécimes da mesma amostra tomada como referência e teve como objetivo permitir a verificação das variações geométricas e estruturais nas condições experimentais mencionadas (Tabela V-6). Durante os quatro dias de observações registraram-se inchamentos insignificantes (free swelling), alterações estruturais e de forma nos fragmentos submetidos à adição de água.

O inchamento macroscópico (free swelling) corresponde à soma do inchamento devido à adsorção de água entre partículas com inchamento devido à expansão basal dos argilominerais esmectíticos (intramicellar swelling). Segundo Grim (1968), a incorporação de água e interlamelar, isto é, intercalada entre as camadas 2:1 expansíveis, é difícil, se forem removidos os últimos traços de água interlamelar; enquanto alguma água ainda existir nas camadas, o inchamento (intramicellar swelling) é relativamente fácil.

As umidades inicial e final, determinadas, respectivamente, a partir do fragmento referência e do fragmento submetido a umedecimento, à temperatura de 130 °C, quando da realização do ensaio de inchamento macroscópico, revelaram valores extremamente pequenos e próximos (Tabela V-6). Este fato, observado em praticamente todas as amostras ensaiadas, conduz à conclusão de que houve impossibilidade ou dificuldade da hidratação dos espaços interlamelares das camadas 2:1 dos argilominerais esmectíticos. Essa condição é resultante das secagens drásticas da água de coordenação dos cátions intercalados entre as camadas expansíveis, que teve como

causa mais provável a hidratação da anidrita. A hidratação da anidrita verificou-se durante o processo de substituição das fases evaporíticas primárias por fases evaporíticas secundárias (Silva, 1983), como já foi discutido no item 6.2.2. As observações realizadas com base nos dados da umidade natural (item 6.2.2) permitiram concluir, apenas, que houve, por influência de evolução das fases evaporíticas, o dessecamento da água interlamelar dos argilominerais esmectíticos. A proximidade dos valores das umidades inicial e final das argilas submetidas ao ensaio inchamento macroscópico, obtidos à temperatura de 130°C, conduzem, no entanto, à conclusão de que houve desidratação total com conseqüente colapso nas camadas 2:1 dos argilominerais esmectíticos em direção d_{001} , sugerindo que os insignificantes inchamentos (free swelling) verificados na maioria das argilas foram devidos prioritariamente ao inchamento relativo a adsorção de água entre as partículas (intermicellar swelling) não tendo havido nenhuma ou praticamente nenhuma influência do inchamento decorrente da expansão basal de argilominerais esmectíticos (intermicellar swelling).

Objetivando uma melhor visualização da evolução do inchamento, foram selecionadas duas amostras de comportamentos distintos, para um acompanhamento sistemático mediante registro fotográfico. As amostras selecionadas, CA-09 e RAI-02 são representativas, respectivamente, das amostras compostas CA-09/10/11 e RAI-01/02 e foram comparadas a uma amostra de argila esmectítica de cor verde-claro de referência BV-VRD, do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande-PB, utilizada como referencial. Essas amostras após permanecerem por um período de 48 horas ao ar livre, foram colocadas sobre uma superfície esmaltada de um azulejo e submetidas à adição diária de água destilada na proporção de 15 ml por 100 g de argila bruta com umidade natural, durante dois dias consecutivos. Os registros fotográficos foram efetuados 30 minutos antes e 30 minutos após a adição de água nas amostras. O comportamento verificado foi o seguinte:

1º dia - 30 minutos após a adição de água: as amostras BV-VRD,

CA-09 e RAI-02 apresentavam variações nas alturas respectivas de 40%, 25% e 7% em relação às alturas respectivas iniciais (Fig. 6.13 a 6.16).

2º dia - 30 minutos antes da adição de água: as amostras apresentaram retração, com retorno praticamente à altura inicial (Fig. 6.17 a 6-18); 30 minutos após a adição de água observou-se nova variação nas alturas das amostras com retorno às alturas originais respectivas, atingidas no primeiro dia após 30 minutos da adição da água (Fig. 6.19 e 6.20).

Com relação à mostra CA-09, as variações na altura verificaram-se preferencialmente na direção perpendicular aos planos de acamamento da rocha (em relação à altura do fragmento-amostra), isto é, perpendicular ao eixo "c" cristalográfico do argilomineral. Nessas condições, essas variações na altura do fragmento CA-09 são conseqüência predominante da expansão intramicelar (intramicellar swelling), que corresponde à entrada de e saída de água entre as camadas 2:1 dos argilominerais esmectíticos. A amostra RAI-02 evidencia pequeno inchamento (free swelling) sem, contudo, assumir uma direção preferencial. Esse inchamento corresponde à soma dos inchamentos intermicellar (intermicellar swelling) e intramicelar (intramicellar swelling) em uma rocha argilosa onde os argilominerais esmectíticos não estão dispostos preferencialmente segundo os planos paralelos de acamamento, o que também se observa na amostra BV-VRD.

As observações relativas ao comportamento de fragmentos de argila submetidos à adição de água podem ser reunidas nas seguintes freqüências: 4% das amostras desagregadas totalmente ou parcialmente; 9% não revelaram modificações aparentes; 24% apresentaram esfoliação; 34% evidenciaram fraturamento irregular (Tabela V-6). O comportamento característico das margas em geral, frente à adição de água, corresponde ao fraturamento (Tabelas V-6 e VI-2). Observou-se ainda que, para as rochas não carbonáticas, em

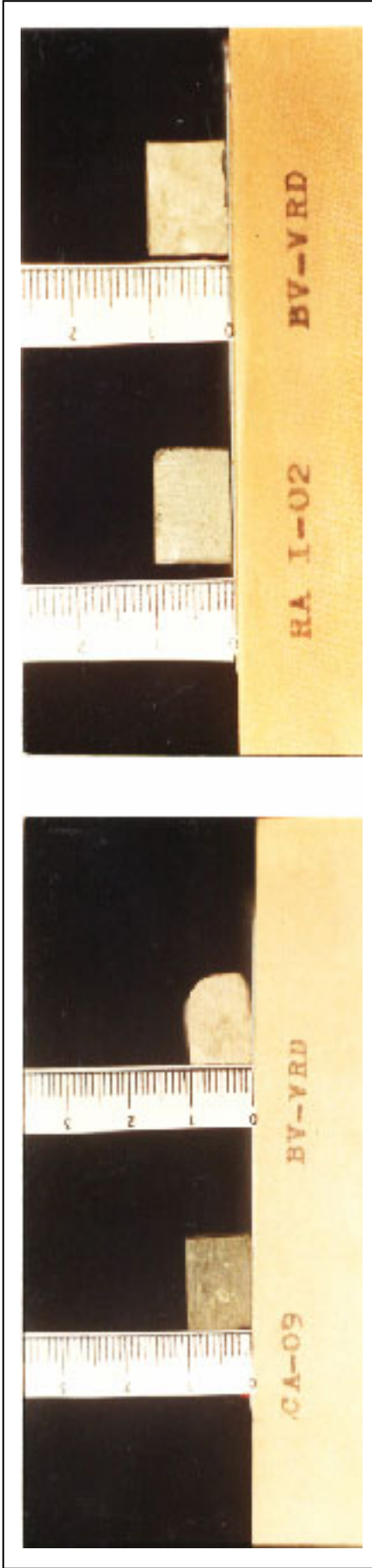


Fig. 6.13

Fig. 6.13 e 6.14 – Aspectos dos fragmentos das amostras CA-09, RAI-02 e BV-VRD 30 minutos antes da adição de água (1º dia)

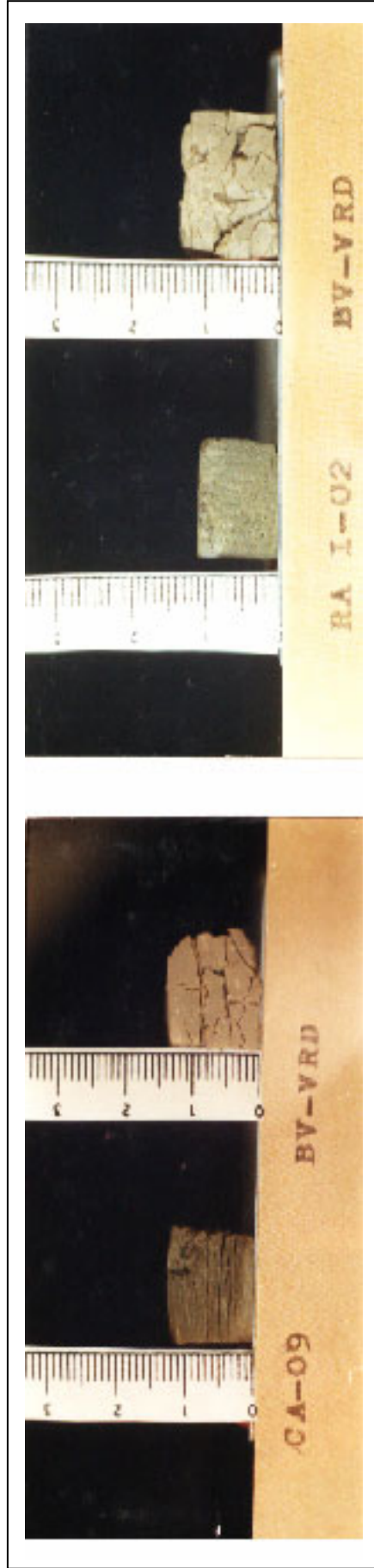


Fig. 6.14

Fig. 6.15

Fig. 6.16

Fig. 6.15 e 6.16 – Aspectos dos fragmentos das amostras CA-09, RAI-02 e BV-VRD 30 minutos depois da adição de água (1º dia)

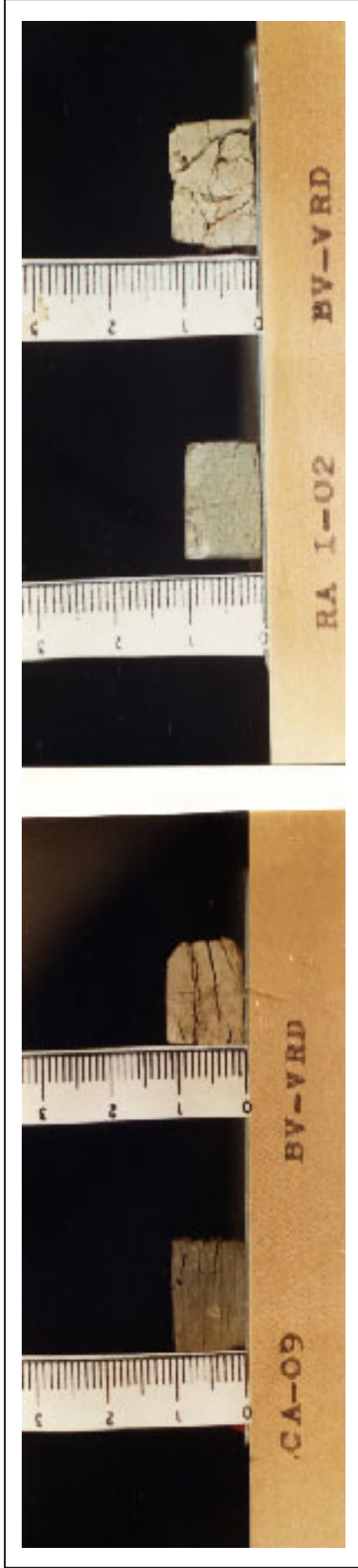


Fig. 6.17

Fig. 6.18

Fig. 6.17 e 6.18 – Aspectos dos fragmentos das amostras CA-09, RAI-02 e BV-VRD 30 minutos antes da adição de água (1º dia)



Fig. 6.19

Fig. 6.20

Fig. 6.19 e 6.20 – Aspectos dos fragmentos das amostras CA-09, RAI-02 e BV-VRD 30 minutos depois da adição de água (1º dia)

especial os argilitos, existe uma correlação entre o teor de fração granulométrica argila e o comportamento das mesmas quando submetidas ao umedecimento nas condições do ensaio de inchamento macroscópico - esfoliações melhor desenvolvidas são observadas em argilitos (amostras GI-12/13, RAII-03, SJ-05 e SJ-16/17/18), cujos teores da fração argila são os mais elevados (71% a 80%); o decréscimo do teor da fração argila (64% a 67%) acarreta uma menor frequência do grau de esfoliação (amostras AB-02, CA-01, LD-07/08 e SJ-19/20) que dá lugar ao aparecimento de fraturamento, quando as frações granulométricas de argila e silte são equivalentes, como se verifica nas amostras SJ-15 (argilito com muito silte) e SJ-08/09/10 (siltito muito argiloso), como pode ser constatado nas Tabelas V-2, V-6 e VI-1.

É recomendável que seja pesquisado se há alteração no valor da reflexão basal nas várias argilas após o ensaio (intercalação de água).

6.2.4 – Inchamento de Foster

Esse ensaio é feito com uma esmectita sódica e mede o valor máximo do gel que 1 g de esmectita forma após expandir livremente em água destilada por 24 horas, às temperaturas ambientes. A expansão é devida à água que entra entre as camadas 2:1 e hidrata os cátions sódio (11 a 12 moléculas de H₂O por cátion Na⁺).

Esse ensaio de inchamento está diretamente correlacionado com o ensaio de viscosidade plástica do API (1976); uma dispersão, a 6% de argila sódica com 24 horas de idade deve apresentar uma viscosidade plástica de 4,0 cP de acordo com Petrobrás (1968). Esse gel é o mesmo que se forma no ensaio de Foster. Assim, se 6 g formam 100 cm³ de gel (no mínimo), o inchamento de Foster é 100 cm³/6g que corresponde a 16,7 cm³/g; em outras palavras, 1 g de argila sódica colocada em uma proveta graduada de 100 ml deve atingir, por inchamento, o nível de 16,7 cm³. Esse valor é o que deve apresentar uma boa esmectita sódica de Wyoming. No Brasil admitem-se valores menores (14,0 cm³/g a 10,0 cm³/g).

Observou-se que os maiores valores do inchamento de Foster,

com argilas tratadas com carbonato de sódio corresponderam, via de regra, ao valor máximo de $3,0 \text{ cm}^3/\text{g}$, valor esse conseguido para o inchamento com amostras não tratadas. Os melhores valores obtidos em ambos os casos estudados, estão relacionados com argilitos, raros folhelhos carbonáticos e algumas margas argilosas. Provavelmente é o cálcio da calcita que inibe o inchamento de Foster (Tabela V-7).

6.2.5 – Resíduo em Peneira ABNT nº 325

Os resíduos em peneira ABNT nº 325, das argilas estudadas em lâminas petrográficas por microscopia óptica não revelaram expressivas variações nas suas composições; são constituídos por quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário, de argila e de rocha, gipsita, mica muscovita, zircão e granada.

Os fragmentos de rocha não permitiram a identificação do tipo litológico. O quartzo é encontrado em predominância quase absoluta e mostra variações de tamanho dos grãos tanto por amostra como entre amostras. Os feldspatos são a microclina e os plagioclásios que podem estar presentes em uma mesma amostra, e mostram, via de regra, maiores do que o quartzo. Os fragmentos de calcário não revelam fósseis, exceto na amostra CA-01, em que a identificação não é possível, pelas condições de preservação. A mica muscovita é abundante e encontra-se em forma de pequenas palhetas. Frequentes são também as concreções ferruginosas. Os fragmentos de rocha, o zircão e a granada são raros.

O teor do resíduo varia de 0,59% a 34,83%, sendo mais freqüente na faixa de variação de 0% a 5% onde estão concentradas 27 amostras (67% do total). Esse resíduo funciona como material inerte influente nas propriedades tecnológicas das argilas esmectíticas; assim, quanto menor for o teor de resíduo em # 325, provavelmente maior será o teor de esmectita da amostra da argila.

6.2.6 – Difração de raios-X

Os minerais constituintes das amostras de argilas analisadas foram identificados com base nas reflexões de maiores intensidades, para o caso das amostras naturais. No que se refere às amostras

glicoladas levou-se em consideração a expansão de 14,97 Å a 15,78 Å para 16,99 Å como critério de identificação (Fig. 5.12 a 5.32).

Todas as quarenta amostras estudadas revelaram as linhas de interferência basais do grupo das esmectitas nas amostras naturais ($d = 15,0 \text{ \AA}$ a $16,0 \text{ \AA}$), e nas amostras glicoladas ($d = 16,99 \text{ \AA}$). Foram identificadas, ainda, reflexões basais dos grupos das micas entre $10,0 \text{ \AA}$ a $11,0 \text{ \AA}$ e do grupo das caulinitas entre $7,0 \text{ \AA}$ a $8,0 \text{ \AA}$. Além das reflexões basais dos argilominerais foram observadas reflexões da gipsita ($d = 7,0 \text{ \AA}$ a $8,0 \text{ \AA}$); do quartzo ($d = 3,3 \text{ \AA}$ a $3,4 \text{ \AA}$); dos feldspatos ($d = 3,2 \text{ \AA}$ a $3,3 \text{ \AA}$); da calcita ($d = 3,03 \text{ \AA}$ a $3,09 \text{ \AA}$). Apesar da presença significativa de óxido de ferro no estudo de lâminas petrográficas (item 6.2.5), somente foi possível identificá-lo nos difratogramas de raios-X das amostras AB-05/06/07, MA-04/05, MA-10/11 e RAI-03, na forma do mineral goetita ($d = 4,17 \text{ \AA}$ a $4,24 \text{ \AA}$), devido às baixas intensidades das suas linhas de interferências basais (radiação K-alfa do cobre).

A identificação por difração de raios-X mostrou que as argilas do Membro Romualdo da Formação Santana são constituídas por uma mistura de argilominerais dos grupos das esmectitas, das micas, e da caulinita em proporções diversas. O grau de abundância relativa das esmectitas das micas e da caulinita é, nessa mesma ordem, genericamente e gradativamente decrescente na maioria das amostras estudadas, em função da intensidade do pico d_{001} observou-se ainda em alguns difratogramas, ausência de micas (amostra GI-14, MA-10/11 e RAI-03/04) e ausência das caulinitas (amostra LD-01/02/03); predominância absoluta das esmectitas e inexistência de micas e caulinitas (amostra CA-19) ou teor insignificante de ambas (amostras LD-07/08 e SJ-01); equivalência nas proporções de esmectitas e micas em predominância sobre a caulinita (amostras AB-03/04, RAI-01/02 e RAI-06); micas mais predominantes do que as esmectitas e caulinitas (amostras GI-09/10 e SJ-08/09/10).

O pico que caracteriza a reflexão basal da mica identificada entre 10 \AA e 11 \AA apresenta assimetria e é mais aberto na direção dos valores crescentes de d_{001} (decrescentes do ângulo 2θ), o que caracteriza o

mineral ilita. As ilitas são normalmente detríticas e apresentam o pico pontiagudo a 10 Å assimétrico.

As esmectitas presentes nos sedimentos do Membro Romualdo, devem ter sido originadas a partir de rochas ricas em silício, alumínio ou ferro, contendo magnésio como constituinte, ou em contato com águas que o continham, alterando-se em meio aquoso correspondente ao ambiente lacustre, em que o cátion predominante era o cálcio. A caulinita origina-se a partir de rochas ricas em silício e alumínio em ambiente ácido, sem outros cátions em quantidades apreciáveis. As condições ambientais reinantes tanto intra como extra-bacia eram incompatíveis para a sua geração. A caulinita existente no Membro Romualdo provavelmente evoluiu a partir da mica existente, cuja origem pressupõem a co-participação do potássio na soma dos íons presentes. Essas suposições coincidem com as generalizações feitas por Grim (1968) para prever os produtos de decomposição de rochas em condições de drenagem restrita e de retenção de águas de lixiviação que contêm as substâncias dissolvidas, válidas para ambientes lacustres.

6.2.7 – Cátions Trocados (CT) e Capacidade de Troca de Cátions Total (CTC)

A Tabela V-9 traz os teores dos cátions trocáveis em meq/100 g de argila. Do exame desta Tabela as seguintes conclusões podem ser tiradas:

- 1) Cálcio e magnésio são essencialmente os cátions trocáveis da fração esmectita das amostras de argila estudadas;
- 2) O teor de cálcio contribui com 15% a 64% da capacidade de troca de cátions total;
- 3) O teor de magnésio contribui com 4% a 24% da capacidade de troca de cátions total, sendo mais expressivo em amostras das minas Alto Bonito (referência AB), Gipso (referência GI) e São Jorge (referência SJ), chegando, em alguns casos, a superar os valores de cálcio (amostras AB-01, AB-02, CTI-12/13, SJ-16/17/18);
- 4) Os teores de sódio e potássio trocáveis são muito pequenos

em relação aos outros cátions trocáveis, apresentando o sódio valores mais elevados do que o potássio, exceto em alguns casos isolados (amostras MA-01/02 e SJ-08/09/10);

5) Os teores de hidrogênio ácido e de alumínio são geralmente nulos. Uma possibilidade previsível era a de que os mesmos fossem detectados com maiores teores em camadas situadas imediatamente abaixo ou próximas ao solo, devido à influência do ácido húmico e dos sesquióxidos, o que se verificou apenas com as amostras CA-17/18, GI-12/13, GI-14 e MA-10/11. O alumínio detectado na amostra LD-07/08 não teve a origem acima mencionada, em face de sua posição topográfica em relação ao solo (Fig. 6.6).

A água de coordenação dos cátions intercalados entre as camadas das celas unitárias (interlayer water) é totalmente removida a temperatura de 200 °C a 300 °C. Em princípio seria razoável tentar-se estabelecer uma correlação entre a CTC e a água de coordenação dos cátions. Entretanto, as parcelas de umidade perdidas pelas amostras quando da amostragem, transporte e preparação das amostras, além do fato das argilas conterem uma mistura de argilominerais esmectíticos e não esmectíticos e impurezas (entre os argilominerais não esmectíticos encontram-se a caulinita que também apresenta CTC devido à água de coordenação dos cátions adsorvida nas superfícies externas das partículas ou cristais), sugerem que a correlação aventada não tem valor elucidativo.

Uma razoável correlação entre a capacidade de troca de cátions total (CTC) e a higroscopicidade pode ser verificada na Fig. 6.21. Observa-se, no entanto, uma discrepância no que se refere ao valor da CTC (68,7 meq/100 g), obtido a partir da amostra CA-19, em relação ao valor da sua higroscopicidade (17%); essa discrepância se deve provavelmente ao fato de a capacidade de troca de cátions elevada, não compatível com a higroscopicidade, estar influenciada pela interferência de ácido húmico, considerando que a amostra CA-19 foi extraída do solo (perfil da mina Calmina, Fig. 6.3).

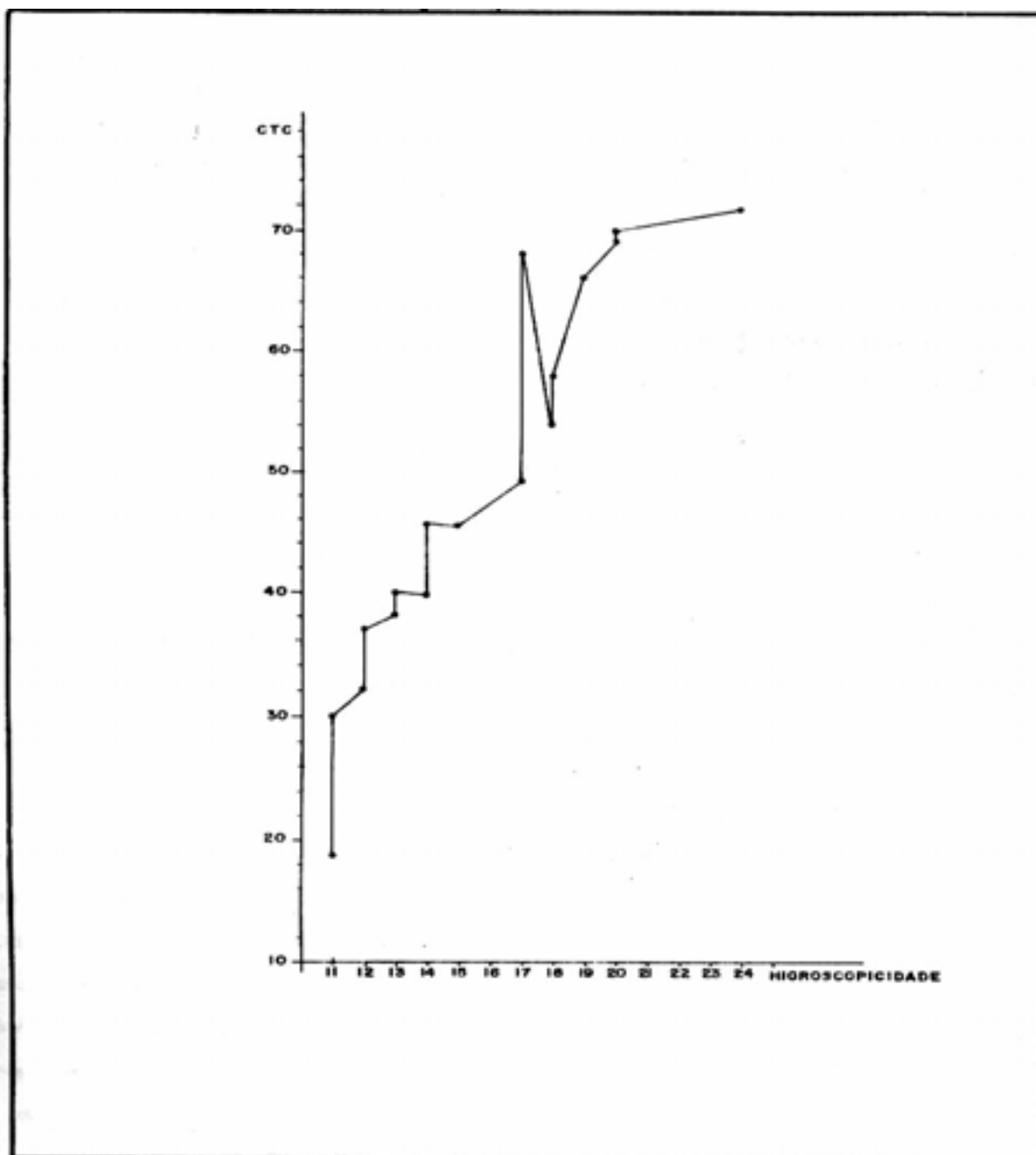


Fig. 6.21 – Correlação entre Higroscopicidade e CTC.

Tomando o valor de 100 meq/100 g como o valor médio de uma esmectita “pura” (Souza Santos, 1975; 1989), o valor medido da CTC total é uma avaliação aproximada do teor ponderal de esmectita na argila; exemplificando: se a CTC é 70 meq/100 g, o teor de esmectita é da ordem de 70% (ver Tabela V-9 para os valores de CTC).

Os ensaios de troca dos cátions das argilas do Membro Romualdo da Formação Santana, por sódio (Tabela V-9) usando como fonte de

sódio solução concentrada de carbonato de sódio, indicaram que não é possível conseguir esmectitas sódicas que apresentem em dispersão aquosa de concentração da ordem de 6% de argila, que satisfaçam os valores mínimos estabelecidos pelas especificações da Petrobrás (1968).

Os fatores que podem ter influenciado as viscosidades das argilas esmectíticas estudadas, são discutidos a seguir:

1) As argilas esmectíticas do Membro Romualdo da Formação Santana são policatiônica, como foi visto no item anterior, com predominância dos cátions cálcio e magnésio. Quando o cátion cálcio ou magnésio são cátions trocáveis a película adsorvida na superfície dos argilominerais é de água muito rígida, ou seja, com elevado grau de orientação, mantendo as várias camadas cristalinas unidas, isto é, o cálcio (ou magnésio) atua como agente flocculante (Souza Santos, 1989) no sistema argila + água. Nesse caso a proporção da solução de carbonato de sódio (100 meq/100 g de argila) pode não ter sido suficiente para produzir dispersões com viscosidades suficientes, como também produzir dispersões com viscosidade plástica mínima recomendada pela Petrobrás que é de 4 cP, por dificuldade de troca catiônica.

2) A desidratação total dos cátions interlamelares torna difícil a reincorporação da água entre as camadas 2:1 expansíveis dos argilominerais esmectíticos. A hidratação da anidrita que deu origem à gipsita diagenética da Bacia do Araripe dessecou drasticamente as argilas esmectíticas, podendo ter provocado, por dificuldade conseqüente de troca catiônica, o surgimento de argilas que produzem dispersões com baixos valores de viscosidade plástica, após tratamento com carbonato de sódio;

3) Os minerais e argilominerais não-esmectíticos, como inertes, têm poder de influência na redução das viscosidades aparente e plástica, como já foi demonstrado por Souza Santos (1968). A participação relativamente abundante do quartzo, somada a presença de outros minerais, como calcita, feldspatos e gipsita, na composição

das argilas estudadas, sugere uma interferência negativa (decréscimo do valor) do ponto de vista das viscosidades.

4) Os sais solúveis em excesso dissolvidos na dispersão aquosa de argila afetam prejudicialmente as propriedades reológicas das esmectitas sódicas e podem ser eliminados por diálise em sacos de celofane, em água destilada corrente. A hipótese da presença de sais solúveis com concentrações prejudiciais às viscosidades plásticas das argilas estudadas, não pode ser aceita, uma vez que a diálise realizada nas dispersões de argilas não contribuiu para a melhoria da viscosidade plástica, o que também foi verificado após diálise nas amostras brutas, antes da adição do carbonato de sódio. Isso significa que o cálcio de origem calcítica e gipsítica não pode ser solubilizado e assim ser eliminado por diálise.

6.2.8 – Descoramento de Óleo Vegetal (Soja)

Os resultados obtidos com as amostras de argilas em estudo, como agentes descorantes de óleo de soja em estado natural e após ativação ácida (Tabela V-11, V-12 e V-13), em comparação com a argila esmectítica ativada Tonsil, são os seguintes:

1) Nenhuma das treze amostras de argilas analisadas em estado natural na proporção de 0,5 g, 1,0 g e 2,0 g para 100 g do óleo de soja revelou poder descorante igual ou superior à argila ativada Tonsil;

2) Das treze amostras de argilas ativadas com ácido sulfúrico, ensaiadas na proporção de 0,5 g para 100 g de óleo de soja, onze descoraram as cores vermelha e amarela do óleo de soja de forma superior ou igual à Tonsil. Dentre essas argilas, quatro descoraram a cor vermelha melhor do que a Tonsil e descoraram a cor amarela de forma igual à Tonsil (Tabela V-12: amostras AB-02 e CA-01; Tabela V-13: amostras AB-12/13 e MA-04/05); duas não apresentaram propriedades adsorptivas melhores do que as de argila-padrão (Tonsil) para a cor vermelha (Tabela V-12: amostras CA-19 e GI-12/13); e as sete amostras restantes (Tabelas V-12 e V-13) revelaram propriedades descorantes superiores à apresentada pela argila-padrão (Tonsil);

3) Das treze amostras de argilas ativadas em ácido sulfúrico,

ensaiadas na proporção de 1,0 g para 100 g do óleo de soja, três descoraram as cores vermelha e amarela do óleo de soja de forma superior ou igual à Tonsil. Dessas amostras, uma comportou-se de forma igual à Tonsil com relação ao descoramento das cores vermelhas e amarela (Tabela V-12: amostra RAI-03) e duas apresentaram descoramento superior à Tonsil para ambas as cores (Tabela V-13: amostras LD-07/08 e RAI-05/06/07); e as nove amostras de argilas restantes (Tabela V-12 e V-13, revelaram propriedades descorantes inferiores às apresentadas pela argila-padrão Tonsil;

4) Das treze amostras de argilas ativadas com ácido sulfúrico ensaiadas na proporção de 2,0 g para 100 g de óleo de soja, três tem propriedades adsorptivas iguais à Tonsil (Tabela V-12: amostra CA-01 e SJ-16/17/18; Tabela V-13: amostra LD-07/08), as dez amostras restantes comportaram-se de maneira equivalente ou inferior à Tonsil com relação ao poder descorante das cores vermelha e amarela.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com quarenta amostras de argilas do Membro Romualdo da Formação Santana da bacia do Araripe, permitem as seguintes conclusões:

1) As argilas são constituídas essencialmente por argilominerais dos grupos das esmectitas, das micas e da caulinita, além de conterem quartzo, feldspatos, calcita, gipsita, granada e zircão como acessórios.

2) O significativo teor de silte presente nos sedimentos sugere uma participação continental na origem e evolução do Membro Romualdo da Formação Santana.

3) Os valores elevados da CTC das argilas permitem concluir que elas são constituídas predominantemente por argilas esmectíticas; assim, segundo o critério de Grim & Güven podem ser chamadas “bentonitas”. Os cátions trocáveis predominantes naturais são cálcio e magnésio.

3) A transformação das esmectitas policatiônicas naturais em esmectitas sódicas, mediante tratamento com carbonato de sódio não produz argilas sódicas com propriedades reológicas necessárias para satisfazer as especificações da Petrobrás (1968) para agente tixotrópico para fluido de perfuração de poço de petróleo. Uma causa provável da viscosidade plástica baixa é a presença da calcita e da gipsita liberando cátions Ca^{+2} flocculante.

4) A diálise em celofane contra água destilada das argilas sódicas (tratadas com carbonato de sódio) que apresentaram os maiores valores para as viscosidades plásticas, não proporcionou melhoria nos valores inicialmente encontrados. Esse fato, provavelmente, se deve aos elevados teores de calcita e de gipsita que não puderam ser eliminados por diálise.

5) A pré-diálise (para eliminar componentes solúveis em água)

levada a efeito nas argilas originais, não alterou as propriedades originais das argilas no sentido da melhoria das propriedades reológicas, isto é, não conseguiu solubilizar e eliminar o Ca^{+2} da calcita e da gipsita.

6) As esmectitas estudadas apresentam dificuldade de se hidratar, isto é, em intercalar moléculas de água entre as camadas 2:1 da estrutura cristalina. Esse fato não só dificulta a troca por Na^+ e a glicolação como também afeta negativamente a possibilidade de separação das camadas 2:1 (delaminação), a qual é responsável pelos valores da viscosidade plástica e do inchamento de Foster; isso é devido a uma secagem drástica natural das argilas.

7) Essa desidratação drástica é provocada pela hidratação da anidrita na geração da gipsita diagenética.

8) Algumas das argilas, após ativação ácida com ácido sulfúrico, desenvolvem propriedades adsorptivas que as classificam como agente descorante de óleo de soja, equiparando-se, em poder descorante, à argila ativada Tonsil de origem mexicana.

RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Visando aprofundar o conhecimento das propriedades tecnológicas das argilas estudadas nesta Dissertação, sugerem-se os seguintes estudos:

1) Determinação do teor de gipsita das amostras com HCl e NH_4Cl ;

2) Tratamento das argilas com Na_2CO_3 após dissolução da calcita com HCl, objetivando verificar se as viscosidades aparente e plástica atingem os valores mínimos especificados pela Petrobrás;

3) Tentativa de troca com diferentes sais de sódio, especialmente sabões de sódio;

4) Autoclavagem das argilas com a finalidade de verificar se a intercalação da água é facilitada na ausência e na presença de Na_2CO_3 e NaCl;

5) Determinação do poder descorante das argilas para outros óleos vegetais, além do óleo de soja, mediante ativação das argilas com HCl e HNO_3 ;

6) Determinação da propriedade de expansão piropilástica para agregado leve, correlacionando com a composição mineralógica, principalmente as das impurezas existentes;

7) Avaliação do amadurecimento das argilas por período de um ano com 50% a 60% de água deionizada e com água de açude (rica em cálcio) na presença de CO_2 do ar em ambiente fechado.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof. Dr. Pécisio de Souza Santos, pela inestimável transmissão de conhecimentos, críticas construtivas e revisão do texto desta Dissertação de mestrado.

Aos professores Jannes Markus Mabessone e José Lins Rolim pela constante troca de idéias relativas à geologia da bacia sedimentar do Araripe e aos ensaios sedimentológicos executados.

À UFPE pela oportunidade proporcionada para a consolidação dos nossos conhecimentos profissionais.

Ao CNPq e a CAPES, pelas bolsas de estudo concedidas que tornou possível o acompanhamento do Curso de Pós-Graduação em Geociências.

À Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, na pessoa do Dr. Jader Figueiredo de Andrade e da Dra. Lúcia Carvalho Pinto de Melo, pelo apoio financeiro proporcionado.

À Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco – ITEP, na pessoa do Dr. Carlos Costa Dantas e do Dr. Abrahan Benzaquem Sicsu, pela concessão para realização dos ensaios e pela permissão para o nosso desenvolvimento integral nos trabalhos desta Dissertação.

Ao colega, Engenheiro Químico Antonio de Pádua Rodrigues de Araújo, pela espontânea e sistemática colaboração na realização dos ensaios tecnológicos, ratificou a sua condição de amigo.

À colega, Engenheira Química Ana Maria de Freitas Barbosa, pelo empenho na realização dos ensaios químicos.

Aos colegas, Geólogo Marcílio Augusto Duque Pacheco e Engenheiro Civil Caetano de Queiroz Monteiro pela cooperação na consecução de fases básicas de apoio a esta Dissertação.

Ao Engenheiro de Minas Alex Levy pela espontânea cooperação nos trabalhos de campo desenvolvidos nas regiões de Araripina e Ipubi.

Aos empresários da região do Araripe, Adriano Pinto, Arnaldo Torres, Geraldo Lins, Josias Inojosa, Laudenor Lins, Luis Fernando Duarte e Valdemar Pereira, pelas facilidades concedidas nos trabalhos de campo desenvolvidos nas minas de gipsita de suas propriedades.

Aos Laboratoristas de Solo da Unidade de Minas e Geotecnia do ITEP Cícero Gomes, Daniel Neto, Edmilson Saavedra, Jaime de Oliveira, Moacir Bandeira, Sebastião Santos e Ubiratan Canuto, pelo empenho na realização dos ensaios físicos, e aos laboratoristas do Laboratório de Minerais Não-metálicos do ITEP Rossini Vilaça e José Roberto Silva, pelo empenho na realização dos ensaios químicos.

Ao desenhista Gilvan Bittencourt pela dedicação na realização de todas as figuras gráficas constantes desta Dissertação.

À Srta. Vera Lúcia Andrade pela colaboração nos trabalhos datilográficos.

Àquelas que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta Dissertação de Mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accioly, C. V., Ferreira, H. C., 1991. Caracterização reológica de argilas esmectíticas sódicas para uso como fluido na construção de paredes diafragmas. Cerâmica, v. 37, nº 248, p. 39.
- Allen, J. R. L., 1970. Physical processes of Sedimentation. Allen & Unwin, Londres, 248 p.
- American Oil Chemist's Society., 1958. "BLEACHING TEST". Official method Cc 8a-52; Cc 8b-52; Cc 8d-55; A.O.C.S. Chicago.
- API., 1976. Recommended practice: standard fields procedure for testing, drilling, fluids API-RP 13B, 6ª ed. (Atualizada API-RP 29, 4ª ed. Maio 1957), American Petroleum Institute, Dallas, Texas, EUA.
- Araújo, A. P. R., Baraúna, O. S., Mota, E. F., 1979. Estudo de argilas montmoriloníticas do Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 23, Salvador, 1979. Resumo dos trabalhos técnicos, p. 13.
- Araújo, A. P. R., Almeida, M. M., Telles, D. L., 1980. Estudo tecnológico de argilas esmectíticas da fazenda Campos Novos em Cubati, Estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 24, São Bernardo do Campo, 1980. Resumo dos trabalhos técnicos, p. 8.
- Araújo, A. P. R., Almeida, M. M., Souza Santos, P., 1981. Estudos de propriedades de argilas de Campina Grande, Paraíba, II. O ensaio de Greene-Kelly em esmectitas de diversas cores das localidades de Bravo, Lages e Juá. Cerâmica, v. 27, nº 137, p. 197-204.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 1981. Solo: análise granulométrica – métodos de ensaio. NBR 7181. Rio de Janeiro.
- Assunção, L. M. C., Ferreira, H. C., 1979. Influência da concentração, velocidade e tempo de agitação, nas propriedades reológicas de dispersões de montmorilonitas industrializadas no Estado da Paraíba. Cerâmica, v. 25, nº 114, p. 165-170.
- Baraúna, O. S. et al., 1981. Ocorrência de argilominerais do grupo da paligorsquita (atapulgita) – sepiolita no sítio Bravo, distrito de Boa Vista, município de Campina Grande-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 24, Curitiba, 1981. Resumo dos trabalhos técnicos, p. 34.
- Barreto, W. O., Morais, J. R. A., Duriez, M. A. M., 1979. Parte 2 análises químicas. In: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, v. 1, (não paginado).

Berthou, P. Y., Depeches, F., Campos, D. A., Herbin, J. P., Pierres, C., 1988. New data on sedimentation, palioenvironment and stratigraphy of the Chapada do Araripe. Revista Brasileira de Geociências, v. 18, n. 3, p 315.

Berthou, P., Teles, M. S. L., Campos, D. A., 1990. Sedimentation argileuse Cretacée (N. E. du Brasil). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, Crato, 1990. Atas... Crato, p. 143-162.

Beurlen, K. O., 1962. Geologia da Chapada do Araripe. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 34, nº 3, p. 365-370.

Beurlen, K., 1971. As condições Ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). Rio de Janeiro. Academia Brasileira de Ciências. ANAIS. Suplemento nº 43. P. 411-415.

Braun, O. P. G., 1966. Estratigrafia dos sedimentos da parte interior da região nordeste do Brasil. Boletim. Div. de Geolog. e Miner. DNPM, Rio de Janeiro, nº 236, p. 1-25.

Brindley, G. W., MacEvan, D. M. C., 1951. The interpretation of the composite X-ray powder diagram. In: Brindley, G. W. X-ray identification and structures of clay minerals., Great Britain: Mineralogical Society, p. 314-325.

Brindley, G. W., 1961. Quantitative analisys of clay mixtures. In: Brow, G. The X-ray identification and crystal structures of clays minerals., Great Britain: Mineralogical Society, p. 489-493.

Brindley, G. W., Ougland, R. M., 1962. Quantitative studies of high-temperature reactions of quartz kaolinite feldspar mistures. Trans. Brit. Ceram. Soc., nº 61, p. 599.

Brindley, G. W., Souza Santos, P., Souza Santos, H. L., 1963. Mineralogical studies of kaolinite halloysite clays. 1, Identification problems. Amer. Mineralog., nº 48, p. 897-910.

Brito Neves, B. B. de, 1990. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE. 1, Crato, 1990. Atas... p. 21-33.

Caldasso, A. L., 1965. Geologia da jazida de argila de Boa Vista-PB. Recife: SUDENE, 18 p. (série especial nº 2).

Caldasso, A. L., Albuquerque, J. P. T., Brito Neves, B. B. de, 1971. Novas ocorrências de argilas montmoriloníticas na Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 5, Recife, 1971. Resumo

das comunicações e roteiro da excursão. Recife: SBG. (Boletim Especial, 1) p. 11-12.

Caldasso, A. L., Andrade, D. A., 1979. Novas considerações sobre a gênese e a idade dos depósitos de argilas montmoriloníticas da Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, Natal, 1979. Atas... Natal, 638 p. i1. (Boletim Especial, 7) p. 619-625.

Campos, L. M. V., Souza Santos, P., 1977. A troca por diferentes sais de sódio de uma montmorilonita de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba, com diferentes compostos de sódio. Cerâmica, v. 23, nº 96, p. 249-260.

Cordani, U. G. et al., 1984. Estudo preliminar de integração do Pré-cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Cin. Tecn. Petr. Secção: Exploração de Petróleo, Rio de Janeiro, nº 15, p. 1-70.

Dematée, C. L., 1980. Bentonita: beneficiamento e uso no Brasil. Cerâmica, v. 26, nº 132, p. 353-370.

Diaz, F. R. V., 1983. Estudos em escala de laboratório visando corrigir a viscosidade plástica da esmectita de cor verde-lodo de Lages, distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. São Paulo, 1983, 153 p. Dissertação (Mestrado). USP, Dept. de Eng. Química.

Diaz, F. R. V., Souza Santos, P., Ferreira, H. C., 1986. Estudo em escala de laboratório, visando corrigir a viscosidade plástica dilatante de esmectita de cor verde-lodo, de Lages, Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Cerâmica, v. 32, nº 203, p. 319-330.

Diaz, F. R. V., Abreu, L. D. V., Souza Santos, P., 1991-a. Variação da viscosidade de misturas água-argila com a concentração. Cerâmica, v. 37, nº 248, p. 37.

Diaz, F. R. V., Abreu, L. D. V., Souza Santos, P., 1991-b. Variação da viscosidade de mistura esmectita-álcool e de misturas esmectita álcool-água-óleo de soja. Cerâmica, v. 37, nº 248, p. 37.

Ennes, E. R., Santos, J. S. A., 1975. Projeto Picuí. Relatório Final. Recife: DNPM, 2 v.

Ferreira, H. C., 1972. Caracterização e aplicações industriais de argilas, caulins e feldspatos do nordeste brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). São Paulo, 1972. 352 p. Tese (Doutoramento). USP, Dept. Eng. Química.

Ferreira, H. C., 1978. Impermeabilização e características mecânicas de argamassa através do uso de argilas montmoriloníticas visando a sua aplicação em alvenaria de tijolos aparentes. Cerâmica, v. 24, nº 97, p. 16-31.

Foster, M. D., 1951. The importance of the exchangeable magnesium and cation-exchange capacity in the study of montmorillonitic clays. Amer. Miner., v. 36, p. 717-730.

Foster, M. D., 1953. Geochemical studies of clay-minerals. (II) – Relation between ionic substitution and swelling in montmorillonite. Amer. Miner., v. 38, p. 994-1006.

Foster, M. D., 1954. The relation between “illite”, beidellite and montmorillonite. Proceedings of 2nd Nat. Conf. On Clays and Clays Minerals. N. A. Sc – N. R. C., p. 386-397.

Foster, M. D., 1955. The relation between composition and swelling in clays. Proceedings of 3rd. Nat. Conf. On Clay and Clay Minerals. Nº 395, p. 205-220.

Fundação de Informações para o Desenvolvimento de Pernambuco – FIDEPE. Araripina. Recife, 1982, 66 p. (Monografias Municipais, 16).

Geological Society of American., 1967. The Rock-color Chart Committee. Rock color chart, New York.

Gopinath, T. R. et al., 1979. Análise ambiental dos arenitos associados com bentonitas de Boa Vista, Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9, Natal. Atas... Natal: SBG, p. 215-224.

Gopinath, T. R., Schuster, H. D., Schuckmann, W. K., 1981. Modelo de ocorrência e gênese da argila bentonítica de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Rev. Bras. Geol., v. 11, nº 3, p. 185-192.

Grim, R. E., 1955. Clay mineralogy. 1. ed. New York; McGraw Hill, 596 p.

Grim, R. E., 1965. The clay mineral concept. Amer. Cev. Soc. Bull., nº 44, p. 687.

Grim, R. E., 1968. Clay mineralogy. 2. ed. New York; McGraw Hill, 596 p.

Hoffmann, U., 1990. Mercado para o gesso de Pernambuco no Estado de São Paulo. In: As perspectivas da gipsita para Pernambuco. Recife: Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, 69 p., p. 35-69.

Holder Neto, F., 1973. Aspectos geológicos e econômicos da região de Pedra Lavada, Nova Palmeira-PB. Recife: UFPE, Curso de Graduação em Geologia, 130 p. Relatório de Graduação.

Kiminami, R. H. G. A., Ferreira, H. C., 1980. Propriedades reológicas das argilas montmoriloníticas do distrito de Boa Vista, Campina

Grande, Paraíba, após tratamento com carbonato de sódio e cura em câmara climatizada visando sua aplicação em fluido de perfuração de poços de petróleo. Cerâmica, v. 26, nº 131, p. 307-312.

Kiminami, R. H. G. A., Ferreira, H. C., 1981-a. Estudos preliminares em câmara climatizada, visando otimização das propriedades reológicas de argilas esmectíticas ou montmoriloníticas do distrito de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Cerâmica, v. 27, nº 133, p. 21-36.

Kiminami, R. H. G. A., Ferreira, H. C., 1981-b. Propriedades reológicas das argilas montmoriloníticas ou esmectíticas do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba, após tratamento com carbonato de sódio e cura (até 24 horas) em câmara climatizada, visando sua aplicação como fluido tixotrópico para perfuração de poços de petróleo. Cerâmica, v. 27, nº 138, p. 225-245.

Kiminami, R. H. G. A., 1981. Efeitos do tratamento de cura em algumas propriedades reológicas de argilas esmectíticas de Boa Vista, visando sua aplicação como fluidos tixotrópicos para perfuração de poços de petróleo. Campina Grande, 1981. 175 p. Dissertação (mestrado). UFPB, Dept. de Eng. Química.

Klockmann, F., Randohr, P., 1961. Tratado de Mineralogia. 2 ed. Barcelona: Gustavo Gili, 763 p.

Lima, M. R. de., 1978. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil). São Paulo, 1978. 335 p. Tese (Doutoramento). USP, Inst. Geociências.

Lira, H. L., Ferreira, H. C., 1988. Estudo comparativo entre tratamento térmico e diálise em dispersões de argilas esmectíticas para fluidos de perfuração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 32, Natal, 1988. Resumo dos trabalhos técnicos, Natal, p. 16.

Mabesoone, J. M., 1983. Sedimentologia. 2. ed. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Ed. Universitária, 475 p.

Moraes, J. S., 1976. Relatório final da etapa I. Projeto Santana. Recife: DNPM/CPRM, v. 1, 261 p.

Nepomuceno Filho, F., 1973. Aspectos geológicos e econômicos da região este e sudeste de Cubati-PB. Recife: UFPE, Curso de Geologia, 115 p. Relatório de Graduação.

Petrobrás., 1968. Ensaio de argila ativada para água doce. Rio de Janeiro. (Método ME-16).

Pinto, G. G., Pimentel, E. C., 1968. Considerações geoeconômicas sobre os depósitos de argilas de Boa Vista. Relatório Interno. Boletim. DFPM, DNPM, Campina Grande, nº 153, p. 1-46.

Ponte, F. C., Appi, C. J., 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da bacia sedimentar do Araripe. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 36. ANAIS. v.1. p 211-226. Natal-RN.

Prado, L., Zandonadi, A. R., Souza Santos, P., 1980. Efeito do tratamento térmico (secagem) antes e depois da troca por carbonato de sódio, sobre as viscosidades de suspensões aquosas de argila esmectítica (montmorilonítica) de cor verde-lodo de Boa Vista, Campina Grande-PB. Mineração e Metalurgia, v. 43, nº 418, p. 8-27.

Ramos, R. R., Machado, E. C. C., Ferreira, H. C., 1987. Propriedades reológicas das argilas esmectíticas de Boa Vista-PB curadas em autoclave em diversas temperaturas posteriormente tratadas com solução concentrada de Na₂CO₃ e submetidas ao processo de diálise sem e com CO₂. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 31, Brasília. Resumo dos trabalhos técnicos, p. 13.

Rocha, D. F., 1966. Argilas bentoníticas de Boa Vista-PB. Relatório preliminar. Boletim. DFPM, DNPM, Campina Grande, nº 131, p. 1-35.

Rocha, J. M. B., 1990. Produção de gipsita e seus derivados na região do Araripe. In: As perspectivas da gipsita para Pernambuco. Recife: Secretaria de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. 69 p. p. 7-34.

Rolim, J. L., 1973. Bacias mesozóicas do interior do Nordeste do Brasil. I. G. Série D: textos didáticos. Recife, v. 1, p. 38-46.

Silva, E. H. R. O., 1973. Argilas bentoníticas no nordeste. Recife: Sudene, 26 p.

Silva, E. J. B., 1973. Contribuição geofísica da região a NE de Cubati-PB. Recife: UFPE, Curso de Geologia, 141 p. Relatório de Graduação.

Silva, M. A.M. da, 1986 a. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 16. n. 3, p. 311-319.

Silva, M. A. M. da, 1996 b. Lower Cretaceous sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n. 3, p. 311-319.

Silva, M. A. M. da., 1983. The Araripe Basin Northeastern Brazil: Regional geology and facies analysis of a lower Cretaceous evaporitic depositional complex. New York: Columbia University, 1983, 290 p. Tese (Doutoramento). Columbia University.

Small, H. L., 1913. Geologia e suprimento de água subterrânea no Piauí e parte do Ceará. Mossoró: IFOCS, 80 p. (Publicação IFOCS, nº 32, Série I. D., geologia).

Solano, L., Zandonadi, A. R., Souza Santos, P., 1980-a. Propriedades reológicas de esmectitas obtidas a partir da esmectita policatiônica de cor verde-escura (verde-lodo), do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba: efeito da temperatura (1ª parte). Cerâmica, v. 26, nº 122, p. 44-51.

Solano, L., Zandonadi, A. R., Souza Santos, P., 1980-b. Propriedades reológicas de esmectitas obtidas a partir da esmectita policatiônica de cor verde-escura (verde-lodo), do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba: efeito da temperatura (2ª parte). Cerâmica, v. 26, nº 124, p. 73-79.

Souza Santos, P., 1962. Análise térmica diferencial de argilas descorantes. Boletim técnico da Petrobrás, v. 6, nº 2, p. 117-174.

Souza Santos, P., Brindley, G. W., Souza Santos, H. L., 1964. Mineralogical studies of kaolinite-halloysite clays. Part II. Some brazilian clays. Amer. Miner., v. 49, p. 543.

Souza Santos, P., 1968. Estudo tecnológico de argilas montmoriloníticas do distrito de Boa Vista, município de Campina Grande, Paraíba. São Paulo, 1968. 53 p. Tese (Concurso para a Cátedra de Química Industrial). USP, Depto. de Eng. Química.

Souza Santos, P., 1975. Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras. 1ª ed. São Paulo: Ed. Blücher, v. 2, 461 p.

Souza Santos, P., Campos, T. W., 1979. Microscopia eletrônica de argilominerais presentes nas argilas esmectíticas de Boa Vista, Campina Grande, Paraíba. Cerâmica, v. 25, 112 p., p. 87-92.

Souza Santos, H., Kiyohara, P. K., Zandonadi, A. R., Souza Santos P., 1980. Estudo das propriedades de argilas esmectíticas (montmoriloníticas) de Campina Grande, Paraíba. I, argilas de diferentes cores da localidade de Bravo. Cerâmica, v. 26, nº 131, p. 337-352.

Souza Santos, H., Campos, T. W., Baraúna, O. S., Araújo, A. P. R., Souza Santos, P., 1981. Estudo das propriedades de argilas esmectíticas (montmoriloníticas) de Campina Grande, Paraíba. I, argilas de diferentes cores das localidades de Bravo, Lages e Cubati. Cerâmica, v. 27, nº 134, p. 81-88.

Souza Santos, P., 1989. Ciência e tecnologia de argilas. 2ª ed. São Paulo: Ed. Blücher, v. 1., 408 p.

Sudene., 1973. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco. Recife. (Série Pedologia nº 14). V. 1, 359 p.

Suguio, K., 1973. Introdução à Sedimentologia. 1ª ed. São Paulo: Ed. Blücher, 1973. 317 p.

Tan, J. K., Ferreira, H. C., 1979. Influencia da ciclagem térmica no coeficiente de permeabilidade de argamassas impermeabilizadas com argilas montmoriloníticas. Cerâmica, v. 25, nº 113. ; 135-146.

Valença, L. M. M., 1987. Estudo dos sedimentos que capeiam a Chapada do Araripe. Recife, 1987. 82 p. Dissertação (Mestrado), UFPE, Centro de Tecnologia.

Viana, M. S. S., 1990. Estratigrafia e paleontologia da Formação Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste Brasil. Dissertação (Mestrado). Rio de Janeiro. UFRJ. Instituto de Geociências.

Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms of clastic sediments. Journal of Geology, nº 30, p. 377-392.

Zandonadi, A. R., Souza Santos, P., 1978. Propriedades reológicas de montmorilonitas ou esmectíticas brasileiras. Cerâmica, v. 25, nº 106, p. 355-371.

TABELA V-1
TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO NAS ARGILAS

Continua...

AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)	AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)	AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)
BV-VRD	⁽⁶⁾	CM-07/08/09	23,31	RAI-01/02	39,68
AB-01	25,51	CM-10	20,77	RAI-03/04	28,69
AB-02	⁽⁶⁾	GI-01/02	7,59	RAI-05/06/07	21,30
AB-03/04	21,18	GI-03/04/05	25,54	RAI-08	26,51
AB-05/06/07	20,93	GI-06	20,77	RAII-01/02	18,82
AB-08	⁽⁶⁾	GI-07	22,57	RAII-03	⁽⁶⁾
AB-09/10/11	13,94	GI-08	7,60	RAII-04/05	⁽⁶⁾
AB-12/13/14	20,00	GI-09/10	7,85	RAII-06	5,35
AB-15	22,40	GI-11	16,18	RAII-07	26,54
AB-16	66,20	GI-12/13	⁽⁶⁾	SJ-01/02	19,88
AB-17	8,81	GI-14	20,00	SJ-03	⁽⁶⁾
AB-18	23,68	LD-01/02/03	12,11	SJ-04	14,31
CA-01	⁽⁶⁾	LD-04	⁽⁶⁾	SJ-05	⁽⁶⁾
CA-02/03/04	22,47	LD-05	28,30	SJ-06/07	19,70
CA-05	⁽⁶⁾	LD-06	⁽⁶⁾	SJ-08/09/10	⁽⁶⁾
CA-06	⁽⁶⁾	LD-07/08	23,00	SJ-11	⁽⁶⁾
CA-07/08	22,35	LD-09	⁽⁶⁾	SJ-12	⁽⁶⁾
CA-09/10/11	20,88	LD-10	72,88	SJ-13	⁽⁶⁾
CA-12/13	36,25	LD-11	13,22	SJ-14	⁽⁶⁾
CA-14	⁽⁶⁾	MA-01/02	9,93	SJ-15	⁽⁶⁾

⁶ Não apresentou efervescência quando atacada com HCl (25%).

TABELA V-1

TEOR DE CARBONATO DE CÁLCIO NAS ARGILAS

					Conclusão
AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)	AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)	AMOSTRAS	CaCO ₃ (%)
CA-15	36,94	MD-03	11,34	SJ-16/17/18	⁽⁶⁾
CA-16	62,52	MD-04/05	25,63	SJ-19/20	⁽⁶⁾
CA-17/18	27,78	MD-06	25,50	SJ-21	⁽⁶⁾
CA-19	40,00	MA-07	24,04	SJ-22/23	24,07
CM-01/02	31,67	MA-08	30,81	SJ-24	18,30
CM-03/04	23,84	MA-09	24,35		
CM-05/06	27,08	MA-10/11	22,84		

.....

⁶ Não apresentou efervescência quando atacada com HCl (25%).

TABELA V-2

DADOS GRANULOMÉTRICOS
SEDIMENTOS COM TEORES EM $\text{CaCO}_3 \leq 25\%$

Continua...

AMOSTRAS	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)	AMOSTRAS	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
BV-VRD	4	3	93	LD-06	82	36	56
AB-02	7	38	57	LD-07/08	11	36	56
AB-03/04	7	38	57	LD-09	3	36	56
AB-05/06/07	7	38	57	LD-11	1	36	56
AB-08	7	38	57	MA-01/02	16	39	39
AB-09/10/11	7	38	57	MA-03	22	39	39
AB-12/13/14	7	38	57	MD-07	56	39	39
AB-15	7	38	57	MD-09	2	39	39
AB-17	7	38	57	MA-10/11	8	39	39
AB-18	7	38	57	RAI-05/06/07	4	32	48
CA-01	11	33	65	RAII-01/02	2	32	48
CA-02/03/04	0	33	65	RAII-03	0	32	48
CA-05	0	33	65	RAII-04/05	75	32	48
CA-06	0	33	56	RAII-06	3	32	48
CA-07/08	0	33	65	SJ-01/02	14	35	59
CA-09/10/11	1	33	65	SJ-03	2	35	59
CA-14	3	33	65	SJ-04	20	35	59
CM-03/04	3	42	55	SJ-05	67	35	59
CM-07/08/09	4	42	55	SJ-06/07	0	35	59
CM-10	3	42	55	SJ-08/09/10	3	35	59
GI-01/02	61	32	36	SJ-11	0	35	59
GI-06	77	32	36	SJ-12	2	35	59
GI-07	2	32	36	SJ-13	0	35	59

TABELA V-2

DADOS GRANULOMÉTRICOS
SEDIMENTOS COM TEORES EM $\text{CaCO}_3 \leq 25\%$

AMOSTRAS	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)	AMOSTRAS	Conclusão		
					AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
GI-08	71	32	36	SJ-14	0	35	59
GI-09/10	2	32	36	SJ-15	0	35	59
GI-11	4	32	36	SJ-16/17/18	0	35	59
GI-12/13	7	32	36	SJ-19/20	0	35	59
GI-14	33	32	36	SJ-21	0	35	59
LD-01/02/03	3	57	36	SJ-22/23	0	35	59
LD-04	3	57	36	SJ-24	0	35	59

TABELA V-3

DADOS GRANULOMÉTRICOS
SEDIMENTOS COM TEORES EM CaCO₃ > 25%

AMOSTRAS	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)	AMOSTRAS	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
AB-01	3	71	26	LD-05	0	72	28
AB-16	2	32	66	LD-10	0	27	73
CA-12/13	2	61	37	MA-04/05	2	72	26
CA-15	0	69	31	MA-06	3	72	26
CA-16	0	37	63	MA-08	3	66	31
CA-17/18	0	72	28	RAI-01/02	3	57	40
CA-19	18	42	40	RAI-03/04	0	71	29
CM-01/02	2	66	3	RAI-08	58	15	27
CM-05/06	8	65	27	RAII-07	0	73	27
GI-03/04/05	1	73	26				

TABELA V-4

HIGROSCOPICIDADE DA ARGILA MANTIDA ATÉ O EQUILÍBRIO EM AMBIENTE SATURADO DE VAPOR DE ÁGUA EM TEMPERATURA AMBIENTE

AMOSTRAS	HIGROSCOPICIDADE MEDIDA A 130 °C (%)	AMOSTRAS	HIGROSCOPICIDADE. MEDIDA A 130 °C (%)
BV-VRD	29	LD-01/02/03	14
AB-01	13	LD-07/08	13
AB-02	14	MA-01/02	11
AB-03/04	14	MA-04/05	18
AB-05/06/07	14	MA-10/11	17
AB-09/10/11	14	RAI-01/02	14
AB-12/13/14	24	RAI-03/04	14
CA-01	12	RAI-05/06/07	18
CA-02/03/04	12	RAII-01/02	12
CA-07/08	12	RAII-03	18
CA-09/10/11	15	RAII-06	13
CA-12/13	11	RAII-07	12
CA-17/18	18	SJ-01/02	20
CA-19	17	SJ-04	13
CM-01/02	13	SJ-05	17
CM-03/04	14	SJ-08/09/10	12
CM-07/08/09	13	SJ-15	14
GI-03/04/05	17	SJ-16/17/18	14
GI-09/10	13	SJ-19/20	14
GI-12/13	20	SJ-24	17
GI-14	14		

TABELA V-5

UMIDADE NATURAL⁽⁷⁾

Continua...

AMOSTRAS	UMIDADE (%)			
	A 45 °C	A 130 °C	A 200 °C	A 300 °C
AB-01	8,48	12,07	13,42	13,57
AB-02	10,05	12,18	14,94	15,10
AB-03/04	10,96	12,20	17,93	18,22
AB-05/06/07	7,93	13,87	14,07	14,29
AB-09/10/11	6,36	11,24	11,57	11,73
AB-12/13/14	16,22	23,43	24,06	24,25
CA-01	6,50	10,20	11,50	11,70
CA-02/03/04	6,67	10,44	11,60	11,89
CA-07/08	6,85	10,04	12,18	12,32
CA-09/10/11	10,53	13,02	16,88	17,37
CA-12/13	3,30	8,77	8,93	9,23
CA-17/18	14,91	16,63	16,83	17,84
CA-19	6,15	13,26	14,43	14,98
CM-01/02	3,78	8,69	9,02	9,10
CM-03/04	5,54	11,55	11,59	12,16
CM-07/08/09	3,72	8,26	8,35	8,57
GI-03/04/05	15,02	16,69	16,98	17,27
GI-09/10	7,09	11,34	11,61	11,87
GI-12/13	13,09	20,24	20,56	21,16
GI-14	8,75	12,65	13,20	13,75
LD-01/02/03	11,74	14,14	15,37	15,64

⁷ No caso das amostras compostas foram consideradas a média aritmética dos valores das umidades das amostras simples respectivas.

TABELA V-5

UMIDADE NATURAL

AMOSTRAS	UMIDADE (%)				Conclusão
	A 45 °C	A 130 °C	A 200 °C	A 300 °C	
LD-07/08	8,07	11,95	14,94	15,12	
MA-01/02	8,07	10,67	13,58	14,18	
MA-04/05	13,71	16,81	17,67	17,88	
MA-10/11	9,29	15,03	17,07	17,51	
RAI-01/02	5,71	9,71	10,20	10,33	
RAI-03/04	6,30	10,29	10,83	10,91	
RAI-05/06/07	10,39	17,75	18,31	18,52	
RAII-01/02	7,31	11,68	11,84	12,24	
RAII-03	7,29	14,59	15,01	15,51	
RAII-06	8,46	11,91	12,45	12,72	
RAII-07	7,56	11,73	11,90	12,39	
SJ-01/02	12,74	16,96	18,06	18,22	
SJ-04	8,58	12,34	13,50	13,80	
SJ-05	12,88	16,58	17,20	17,66	
SJ-08/09/10	6,77	10,49	11,53	11,67	
SJ-15	10,05	12,79	13,61	13,94	
SJ-16/17/18	8,46	11,64	14,77	16,01	
SJ-19/20	7,86	12,66	14,68	14,92	
SJ-24	12,48	15,89	27,65	17,51	

TABELA V-6

INCHAMENTO MACROSCÓPICO

Continua...

CAMADAS	AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS	UMIDADE (%) ⁽⁸⁾	
			Inicial	Final
	BV-VRD	▪ Fraturas irregulares	20,04	26,13
01	AB-01	▪ Fraturas irregulares	6,06	6,40
02	AB-02	▪ Esfoliação pouco freqüente	9,33	9,53
03	AB-03 AB-04	▪ Nada se observou ▪ Fraturas irregulares / desagregação parcial	5,40	6,68
04	AB-05 AB-06 AB-07	▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares / laminação incipiente / suave encurvamento superficial superior	6,29	6,38
06	AB-09 AB-10 AB-11	▪ Esfoliação ▪ Esfoliação ▪ Fraturas irregulares / desagregação parcial	6,05	6,54
07	AB-12 AB-13 AB-14	▪ Nada se observou ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação / encurvamento acentuado das lâminas	8,38	8,72
01	CA-01	▪ Esfoliação pouco freqüente	4,82	6,35
02	CA-02 CA-03 CA-04	▪ Fraturas irregulares / desagregação parcial ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares / desagregação	5,49	6,08
05	CA-07 CA-08	▪ Fraturas irregulares / desagregação parcial ▪ Fraturas irregulares	8,96	9,55

⁸ No caso das amostras compostas foi considerada a média aritmética dos valores das amostras simples respectivas. As umidades inicial e final referem-se, respectivamente, às umidades determinadas no fragmento referencial e no fragmento umedecido, após conclusão do ensaio de inchamento macroscópico.

TABELA V-6
INCHAMENTO MACROSCÓPICO

Continua...

CAMADAS	AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS	UMIDADE (%)	
			Inicial	Final
06	CA-09 CA-10 CA11	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação 	5,12	11,06
07	CA-12 CA13	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares (raras) ▪ Fraturas irregulares (raras) 	6,13	7,66
10	CA-17 CA-18	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação / encurvamento das lâminas superiores ▪ Esfoliação / encurvamento das lâminas superiores 	9,59	10,12
11	CA-19	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desagregação parcial 	10,42	10,72
01	CM-01 CM-02	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares (raras) ▪ Fraturas irregulares (raras) 	6,95	7,69
02	CM-03 CM-04	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desagregação total ▪ Desagregação total 	7,31	8,17
04	CM-07 CM-08 CM-09	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares (raras) ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares 	5,39	5,76
02	GI-03 GI-04 GI-05	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares / encurvamento superficial ▪ Esfoliação 	6,05	6,33
06	GI-09 GI-10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nada se observou ▪ Fraturas irregulares 	6,33	6,76
08	GI-12 GI-13	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação 	6,15	6,78
09	GI-14	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares 	6,17	6,51
01	LD-01 LD-02 LD-03	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares 	5,51	5,76
05	LD-07 LD-08	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação incipiente ▪ Esfoliação incipiente 	8,76	10,03
01	MA-01 MA-02	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nada se observou ▪ Nada se observou 	6,17	7,72
03	MA-03 MA-04	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares (raras) ▪ Nada se observou 	8,11	8,68

TABELA V-6

INCHAMENTO MACROSCÓPICO

Conclusão

CAMADAS	AMOSTRAS	EVIDÊNCIAS	UMIDADE (%)	
			Inicial	Final
08	MA-10 MA-11	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares 	5,53	5,75
01	RAI-01 RAI-03	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Nada se observou 	6,87	10,02
	RAI-03 RAI-04	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares / deformação parcial ▪ Fraturas irregulares 	5,31	5,46
03	RAI-05 RAI-06 RAI-07	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Esfoliação ▪ Fraturas regulares paralelas 	9,36	9,59
01	RAII-01 RAII-03	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares paralelas (raras) 	5,09	6,47
03	RAII-03	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação 	9,07	9,30
05	RAII-06	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares (raras) 	4,97	5,53
06	RAII-07	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares 	8,13	8,76
01	SJ-01 SJ-02	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares 	5,61	6,21
03	SJ-04	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares 	6,30	7,67
04	SJ-05	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação 	3,81	8,31
06	SJ-08 SJ-09 SJ-10	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares ▪ Fraturas irregulares 	4,74	5,49
11	SJ-15	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fraturas irregulares 	6,28	6,90
12	SJ-16 SJ-17 SJ-18	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação ▪ Esfoliação 	10,46	40,52
13	SJ-19 SJ-20	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação pouco presente ▪ Esfoliação pouco presente 	10,26	11,13
16	SJ-24	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfoliação 	9,09	9,27

TABELA V-7

INCHAMENTO DE FOSTER

AMOSTRAS	INCHAMENTO (SWELLING) (cm ³ /g)		AMOSTRAS	INCHAMENTO (SWELLING) (cm ³ /g)	
	Argila sem troca catiônica	Argila após troca catiônica		Argila sem troca catiônica	Argila após troca catiônica
BV-VRD	3,5	15,0	LD-01/02/03	2,5	5,0
AB-01	2,5	2,5	LD-07/08	3,0	5,0
AB-02	2,0	3,0	MA-01/02	2,0	2,5
AB-03/04	2,5	3,0	MA-04/05	2,0	3,0
AB-05/06/07	3,0	5,0	MA-10/11	3,0	9,0
AB-09/10/11	2,5	3,0	RAI-01/02	2,0	3,0
AB-12/13/14	3,0	5,0	RAI-03/04	3,0	4,0
CA-01	2,0	2,5	RAI-05/06/07	2,5	5,0
CA-02/03/04	3,0	3,0	RAII-01/02	3,0	3,5
CA-07/08	3,0	4,0	RAII-03	2,5	5,5
CA-09/10/11	3,0	8,0	RAII-06	3,0	3,0
CA-12/13	2,5	5,0	RAII-07	2,5	2,0
CA-17/18	2,5	7,0	SJ-01/02	2,0	2,0
CA-19	2,5	5,5	SJ-04	2,0	2,5
CM-01/02	2,0	3,0	SJ-05	2,5	7,0
CM-03/04	2,5	3,0	SJ-08/09/10	2,0	2,0
CM-07/08/09	2,5	3,5	SJ-15	2,0	2,5
GI-03/04/05	2,0	5,0	SJ-16/17/18	3,0	9,0
GI-09/10	2,5	4,0	SJ-19/20	3,0	4,0
GI-12/13	3,0	8,0	SJ-24	3,0	5,0
GI-14	3,0	5,0			

TABELA V-8

RESÍDUO EM PENEIRA ABNT nº 325

Continua...

AMOSTRAS	RESÍDUO	
	Teor (%)	Composição ⁽⁹⁾
BV-VRD	0,00	
AB-01	3,50	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas, fragmentos de calcário e de argila não desagregada e zircão.
AB-02	1,00	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas, fragmentos de calcário e de argila não desagregada e zircão.
AB-03/04	1,96	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas, fragmentos de rocha.
AB-05/06/07	2,04	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas, fragmentos de rocha.
AB-09/10/11	6,07	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas, zircão e granada.
AB-12/13/14	2,90	Quartzo, feldspato, mica muscovita, concreções ferruginosas e fragmentos de argila.
CA-01	13,59	Quartzo, gipsita, mica muscovita, concreções ferruginosas, feldspatos, zircão e granada.
CA-02/03/04	1,05	Quartzo, fragmentos de argila, não desagregada, mica muscovita, concreções ferruginosas e feldspatos.
CA-07/08	0,80	Quartzo, feldspatos, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada, concreções ferruginosa e fragmentos de calcário.
CA-09/10/11	1,15	Quartzo, feldspatos, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada, concreções ferruginosa, fragmentos de calcário e fragmentos de rocha.
CA-12/13	3,61	Quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário e de argila não desagregada, mica muscovita, concreções ferruginosa e zircão.

⁹ A composição está descrita em ordem decrescente de abundância relativa; o termo “calcário” foi utilizado para identificar indistintamente os fragmentos das rochas carbonáticas presentes, na impossibilidade de uma classificação pelo diagrama triangular sugerido por Mabesoone (1983).

TABELA V-8

RESÍDUO EM PENEIRA ABNT nº 325

Continua...

AMOSTRAS	RESÍDUO	
	Teor (%)	Composição
CA-17/18	0,59	Quartzo, fragmentos de calcário e de argila não desagregada, feldspatos, concreções ferruginosas
CA-19	20,05	Fragmentos de calcário oxidado, concreções ferruginosas, mica muscovita e feldspatos.
CM-01/02	3,05	Quartzo, feldspatos, mica muscovita, fragmentos de calcário, concreções ferruginosas e granada.
CM-03/04	5,60	Quartzo, fragmentos de calcário, feldspatos e muscovita.
CM-07/08/09	5,76	Quartzo, feldspatos, mica muscovita, fragmentos de calcário e de argila não desagregada e concreções ferruginosas.
GI-03/04/05	4,60	Quartzo, fragmentos de calcário, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada e concreções ferruginosas.
GI-09/10	3,00	Quartzo, fragmentos de calcário, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada e concreções ferruginosas.
GI-12/13	11,50	Quartzo, feldspatos, mica muscovita, concreções ferruginosas, fragmentos de argila não desagregada, fragmentos de calcário e zircão.
GI-14	34,83	Quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário, concreções ferruginosas e mica muscovita.
LD-01/02/03	4,15	Quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário, concreções ferruginosas e mica muscovita.
LD-07/08	13,15	Fragmentos de calcário, quartzo, feldspatos, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada e de fósseis.
MA-01/02	17,20	Quartzo, fragmentos de calcário, gipsita, mica muscovita e fragmentos de argila não desagregada
MA-04/05	4,01	Quartzo, fragmentos de calcário, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada e concreções ferruginosas.
MA-10/11	9,80	Quartzo, fragmentos de calcário e de argila não desagregada, concreções ferruginosas, feldspatos e mica muscovita.

TABELA V-8

RESÍDUO EM PENEIRA ABNT nº 325

AMOSTRAS	RESÍDUO		Conclusão
	Teor (%)	Composição	
RAI-01/02	7,20	Quartzo, gipsita, feldspatos, fragmentos de calcário, mica muscovita e zircão.	
RAI-03/04	3,50	Quartzo, mica muscovita, feldspatos, fragmentos de calcário e argila não desagregada.	
RAI-05/06/07	5,50	Quartzo, mica muscovita, feldspatos, concreções ferruginosas e fragmentos de calcário.	
RAII-01/02	2,50	Quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário e de argila não desagregada e mica muscovita.	
RAII-03	0,00		
RAII-06	3,08	Quartzo, feldspatos, fragmentos de calcário e de argila não desagregada, mica muscovita e zircão.	
RAII-07	0,00		
SJ-01/02	22,26	Feldspatos, quartzo, fragmentos de calcário e gipsita.	
SJ-04	1,50	Feldspatos, quartzo, fragmentos de calcário e mica muscovita.	
SJ-05	1,86	Quartzo, mica muscovita, fragmentos de calcário e de argila não desagregada.	
SJ-08/09/10	0,75	Fragmentos de calcário, quartzo, feldspatos, fragmentos de argila não desagregada e mica muscovita.	
SJ-15	0,00		
SJ-16/17/18	1,71	Quartzo, mica muscovita, fragmentos de argila não desagregada e de calcário e feldspatos.	
SJ-19/20	0,26	Quartzo, gipsita, fragmentos de argila não desagregada, mica muscovita, fragmentos de calcário e feldspatos.	
SJ-24	3,00	Quartzo, fragmentos de argila não desagregada e de calcário, e concreções ferruginosas.	

TABELA V-9

CÁTIONS TROCADOS (CT) E CAPACIDADE DE TROCA
DE CÁTIONS TOTAL (CTC)⁽¹⁰⁾

Continua...

AMOSTRAS	CT (meq/100 g)						CTC (meq/100 g)
	H ⁺	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ²	K ⁺	
BV-VRD	0,00	0,58	28,53	47,86	17,00	1,18	95,15
AB-01	0,00	0,00	19,18	19,60	0,35	0,32	39,45
AB-02	0,00	0,00	21,11	22,40	0,31	0,50	44,32
AB-03/04	0,00	0,00	24,07	16,98	0,53	0,34	41,83
AB-05/06/07	0,00	0,00	22,79	16,04	0,53	0,35	39,71
AB-09/10/11	0,00	0,00	24,55	14,82	0,74	0,33	40,44
AB-12/13/14	0,00	0,00	50,68	19,49	1,27	0,32	71,76
CA-01	0,00	0,00	30,13	7,69	0,28	0,27	38,37
CA-02/03/04	0,00	0,00	27,42	8,01	0,69	0,23	36,35
CA-07/08	0,00	0,00	25,81	9,65	0,27	0,30	36,03
CA-09/10/11	0,00	0,00	35,23	9,29	0,56	0,30	45,38
CA-12/13	0,00	0,00	24,43	5,01	0,68	0,18	30,30
CA-17/18	0,00	0,14	49,53	6,36	0,95	0,35	57,33
CA-19	0,00	0,00	63,75	3,56	0,87	0,20	68,38
CM-01/02	0,00	0,00	31,36	7,73	0,64	0,27	40,00
CM-03/04	0,00	0,00	30,80	10,83	0,73	0,27	42,63
CM-07/08/09	0,00	0,00	28,36	9,03	0,69	0,40	38,48
GI-03/04/05	0,00	0,00	44,70	7,31	0,53	0,24	52,78
GI-09/10	0,00	0,00	34,91	3,87	0,77	0,21	39,76
GI-12/13	0,00	0,28	43,13	24,43	0,64	0,35	68,83

¹⁰ Referidos a 100 g de argila seca a 105 °C.

CÁTIONS TROCADOS (CT) E CAPACIDADE DE TROCA
DE CÁTIONS TOTAL (CTC)

AMOSTRAS	CT (meq/100 g)						Conclusão
	H ⁺	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ²	K ⁺	CTC (meq/100 g)
GI-14	3,61	0,53	33,17	7,65	0,44	0,11	45,46
LD-01/02/03	0,00	0,00	36,45	3,39	0,69	0,16	40,69
LD-07/08	0,00	0,27	48,67	3,51	0,62	0,33	53,40
MA-01/02	0,00	0,00	8,78	8,83	1,83	0,10	19,54
MA-04/05	0,00	0,00	49,08	7,10	1,43	0,22	57,83
MA-10/11	3,93	0,30	39,53	8,38	0,70	0,28	53,12
RAI-01/02	0,00	0,00	32,66	7,54	0,54	0,16	40,90
RAI-03/04	0,00	0,00	32,83	7,48	0,64	0,20	41,25
RAI-05/06/07	0,00	0,00	45,61	7,89	0,36	0,28	54,14
RAII-01/02	0,00	0,00	27,27	6,71	0,76	0,18	34,92
RAII-03	0,00	0,00	41,04	15,06	0,67	0,40	57,17
RAII-06	0,00	0,00	28,79	8,47	0,97	0,20	38,43
RAII-07	0,00	0,00	24,53	11,42	0,74	0,19	36,88
SJ-01/02	0,00	0,00	51,66	17,36	0,73	0,18	69,93
SJ-04	0,00	0,00	20,80	15,40	1,33	0,51	38,04
SJ-05	0,00	0,00	35,31	15,22	1,56	0,43	52,52
SJ-08/09/10	0,00	0,00	15,00	15,83	1,08	0,37	32,28
SJ-15	0,00	0,00	22,90	19,09	0,76	0,39	43,14
SJ-16/17/18	0,00	0,00	19,20	21,33	1,30	0,48	42,31
SJ-19/20	0,00	0,00	32,29	9,92	1,19	0,62	44,02
SJ-24	0,00	0,00	27,43	19,44	1,84	0,53	49,24

TABELA V-10

VISCOSIDADES APARENTE E PLÁSTICA DE SUSPENSÕES A 6% DE ARGILA,

APÓS TRATAMENTO COM CARBONATO DE SÓDIO E APÓS SECAGEM A 35 °C

AMOSTRAS	VISCOSIDADE (cP)		AMOSTRAS	VISCOSIDADE (cP)	
	Aparente	Plástica		Aparente	Plástica
BV-VRD	22,50	4,00	LD-01/02/03	2,00	2,00
AB-01	2,25	2,00	LD-07/08	2,50	2,50
AB-02	2,50	2,00	MA-01/02	2,50	2,00
AB-03/04	4,50	2,50	MA-04/05	3,00	2,50
AB-05/06/07	2,75	2,50	MA-10/11	4,50	3,00
AB-09/10/11	2,50	2,00	RAI-01/02	2,00	2,00
AB-12/13/14	2,25	2,50	RAI-03/04	2,75	2,50
CA-01	2,00	2,00	RAI-05/06/07	2,75	2,50
CA-02/03/04	2,25	2,00	RAII-01/02	2,25	2,50
CA-07/08	2,25	2,00	RAII-03	2,00	2,00
CA-09/10/11 ⁽¹¹⁾	5,25	3,00	RAII-06	1,75	2,00
CA-12/13	1,75	2,00	RAII-07	2,00	2,00
CA-17/18	3,25	2,50	SJ-01/02	2,25	2,00
CA-19	2,00	2,50	SJ-04	1,75	2,00
CM-01/02	2,00	2,00	SJ-05	5,50	3,00
CM-03/04	1,75	2,00	SJ-08/09/10	2,50	2,00
CM-07/08/09	1,75	2,00	SJ-15	1,75	2,00
GI-03/04/05	2,00	2,25	SJ-16/17/18	5,25	3,00
GI-09/10	2,00	2,00	SJ-19/20	2,50	2,00
GI-12/13	5,50	3,00	SJ-24	6,25	2,50
GI-14	2,00	2,50			

¹¹ Amostra de argila submetida à diálise na forma bruta e na forma de dispersão aquosa após tratamento com carbonato de sódio.

FORMAÇÃO SANTANA E PELA ARGILA PADRÃO MEXICANA (TONSIL)

AMOSTRAS	CORES DO ÓLEO					
	Com 0,5% de Argila		Com 1,0% de Argila		Com 2,0% de Argila	
	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo
Óleo semi-refinado "A"	9,0	20,0	9,0	20,0	9,0	20,0
TONSIL	7,0	19,9	4,3	20,0	5,4	20,0
AB-02	8,8	19,9	7,8	19,9	8,0	20,0
AB-12/13/14	9,0	20,0	8,7	19,9	8,3	20,0
CA-01	7,4	19,9	8,0	20,0	7,0	20,0
CA-19	7,3	19,9	8,8	19,9	9,0	20,0
CM-03/04	9,0	20,0	9,0	20,0	7,8	19,9
GI-12/13	9,0	20,0	8,0	20,0	7,2	20,0
LD-07/08	8,0	20,0	7,0	20,0	7,0	20,0
MA-04/05	8,0	20,0	7,0	20,0	7,0	20,0
RAI-05/06/07	8,0	20,0	8,0	20,0	7,0	20,0
RAII-03	8,6	20,0	7,2	20,0	7,0	20,0
SJ-01/02	7,5	20,0	7,0	20,0	7,0	20,0
SJ-16/17/18	8,0	20,0	8,0	20,0	8,0	20,0
SJ-24	8,0	20,0	7,5	20,0	7,0	20,0

TABELA V-12

DESCORAMENTO DE ÓLEO DE SOJA ("B") POR 07 AMOSTRAS DE ARGILAS ATIVADAS COM H₂SO₄ (10N) MEMBRO ROMUALDO DA

FORMAÇÃO SANTANA E PELA ARGILA PADRÃO MEXICANA (TONSIL)

AMOSTRAS	CORES DO ÓLEO					
	Com 0,5% de Argila		Com 1,0% de Argila		Com 2,0% de Argila	
	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo
Óleo semi-refinado "B"	5,9	20,0	5,9	20,0	5,9	20,0
TONSIL	5,2	20,0	3,3	19,9	2,1	19,9
AB-02	4,2	20,0	4,1	20,3	3,3	20,1
CA-01	4,2	20,0	4,2	20,0	2,1	19,9
CA-19	7,0	20,0	5,2	20,0	3,2	20,2
GI-12/13	5,5	19,9	3,3	20,0	3,1	19,9
RAII-03	4,2	19,9	3,3	19,9	2,1	20,0
SJ-16/17/18	5,0	19,9	4,3	19,8	2,1	19,9
SJ-24	4,2	19,9	3,3	20,0	2,2	20,0

TABELA V-13

DESCORAMENTO DE ÓLEO DE SOJA ("C") POR 06 AMOSTRAS DE ARGILAS ATIVADAS COM H₂SO₄ (10N) DO MEMBRO ROMUALDO DA

FORMAÇÃO SANTANA E PELA ARGILA PADRÃO MEXICANA (TONSIL)

AMOSTRAS	CORES DO ÓLEO					
	Com 0,5% de Argila		Com 1,0% de Argila		Com 2,0% de Argila	
	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo	Vermelho	Amarelo
Óleo semi-refinado "C"	9,9	19,9	9,9	19,9	9,9	19,9
TONSIL	9,0	20,0	4,5	20,0	2,2	19,9
AB-12/13/14	8,6	20,0	8,1	19,9	5,0	19,9
CM-03/04	7,3	19,9	5,2	19,9	3,3	20,1
LD-07/08	6,8	19,9	4,3	20,0	7,1	20,0
MA-04/05	8,9	20,0	8,9	19,9	7,1	19,9
RAI-05/06/07	7,0	19,9	3,3	20,0	2,2	20,2
SJ-01	7,7	19,9	6,7	19,9	3,4	20,0

TABELA VI-1

CLASSIFICAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM TEOR DE $\text{CaCO}_3 \leq A$ 25%.

UTILIZANDO AS REGRAS PROPOSTAS POR FUCHTBAUER
(1957, APUD MABESOONE 1983)

Continua...

AMOSTRAS	NOME DA ROCHA
AB-02	Argilito com muito silte
AB-03/04	Argilito com muito silte
AB-05/06/07	Argilito com muito silte
AB-08	Argilito com muito silte, com pouca areia
AB-09/10/11	Argilito com muito silte, com pouca areia
AB-17	Siltito muito arenoso
CA-01	Argilito siltico-arenoso
CA-02/03/04	Argilito com muito silte
CA-05/06	Argilito com muito silte
CA-07/08	Argilito com muito silte
CA-09/10/11	Argilito siltico com pouca areia
CA-14	Argilito siltico com pouca areia
CM-03/04	Argilito com muito silte e pouca areia
CM-07/08/09	Siltito muito argiloso com pouca areia
CM-10	Argilito com muito silte e pouca areia
GI-01/02	Arenito siltico-argiloso
GI-06	Arenito siltico com pouca argila
GI-07	Argilito com muito silte e pouca areia
GI-08	Arenito siltico-argiloso
G-09/10	Siltito muito argiloso com pouca areia
GI-11	Siltito muito argiloso com pouca areia
GI-12/13	Argilito siltico com pouca areia
GI-14	Argilito muito arenoso siltico (solo)

TABELA VI-1

CLASSIFICAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM TEOR DE $\text{CaCO}_3 \leq A$ 25%.
UTILIZANDO AS REGRAS PROPOSTAS POR FUCHTBAUER

(1957, APUD MABESOONE 1983)

Continua...

AMOSTRAS	NOME DA ROCHA
LD-01/02/03	Siltito muito argiloso e com pouca areia
LD-04	Siltito muito argiloso
LD-06	Arenito siltico
LD-07/08	Argilito siltico, arenoso
MA-01/02	Siltito muito argiloso, arenoso
MA-03	Siltito arenoso, argiloso
MA-07	Arenito com muito silte
MA-09	Argilito com muito silte e com pouca areia
MA-10/11	Argilito arenoso, siltico
RAI-05/06/07	Argilito siltico com pouca areia
RAII-01/02	Argilito com muito silte, com pouca argila
RAII-03	Argilito siltico
RAII-04/05	Arenito siltico argiloso
RAII-06	Argilito com muito silte, com pouca areia
SJ-01/02	Argilito com muito silte, arenoso
SJ-03	Argilito com muito silte, com pouca areia
SJ-04	Siltito muito argiloso, com pouca areia
SJ-05	Argilito com muito silte
SJ-06/07	Arenito argiloso, siltico
SJ-08/09/10	Siltito muito argiloso
SJ-11	Siltito muito argiloso, com pouca areia
SJ-12	Argilito com muito silte
SJ-13	Siltito muito argiloso

TABELA VI-1

CLASSIFICAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM TEOR DE $\text{CaCO}_3 \leq A 25\%$.
UTILIZANDO AS REGRAS PROPOSTAS POR FUCHTBAUER

(1957, APUD MABESOONE 1983)

AMOSTRAS	NOME DA ROCHA	Conclusão
SJ-14	Argilito com muito silte	
SJ-15	Argilito com muito silte	
SJ-16/17/18	Argilito síltico	
SJ-19/20	Argilito com muito silte	
SJ-24	Argilito síltico	

TABELA VI-2

CLASSIFICAÇÃO DOS SEDIMENTOS COM TEOR DE $\text{CaCO}_3 > 25\%$

UTILIZANDO DIAGRAMA TRIANGULAR DE CLASSIFICAÇÃO E NOMENCLATURA DOS SEDIMENTOS MISTOS DE CARBONATOS E MATÉRIAS CLÁSTICAS (Fig. 6.1) SUGERIDO POR MABESOONE (1983)

AMOSTRAS	NOME DA ROCHA
AB-01	Marga argilosa
AB-16	Marga calcária
CA-12/13	Marga argilosa
CA-15	Marga argilosa
CA-16	Marga calcária
CA-17/18	Marga argilosa
CA-19	Marga
CM-01/02	Marga argilosa
CM-05/06	Marga argilosa
GI-03/04/05	Marga argilosa
LD-05	Marga argilosa
LD-10	Marga calcária
MA-04/05	Marga argilosa
MA-06	Marga argilosa
MA-08	Marga argilosa
RAI-01/02	Marga argilosa
RAI-03/04	Marga argilosa
RAI-08	Marga argilosa
RAII-07	Marga argilosa

TABELA VI-3

DADOS DE CTC E DA HIGROSCOPICIDADE DAS ARGILAS

AMOSTRAS	CTC meq/100 g	HIGROSCO PICIDADE (%)	AMOSTRAS	CTC meq/100 g	HIGROSCO PICIDADE (%)
AB-01	39,5	13	LD-01/02/03	40,7	14
AB-02	44,3	14	LD-07/08	53,4	17
AB-03/04	41,8	14	MA-01/02	19,4	11
AB-05/06/07	39,7	14	MA-04/05	57,8	18
AB-09/10/11	40,4	14	MA-10/11	53,1	17
AB-12/13/14	71,7	24	RAI-01/02	40,9	14
CA-01	38,3	12	RAI-03/04	41,3	14
CA-02/03/04	36,4	12	RAI-05/06/07	54,1	18
CA-07/08	36,0	12	RAII-01/02	35,0	12
CA-09/10/11	45,4	15	RAII-03	57,2	18
CA-12/13	30,3	11	RAII-06	38,4	13
CA-17/18	57,3	18	RAII-07	36,9	12
CA-19	68,4	17	SJ-01/02	69,9	20
CM-01/02	40,0	13	SJ-04	38,0	13
CM-03/04	42,6	14	SJ-05	52,5	17
CM-07/08/09	38,5	13	SJ-08/09/10	32,3	12
GI-03/04/05	52,8	17	SJ-15	43,1	14
GI-09/10	39,8	13	SJ-16/17/18	42,3	14
GI-12/13	68,8	20	SJ-19/20	44,0	14
GI-14	45,5	14	SJ-24	49,2	17