

LÍGIA MARIA CAMPOS ASSUNÇÃO

+ ESTUDO DA EXPANSÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
VERMICULITAS NORDESTINAS

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para ob
tenção do **Grau de Mestre**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: **Tecnologia dos Ma
teriais Não-Metálicos**

PROFESSOR ORIENTADOR: **Ramdayal Swarnakar**

CAMPINA GRANDE

1985

ESTUDO DA EXPANSÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
VERMICULITAS NORDESTINAS



A851e Assunção, Lígia Maria Campos.
Estudo da expansão e caracterização de vermiculitas nordestinas / Lígia Maria Campos Assunção. - Campina Grande, 1985.
93 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1985.
"Orientação: Prof. Dr. Ramdayal Swarnakar".
Referências.

1. Mineralogia - Vermiculitas. 2. Vermiculitas Nordestinas. 3. Minerais - Análise Química. 4. Engenharia Química - Dissertação. I. Swarnakar, Ramdayal. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 549:679.867(812/813)(043)

ESTUDO DA EXPANSÃO E CARACTERIZAÇÃO DE
VERMICULITAS NORDESTINAS

LÍGIA MARIA CAMPOS ASSUNÇÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 05.12.85

Ramdayal Swarnakar
RAMDAYAL SWARNAKAR
Orientador

Hans Raj Gheyi
HANS RAJ GHEYI
Componente da Banca

M. G. A. Ferreira
MARIA DA GRAÇA DE VASCONCELOS XAVIER FERREIRA
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE
DEZEMBRO - 1985

À Flávio, Júlia e minha
família.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ramdayal Swarnakar, pelo seu desprendimento e dedicação ao orientar esta dissertação.

Ao Professor Michel François Fossy, Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, pelo apoio e cooperação recebidos.

Ao Professor Pêrsio de Souza Santos, pelas sugestões iniciais e colaboração na aquisição de parte da bibliografia.

Ao Departamento de Engenharia Química da UFPb., na pessoa do seu Chefe - Professor José Duarte Rocha.

Ao Professor Francisco Barbosa de Lucena, Chefe do Laboratório de Solos I, pela utilização de tal Laboratório.

A Maria José, pela cuidadosa datilografia, a Windsor, pelos desenhos e a Gelmires, pela contribuição na execução de alguns ensaios.

RESUMO

Ensaio de piroexpansão e de caracterização mineralógica foram efetuados em sete amostras de vermiculita provenientes de diferentes localidades do Nordeste Brasileiro.

O "grau de esfoliação" foi avaliado através de medidas da massa específica aparente e do aumento havido na espessura das placas. O primeiro ensaio citado foi efetuado nas amostras com diferentes granulometrias (peneiras Tyler): acima de $1/2''$, entre $1/2''$ e $1/4''$, entre $1/4''$ e nº 6, entre nº 6 e nº 14, entre nº 14 e nº 28 e abaixo do nº 28; nas temperaturas de 600°C , 700°C , 800°C , 900°C e 1000°C e tempos de residência no forno de 3 min., 5 min., 8 min. e 10min. O aumento na espessura foi determinado para três amostras constituídas por placas grandes.

O "grau de esfoliação" mostrou ser dependente do diâmetro e espessura das placas de vermiculita e da temperatura do ensaio e, atingiu valores dentro da faixa dos produtos comerciais piroexpandidos, para quatro das amostras ensaiadas.

Na caracterização mineralógica utilizou-se, entre outros: análise química, capacidade de troca de cátions, análise térmica diferencial e análise por difração de raios-x. A difração de raios-x foi efetuada nas amostras secas ao ar, tratadas com etileno glicol, aquecidas a 550°C e tra

tadas com $MgCl_2$.

Constatou-se a presença de vermiculita em todas as se
te amostras estudadas, ora em mistura, ora interestratifica-
da com outros minerais como mica, clorita e talco.

ABSTRACT

Pyroexpansion and mineralogical characterisation studies have been performed on seven vermiculite samples originating from different localities of Northeast Brazil.

The "degree of exfoliation" has been evaluated by measuring the apparent specific density and the increment occurred in the thickness of the flakes. The first of the tests mentioned has been made on samples of different particle sizes: above $1/2$ ", between $1/2$ " and $1/4$ ", between $1/4$ ", and no. 6, between no. 6 and no. 14, between no. 14 and no. 28 and under no. 28 (Tyler sieves); at temperature 600°C , 700°C , 800°C , 900°C and 1000°C and residence times in the furnace of 3 min., 5 min., 8 min. and 10 min. The increment in the thickness was determined in three larger samples.

The "degree of exfoliation" was observed to be dependent on the diameter of the vermiculite plates and temperature. Four of the samples showed the "degree of exfoliation" values in the range of the pyroexpanded commercial products.

The mineralogical characterisation has been made by chemical analysis, cation exchange capacity, differential thermal analysis and x-ray diffraction analysis. The x-ray diffraction analysis was carried out on samples: air dried, treated with ethylene glycol, heated to 550°C and treated with MgCl_2 .

The vermiculite has been found to be present in all of the seven samples studied, however, mixed with or interstratified with other minerals such as mica, clorite and talc.

ÍNDICE

1.	-	Introdução	01 ✓
2.	-	Revisão de Literatura.....	03 ✓
2.1	-	Histórico.....	03
2.2	-	Geologia e Gênese.....	05
2.3	-	Jazidas e Ocorrências.....	07
2.3.1	-	No mundo.....	07
2.3.2	-	No Brasil.....	08
2.4	-	Estrutura cristalina.....	11
2.5	-	Caracterização.....	14
2.6	-	Piroexpansão.....	15
2.7	-	Usos.....	17
3.	-	Materiais e Métodos.....	24
3.1	-	Materiais.....	24
3.2	-	Métodos.....	25
3.2.1	-	Preparação das amostras.....	25
3.2.2	-	Umidade.....	26
3.2.3	-	Análise granulométrica em peneiras.....	26
3.2.4	-	Piroexpansão.....	26
3.2.5	-	Massa específica aparente da vermiculita expan dida.....	28
3.2.6	-	Grau de esfoliação (medida do aumento na espes sura das placas)	28
3.2.7	-	Rendimento (teor de material expansível).....	29
3.2.8	-	Análise química.....	29

3.2.9	- pH	30
3.2.10	- Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.....	30
3.2.11	- Análise térmica diferencial.....	30
3.2.12	- Análise por difração de raios-x	31
4.	- Resultados e Discussão.....	32
4.1	- Cor e aspecto.....	32
4.2	- Umidade.....	33
4.3	- Análise granulométrica em peneiras.....	33
4.4	- Piroexpansão.....	34
4.4.1	- Massa específica aparente da vermiculita expandida.....	34
4.4.2	- Grau de esfoliação (aumento havido na espessura das placas).....	37
4.5	- Rendimento (teor de material expansível).....	38
4.6	- Análise química.....	39
4.7	- pH.....	40
4.8	- Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.....	40
4.9	- Análise térmica diferencial.....	41
4.10	- Análise por difração de raios-x	43
5.	- Conclusões.....	49
6.	- Sugestões.....	51
7.	- Referências bibliográficas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Reservas brasileiras de vermiculita em 1981 (em toneladas).....,.....	59
Tabela 2	- Produção brasileira de vermiculita nos anos de 1977 a 1981 (em toneladas)....	60
Tabela 3	- Espaçamento basal e espessura da <u>camada</u> da d'água da vermiculita saturada com diferentes cátions, segundo Walker e Milne (22), (23).....	61
Tabela 4	- Umidade da vermiculita crua.....	62
Tabela 5	- Análise granulométrica em peneiras, a úmido e a seco da vermiculita crua (Em % retida acumulada).....	63
Tabela 6	- Massa específica aparente da vermiculita expandida com diferentes granulometrias (Em g/cm^3). Temperatura de Esfoliação: $800^{\circ}C$ e Tempo de residência: 5 minutos.....	65
Tabela 7	- Massa específica aparente em g/cm^3 da vermiculita expandida em diferentes temperaturas. Tempo de residência: 5 minutos. Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.....	67

Tabela 8	- Massa específica aparente em g/cm^3 da vermiculita expandida em diferentes tempos de residência. Temperatura de esfoliação: 800°C . Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.	67
Tabela 9	- Grau de esfoliação de vermiculitas do Nordeste (calculado a partir do aumento na espessura das placas).....	68
Tabela 10	- Rendimento ou teor de material expansível da vermiculita expandida.....	69
Tabela 11	- Análises químicas das vermiculitas...	70
Tabela 12	- pH das dispersões aquosas das vermiculitas.....	71
Tabela 13	- Capacidade de troca de cátions e teor de cátions trocáveis das vermiculitas do Nordeste Brasileiro.....	72
Tabela 14	- Análise térmica diferencial de vermiculitas do Nordeste Brasileiro.....	73
Tabela 15	- Difração de raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Espaçamentos basais em Angströms.....	76
Tabela 16	- Difração de raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Reflexões apresentadas pelas amostras secas com orientação preferencial.....	77

The vermiculite has been found to be present in all of the seven samples studied, however, mixed with or interstratified with other minerals such as mica, clorite and talc.

ÍNDICE

1.	-	Introdução	01 ✓
2.	-	Revisão de Literatura.....	03 ✓
2.1	-	Histórico.....	03
2.2	-	Geologia e Gênese.....	05
2.3	-	Jazidas e Ocorrências.....	07
2.3.1	-	No mundo.....	07
2.3.2	-	No Brasil.....	08
2.4	-	Estrutura cristalina.....	11
2.5	-	Caracterização.....	14
2.6	-	Piroexpansão.....	15
2.7	-	Usos.....	17
3.	-	Materiais e Métodos.....	24
3.1	-	Materiais.....	24
3.2	-	Métodos.....	25
3.2.1	-	Preparação das amostras.....	25
3.2.2	-	Umidade.....	26
3.2.3	-	Análise granulométrica em peneiras.....	26
3.2.4	-	Piroexpansão.....	26
3.2.5	-	Massa específica aparente da vermiculita <u>exp</u> <u>andida</u>	28
3.2.6	-	Grau de esfoliação (medida do aumento na <u>espes</u> <u>sura das placas</u>).....	28
3.2.7	-	Rendimento (teor de material expansível).....	29
3.2.8	-	Análise química.....	29

3.2.9	- pH	30
3.2.10	- Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.....	30
3.2.11	- Análise térmica diferencial.....	30
3.2.12	- Análise por difração de raios-x	31
4.	- Resultados e Discussão.....	32
4.1	- Cor e aspecto.....	32
4.2	- Umidade.....	33
4.3	- Análise granulométrica em peneiras.....	33
4.4	- Piroexpansão.....	34
4.4.1	- Massa específica aparente da vermiculita expandida.....	34
4.4.2	- Grau de esfoliação (aumento havido na espessura das placas).....	37
4.5	- Rendimento (teor de material expansível).....	38
4.6	- Análise química.....	39
4.7	- pH.....	40
4.8	- Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis.....	40
4.9	- Análise térmica diferencial.....	41
4.10	- Análise por difração de raios-x	43
5.	- Conclusões.....	49
6.	- Sugestões.....	51
7.	- Referências bibliográficas.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Reservas brasileiras de vermiculita em 1981 (em toneladas).....,.....	59
Tabela 2	- Produção brasileira de vermiculita nos anos de 1977 a 1981 (em toneladas)....	60
Tabela 3	- Espaçamento basal e espessura da <u>cam</u> da d'água da vermiculita saturada com diferentes cátions, segundo Walker e Milne (22), (23).....	61
Tabela 4	- Umidade da vermiculita crua.....	62
Tabela 5	- Análise granulométrica em peneiras, a úmido e a seco da vermiculita crua (Em % retida acumulada).....	63
Tabela 6	- Massa específica aparente da vermicul <u>i</u> ta expandida com diferentes granulome <u>tr</u> ias (Em g/cm ³). Temperatura de Esfo <u>l</u> iação: 800°C e Tempo de residência: 5 minutos.....	65
Tabela 7	- Massa específica aparente em g/cm ³ da vermiculita expandida em diferentes tem <u>per</u> aturas. Tempo de residência: 5 minu <u>to</u> s. Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.....	67

Tabela 8	- Massa específica aparente em g/cm^3 da vermiculita expandida em diferentes tempos de residência. Temperatura de esfoliação: 800°C . Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.	67
Tabela 9	- Grau de esfoliação de vermiculitas do Nordeste (calculado a partir do aumento na espessura das placas).....	68
Tabela 10	- Rendimento ou teor de material expansível da vermiculita expandida.....	69
Tabela 11	- Análises químicas das vermiculitas...	70
Tabela 12	- pH das dispersões aquosas das vermiculitas.....	71
Tabela 13	- Capacidade de troca de cátions e teor de cátions trocáveis das vermiculitas do Nordeste Brasileiro.....	72
Tabela 14	- Análise térmica diferencial de vermiculitas do Nordeste Brasileiro.....	73
Tabela 15	- Difração de raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Espaçamentos basais em Angströms.....	76
Tabela 16	- Difração de raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Reflexões apresentadas pelas amostras secas com orientação preferencial.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Um aspecto da Jazida de Massapê em Paulistana - PI.....	80
Figura 2 - Representação esquemática da estrutura unitária de alguns argilominerais.....	81
Figura 3 - Equipamento utilizado na medição da massa específica aparente.....	82
Figura 4 - Ensaio de rendimento.....	82
Figura 5 - Massa específica aparente da vermiculita expandida em função da granulometria. Material proveniente da análise granulométrica a umido.....	83
Figura 6 - Massa específica aparente da vermiculita expandida em função da granulometria. Material proveniente da análise granulométrica a seco.....	84
Figura 7 - Massa específica aparente da vermiculita expandida em função da temperatura.....	85
Figura 8 - Massa específica aparente da vermiculita expandida em função do tempo de residência...	86
Figura 9 - Termogramas de vermiculitas nordestinas....	87
Figura 10- Difractogramas das amostras com diferentes tratamentos (Amostras PI e BA).....	88
Figura 11- Difractogramas das amostras com diferentes tratamentos (Amostras PE-I e PE-II).....	89

Figura 12-	Difratogramas das amostras com diferentes tratamentos (Amostras PB-I e PB-II).....	90
Figura 13-	Difratogramas da amostra com diferentes tratamentos (Amostra PB-III).....	91
Figura 14-	Difratogramas de raios-x das amostras de vermiculita secas ao ar, com orientação preferencial.....	92
Figura 15-	Difratogramas de raios-x das amostras de vermiculita secas ao ar, com orientação preferencial.....	93

1. INTRODUÇÃO

O nome vermiculita - derivado do latim "vermiculare", que significa gerar vermes - é uma alusão a forma curva e alongada do mineral após sofrer a ação de altas temperaturas (fenômeno de esfoliação) (1). Atualmente, o nome vermiculita é utilizado mineralógica, industrial e comercialmente para designar os minerais da família da mica que apresentam o fenômeno da esfoliação.

A vermiculita esfoliada tem inúmeras aplicações na construção civil, na indústria de transformação e na agricultura, que são consequência das suas propriedades características: baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, moderada refratariedade, incombustibilidade e elevadas capacidades de troca iônica e de absorção de líquidos.

O Brasil vem apresentando uma produção e consumo de vermiculita crescentes (2). Novas ocorrências vêm sendo descobertas principalmente na região Nordeste.

Por outro lado, as exigências do mercado consumidor, em particular as dos importadores estrangeiros, além de variáveis, são mal definidas quanto às propriedades tecnologicamente importantes e sua medição.

Pretendeu-se então realizar estudos sistemáticos de caracterização mineralógica e tecnológica das ocorrências provenientes dos estados do Piauí, Paraíba, Pernambuco e Bahia. Estes estudos visaram contribuir para um melhor conhecimento

das ocorrências nordestinas e o conseqüente aproveitamento in
dustrial das mesmas, bem como para a catalogação das ocorrênu
cias brasileiras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Histórico

O nome vermiculita foi aplicado pela primeira vez por Thomas H. Webb, em 1824, a um mineral que ocorria próximo a Worcester, Massachussetts. Desde então, muitas variedades de vermiculita foram descritas, as quais receberam nomes diversos como Jefferisita, Culsageeita, Hallita, entre outros. Entretanto, essas descobertas não despertaram qualquer interesse industrial e a vermiculita permaneceu como uma curiosidade mineralógica por quase um século.

A vermiculita esfoliada foi comercializada pela primeira vez em 1915, utilizando o minério proveniente de Chaffee County, Colorado; foi porém, uma produção intermitente e este projeto teve vida curta.

Uma produção contínua, em escala industrial, só veio a acontecer em 1921, com o minério existente próximo a Libby, Montana. Este depósito, que é o maior dos Estados Unidos e um dos maiores do mundo, foi descoberto em 1916 por E.N.Alley.

Durante muitos anos, o depósito americano de Libby foi a única fonte de vermiculita no mundo. Somente em 1938, é que teve início a produção do grande depósito sul africano de Palabora que é, talvez, o maior depósito de vermiculita no mundo. Este depósito está situado em Loolekop, Palabora, no nordeste do Transvaal e é considerado a única fonte de

vermiculita mineralogicamente pura do mundo (3).

Atualmente os dois maiores produtores de vermiculita do mundo são os Estados Unidos e a África do Sul.

No Brasil várias citações sobre a existência de vermiculita têm sido feitas: em 1936, Moraes (4) notificou a ocorrência de vermiculita junto a depósitos de amianto anfíbio nos municípios de Ubã, Pomba e Tocantins, em Minas Gerais. Outras ocorrências mencionadas por Moraes foram as das jazidas de níquel do município de Ipanema, Minas Gerais, em 1938 e, a da região niquelífera de Liberdade, Minas Gerais, em 1942. Ainda em 1942, o geólogo William T. Pecora, do Serviço Geológico dos Estados Unidos assinalou a presença de vermiculita nas minas de níquel de Buriti, em São José de Tocantins, Estado de Goiás. Essas ocorrências no entanto, não despertaram nenhum interesse comercial.

A primeira jazida brasileira a produzir em escala industrial foi a do Bairro do Congonhal, município de Tatuí, Estado de São Paulo, cujos trabalhos de pesquisa foram iniciados em 1949. Segundo Mont'alverne (5) a mina entrou em fase de lavra em 1954 e se encontra paralizada desde 1972. De 1950 até os nossos dias, muitas outras ocorrências de vermiculita vêm sendo descobertas no Brasil. Atualmente, se encontram produzindo em escala industrial, as minas de Massapê em Paulistana no Piauí, cujo titular é a Eucatex Mineração do Nordeste, e de Sancrelandia em São Luis do Belo Monte, Estado de Goiás, explorada pela Minebra (*). Existem ainda vã

(*) esta última informação foi fornecida verbalmente pelo Eng^o Urames Pires dos Santos, da Minebra - Minérios Brasileiros S.A.

rios garimpos em produção nos Estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais, e várias áreas em fase de pesquisa (5).

2.2. Geologia e Gênese

As vermiculitas, comumente, estão associadas a intrusões de rochas ígneas ultrabásicas tais como dunitos, serpentinitos, peridotitos e piroxenitos. Podem ocorrer como zonas de alteração envolvendo a intrusão, como veios irregulares junto ao corpo intrusivo ou associadas a corpos ácidos, geralmente pegmatitos, que cortam a rocha básica. Quartzo, feldspato, corindon, apatita, biotita, clorita, amianto e talco são minerais associados típicos.

As vermiculitas podem ser de dois tipos:

- Macroscópicas ou macrovermiculitas - constituídas de cristais grandes, bem desenvolvidos e que segundo Bassett (6) são trioctaédricas.
- Microscópicas ou microvermiculitas - possuem as dimensões de argilo mineral; podem ser di ou trioctaédricas e são muito mais variáveis em composição, o que torna difícil distingui-las das esmectitas.

Os depósitos de macrovermiculitas, que são os que apresentam aplicações industriais, foram classificados em quatro tipos, de acordo com a natureza da rocha matriz (6):

- 1 - Ocorrências em rochas máficas e ultramáficas - um exemplo deste tipo de ocorrência é a jazida de Libby-Montana nos Estados Unidos porém, todos os

maiores depósitos comerciais pertencem a esta categoria. Em todos os depósitos desta classe a vermiculita está aparentemente relacionada a intrusões de diques pegmatíticos na rocha básica e, o material que é minerado é camadas mistas vermiculita-biotita ou vermiculita-flogopita.

2 - Ocorrências em xistos e gnaisses - a vermiculita ocorre geralmente em faixas escuras encaixadas no gnaisse ou xisto. Independentemente da rocha matriz, este tipo de ocorrência tem características distintas das do tipo anterior. Embora esteja também associada a pegmatitos, não são observadas zonações do tipo dunito-serpentinítico. Em geral, a vermiculita é pouco profunda e passa a biotita gradualmente. Um exemplo clássico são os depósitos de Llano, Texas.

3 e 4 - Ocorrências em carbonatos e em granitos - nenhuma produção de vermiculita é proveniente destes dois tipos de depósitos.

Ainda hoje, a origem da vermiculita é uma questão controversa. De acordo com diferentes autores, três processos podem dar origem à vermiculita:

1 - a ação de soluções hidrotermais sobre rochas ígneas ultrabásicas;

2 - o intemperismo das micas biotita e flogopita ou

3 - uma combinação dos dois processos anteriores.

Entretanto, em todas as ocorrências, vermiculitas são minerais secundários resultantes de alteração hidrotermal ou intemperismo. A composição das rochas ou minerais primários

que deram origem à vermiculita, a natureza química da solu
ção de alteração e o grau de alteração, explicam as varia
ções existentes na composição química e propriedades físicas
das muitas variedades de vermiculita.

2.3. Jazidas e Ocorrências

2.3.1 - No Mundo:

A maior parte da vermiculita produzida no mundo ocidental é proveniente dos Estados Unidos e da África do Sul.

Nos Estados Unidos a vermiculita ocorre em 12 estados porém, as principais reservas encontram-se em um grande depo
sito existente próximo a Libby, Montana e, em vários outros depo
sitos menores nos distritos de Enoree e Enoree-Waldrep, na Carolina do Sul. Dados de 1978, estimam as reservas ameri
canas em 100 milhões de toneladas (7).

Na África do Sul existe um único grande depo
sito em produção que está situado em Palabora, no Nordeste da Provin
cia do Transvaal. As reservas na África do Sul são estimadas em 75 milhões de toneladas (7).

Grandes depo
sitos são também conhecidos na União Sovié
tica, na região dos Montes Urais, porém não se tem dados so
bre o tamanho ou número destes depo
sitos. Sabe-se ainda que estão sendo explorados depo
sitos na Argentina, China, Coré
ia, Índia, Quênia e Tanzânia (7).

2.3.2 - No Brasil

As ocorrências brasileiras de vermiculita, conhecidas até o momento, estão distribuídas em pelo menos 10 estados. Segundo o Anuário Mineral Brasileiro de 1982 (8), nossas reservas representam 8% das reservas mundiais de vermiculita. Nas tabelas (1) e (2) encontram-se dados sobre as reservas e a produção de vermiculita no Brasil. As ocorrências por estado são dadas a seguir.

Alagoas

Frões de Abreu (9) cita uma ocorrência existente próximo a Arapiraca.

Bahia

Rosenburg (10) cita ocorrências em Joazeiro, Santa Inês, próximo a Jequié, Brumado, Angico e próximo a Capira Grosso-uma localidade distante 30 a 40 km de Senhor do Bonfim. Stelling(2), baseado no Projeto de Cadastramento de Ocorrências Minerais do Estado da Bahia, diz que são conhecidas cerca de 41 ocorrências em todo o Estado sendo as mais significativas as de Aracatu e Brumado. Uma amostra de Brumado foi utilizada neste trabalho.

Ceará

Araújo (11), (12), estudou uma ocorrência no município de Granjeiro; esta mesma ocorrência é citada por Mont'Alverne (5).

Goiás

Moraes (4) assinalou a presença de vermiculita nas minas de níquel de Buriti, em São José de Tocantins. Ferraz (13)

cita ocorrências em Niquelândia, Catalão e Jussara. A ocorrência de Catalão é citada por vários outros autores (5), (2) e (11) e é tida como a maior reserva conhecida atualmente no Brasil. Existe ainda uma ocorrência em Sancrelandia, que está sendo explorada pela Minebra, conforme informação verbal fornecida pelo Eng^o Urames Pires dos Santos.

Minas Gerais

Moraes (4) cita várias ocorrências: na jazida de níquel em Liberdade, nos depósitos de amianto anfibólio dos municípios de Ubá, Pomba e Tocantins e, na jazida de níquel de Ipanema. Além das ocorrências acima, Ferraz (13) cita as de Ponte Nova e Dores do Turvo. Rosenberg (10) estudou uma amostra proveniente de Mercês.

No Anuário Mineral Brasileiro de 1982 estão computadas reservas referentes ao município de Cipotânea.

Paraíba

No presente trabalho foram estudadas amostras provenientes dos seguintes locais: povoado de Santo Antonio, no município de São Vicente do Seridó, fazenda Serrote Preto, no município de Soledade e uma amostra do município de Serra Branca.

Segundo a CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba existe uma ocorrência de vermiculita no sítio Barra, município de Santa Luzia (14).

Paraná

Ferraz (13) cita uma ocorrência em Campo Largo e, no Anuário Mineral Brasileiro de 1982 estão computadas reservas no município de Campina Grande do Sul.

Pernambuco

Rosenburg (10) estudou uma amostra proveniente de Arco verde. Neste trabalho foram estudadas amostras provenientes dos municípios de Floresta (localidade Marie) e Orocó (localidade Serrote do Gato).

Piauí

Existe a jazida de Massapê, no município de Paulistana, que foi visitada pela autora e já se encontra em exploração comercial pela Eucatex Mineração do Nordeste. Vide figura 1.

São Paulo

Maciel e Guimarães (15) citam ocorrências na região de Jacupiranga e Ipanema, no município de Registro e finalmente a jazida de Tatuí (Bairro do Congonhal) que foi por eles estudada e foi a primeira jazida brasileira a produzir comercialmente, hoje esta jazida está paralizada.

2.4. Estrutura Cristalina

Só em 1934, com o trabalho de Gruner, foi mostrado que a vermiculita é um mineral distinto, com uma estrutura cristalina semelhante à da mica ou do talco porém com moléculas de água entre as camadas (16). Muitos dos minerais classificados até então como vermiculita eram, na verdade, estruturas de camadas mistas.

A estrutura cristalina da vermiculita é constituída por duas folhas (sheets) de tetraedros SiO_4 intercaladas com uma folha central de octaedros de $[\text{Mg}_3(\text{OH})_6]$; o empilhamento destas folhas ao longo do eixo *c* forma uma camada (layer) 2:1 (Fig. 2a). Estas camadas 2:1, por sua vez, são separadas por camadas de moléculas de água as quais ocupam um espaço definido de $4,98 \text{ \AA}$, que é aproximadamente a espessura de duas moléculas de água. Portanto, em seu estado natural, o mineral consiste de uma alternância de camadas tipo mica e duplas camadas de água (17) (Fig. 2 d).

A estrutura é desbalanceada principalmente por substituições do Si^{4+} por Al^{3+} nas camadas tetraédricas. Estas substituições podem ser parcialmente compensadas por outras substituições na estrutura cristalina, mas existe sempre uma deficiência de carga de 0,6 a 0,9 por unidade de fórmula, a qual é satisfeita por cátions que ocorrem entre as camadas estruturais e que são facilmente trocáveis. Na vermiculita natural, cuja capacidade de troca de cátions é igual ou maior do que a das esmectitas os cátions neutralizantes são principalmente magnésio.

A fórmula química da cela unitária de uma vermiculita

rie de fases menos hidratadas. Desidratando-se o reticulado normal de $14,36 \text{ \AA}$, obtém-se primeiramente uma fase de $13,82 \text{ \AA}$ cuja estrutura contém duplas folhas de água interlamelar, porém com um arranjo diferente daquele da fase de $14,36 \text{ \AA}$. Uma desidratação subsequente leva à formação de uma fase de $11,59 \text{ \AA}$, na qual apenas uma folha de moléculas de água está entre as camadas. Com nova desidratação surge uma fase de $20,6 \text{ \AA}$ que consiste em alterações aproximadamente regulares dos componentes $11,59 \text{ \AA}$ e $9,02 \text{ \AA}$; finalmente uma fase de $9,02 \text{ \AA}$ é formada, da qual toda a água foi retirada e que corresponde a estrutura do talco.

O espaçamento basal da vermiculita varia ainda com o tipo de cátion trocável presente entre suas camadas (17), (22), (23) e (24); na tabela nº 3 podemos ver que alguns cátions causam contração enquanto que outros causam expansão na distância interplanar basal. Essas variações no espaçamento basal podem ser observadas através da análise por difração de raios-X.

A estrutura cristalina da vermiculita é muito semelhante a das cloritas e montmorilonitas (fig. 2 e, f). Na clorita o cátion interlamelar, que também é o magnésio, está rodeado por hidroxilas enquanto que na vermiculita ele está rodeado por moléculas de água (25). Na montmorilonita a folha central octaédrica é de gibsite $[\text{Al}_2 (\text{OH})_6]$ e na vermiculita esta mesma folha é de brucita $[\text{Mg}_3 (\text{OH})_6]$, porém ambas as estruturas apresentam água interlamelar; diferindo das montmorilonitas, a expansão com água nas vermiculitas é limitada a cerca de $4,98 \text{ \AA}$.

2.5. Caracterização

Caracterizar uma vermiculita (*) envolve basicamente duas etapas: 1ª - determinação da composição mineralógica e 2ª - caracterização tecnológica da espécie mineral.

Na determinação da composição mineralógica, a utilização de vários métodos se faz necessária para uma identificação inequívoca ou o mais completa possível. No caso de vermiculitas são utilizados principalmente: análise química, capacidade de troca de cátions, difração de raios-X, análise térmica diferencial e ainda a determinação de algumas propriedades físicas como cor, dureza e massa específica.

Existe pouca informação sobre a utilização de outros métodos na caracterização mineralógica de vermiculitas. A utilização de microscopia eletrônica, por exemplo, é dificultada pelo fato de que as vermiculitas sempre ocorrem em associação com outros argilominerais e assim, os componentes individuais não podem ser isolados para permitir a determinação de suas características específicas (26).

Na caracterização tecnológica, o ensaio que fornece um resultado seguro sobre o "grau de esfoliação" da vermiculita é o de piroexpansão (27). Este "grau de esfoliação" (número de vezes que a vermiculita aumenta de volume pela piro

(*) Por vermiculita entende-se aqui o grupo de minerais da família da mica que expandem com o calor; incluindo tanto a vermiculita propriamente dita como estruturas de camadas mistas.

expansão) pode ser calculado a partir do número de vezes que a espessura aumenta, quando se utiliza no ensaio uma placa macroscópica; no entanto, os números obtidos neste ensaio são muito grandes, uma vez que só se utiliza placas grandes e que o "grau de esfoliação" diminui a medida que o diâmetro das placas diminui (18). Outra maneira de avaliar o "grau de esfoliação", principalmente visando prever usos industriais, é medir a massa específica aparente do material piroexpandido. No entanto, ainda não existe um método normalizado ou de aceitação ampla para medir essa propriedade e, é sabido que o aumento de volume de uma vermiculita depende do diâmetro e espessura das placas, da temperatura do ensaio, da velocidade e tipo de aquecimento e da quantidade de material ensaiado (18). Ou seja, é necessário padronizar tanto quanto possível, as condições de realização do ensaio.

2.6. Piroexpansão

Praticamente toda a utilização industrial da vermiculita é na sua forma esfoliada. Existem dois tipos de esfoliação: a) pela ação do calor, que recebe o nome de piroexpansão e b) através de tratamentos químicos.

No caso de tratamentos químicos, a esfoliação é obtida utilizando-se agentes oxidantes; a água oxigenada tem sido particularmente eficaz para algumas espécies (22). No entanto, em termos práticos, este tipo de esfoliação é antieconômico (3).

Quando placas de vermiculita são rapidamente expostas a temperaturas da ordem de 800°C , a água interlamelar (água existente entre as camadas 2.1 do mineral) transforma-se em vapor e é liberada explosivamente. Essa liberação explosiva do vapor d'água, é responsável pela piroexpansão da vermiculita que se torna um material granular, leve e volumoso, contendo pequenas células cheias de ar, as quais são responsáveis por grande parte do poder isolante da vermiculita (28). A piroexpansão se dá na direção perpendicular ao plano de clivagem basal, sem qualquer variação apreciável na área da partícula.

A água removida a 100°C , quase metade da água total, não causa esfoliação mesmo que o aquecimento seja rápido; essa água é de caráter reversível, podendo ser reabsorvida a partir da umidade do meio. As camadas de água que circundam os íons trocáveis e que estão mais firmemente ligadas, são as responsáveis pela piroexpansão e são removidas a 260°C . A água de hidroxilas, que sai a 870°C , não é necessariamente removida para esfoliação em fornos industriais e, a sua eliminação provoca apreciável variação nas características físico-mecânicas da vermiculita expandida; a temperatura do forno deve ser tal que a água não seja reduzida abaixo de 5% (27).

O grau de esfoliação depende, entre outros fatores, da velocidade de aquecimento pois um aumento de temperatura gradual e lento não causa esfoliação, enquanto que uma alta velocidade de aquecimento produz uma maior saída explosiva da água e uma maior esfoliação. Que uma saída explosiva de vapor

d'agua é necessária, é sugerida pela maneira como as placas incham no centro e se curvam antes de se abrirem nas arestas. A esfoliação também está relacionada com o tamanho das partículas; partículas muito pequenas, das quais a água interlamelar pode ser facilmente removida, não esfoliam tanto quanto as partículas maiores.

Outro fator que influi no grau de esfoliação da vermiculita é o tipo ou características do mineral; um mineral apenas parcialmente alterado (presença de biotita ou outras micas) não apresentará boa expansão. Por outro lado, se obtém uma expansão mais completa, introduzindo no forno um material seco e uniforme em tamanho. O tempo de exposição a altas temperaturas não deve ser muito prolongado, o que causaria uma fragilização na vermiculita expandida com uma produção muito grande de finos. Nos fornos industriais este tempo varia de 4 a 8 segundos para temperaturas entre 800°C e $1\ 100^{\circ}\text{C}$ (29).

2.7. Usos

A vermiculita esfoliada apresenta uma faixa muito ampla de aplicações (18) (30) (31) (32) (33), as quais são decorrentes de suas características seguintes: baixa massa específica aparente, baixa condutividade térmica, forma granular solta, à prova de som, moderada refratariedade (suporta temperaturas até $1\ 100 - 1\ 200^{\circ}\text{C}$), não deteriora, quimicamente inerte, incombustível e apresenta ainda elevadas capacidades

de absorção de líquidos e de troca iônica.

Cada aplicação requer uma faixa granulométrica apropriada, de modo geral a vermiculita de granulometria mais grosseira é considerada mais nobre pois apresenta valores mais baixos de massa específica aparente. Os três maiores usos da vermiculita expandida são: na sua forma granular solta como um material de enchimento isolante (loose-fill), como um agregado leve em concretos e como um agregado em argamas isolantes e à prova de som. Estima-se que 80% das vendas de vermiculita expandida são para aplicações na indústria da construção civil (32). A seguir listamos os usos principais:

Na Construção Civil

Como um material de enchimento granulado, a vermiculita é usada para isolar paredes, tetos e pisos de construções residenciais e industriais contra calor, frio e som. A granulometria desejada para estes usos é a de -3 +14 mesh.

Para concreto leve a vermiculita parece ser o melhor dos agregados conhecidos (34). É o mais leve dos concretos leves; embora seja relativamente caro, seu uso é justificado, em parte, pela redução no peso de paredes, pisos e tetos onde ele é utilizado, proporcionando apreciável economia na quantidade de aço necessária e conseqüentemente no custo global da estrutura (29). Outras vantagens na utilização de um concreto deste tipo são as suas características de isolamento térmico, acústico e de proteção anti-chama. O concreto de vermiculita é utilizado também em unidades pre-fabricadas co

mo pranchas, vigas e blocos. A faixa granulométrica utilizada neste caso está compreendida entre 5 e 20 mesh.

Argamassas preparadas com vermiculita aderem muito bem às superfícies devido a sua estrutura laminar; por outro lado sua capacidade de acomodação a esforços de expansão e contração entre revestimento e superfície é muito superior a dos revestimentos convencionais. A argamassa de vermiculita além de suas propriedades acústicas e de isolamento térmico tem capacidade para absorver choques ou impactos. Como ligantes são utilizados: cimento, gesso, argilas refratárias, resinas sintéticas, cola de caseína e vários outros. Dependendo da granulometria do material e da natureza do ligante, vários produtos podem ser obtidos, variando desde tintas resistentes ao calor e a produtos químicos até argamassas altamente impermeáveis (35).

Na Indústria Cerâmica

Aqui a vermiculita é utilizada de várias formas, como um material ao mesmo tempo refratário e isolante térmico. Esta refratariedade é moderada, a vermiculita e seus produtos suportam apenas temperaturas até 1 200°C.

No teto de fornos a vermiculita é usada na sua forma granular solta, como material de enchimento, que por sua vez é revestido com cimento de vermiculita.

Tijolos isolantes para temperaturas elevadas, aglomerados com argilas refratárias, cimento Portland ou de alta alumina, silicato de sódio, etc., podem ser utilizados para cobrir o revestimento refratário ou diretamente expostos à face quente de fornos que operem até 1 200°C (35). A utiliza

ção destes tijolos em fornos e estufas não só reduz as perdas de calor para o ambiente, como também os efeitos causados pelos frequentes ciclos de aquecimento.

Esmaltes cerâmicos feitos com vermiculita, além de serem mais resistentes ao impacto que os esmaltes comuns permitem a obtenção de colorações especiais.

Outros usos na indústria cerâmica são: blocos para construção, concreto isolante e chaminés pré-fabricadas.

Na Indústria Química

As indústrias químicas empregam principalmente as frações mais finas da vermiculita (abaixo de 20 mesh) em diferentes usos.

Como suporte para inseticidas, fungicidas, pesticidas e herbicidas. Existe inclusive uma possibilidade interessante: a de combinar numa só embalagem fertilizante, condicionador de solos, inseticida e fungicida.

Como carga em plásticos moldados e extrudados, pó de impressão ácido-resistente (36), graxas lubrificantes e tintas especiais.

A vermiculita em ambas as suas formas, crua e expandida, funciona como um catalisador na síntese de certos compostos orgânicos, principalmente hidrocarbonetos derivados do petróleo.

No isolamento térmico de equipamentos de processo, utiliza-se uma argamassa ou um cimento plástico isolante de vermiculita para revestir reatores, caldeiras, torres de processamento em refinarias, aquecedores, tanques de armazenagem à frio ou à quente, tubulações, etc. Com a vermiculita,

juntas de dilatação em torres de processamento ou tubulações são consideradas desnecessárias mesmo quando as mudanças de temperatura são freqüentes (37).

A vermiculita tem sido utilizada como um filtro na purificação de gasolina e óleo combustível.

Por suas características absorventes ela é utilizada, por exemplo, no transporte de aves; nas embalagens de produtos químicos líquidos, ela previne contra a quebra por ser um material resistente à choques, porém se a quebra ocorrer ela absorverá o líquido evitando vazamento excessivo.

Na Metalurgia

A estrutura lamelar e qualidades não abrasivas fazem da vermiculita (passada em peneira de 200 mesh) um lubrificante na extrusão e estiramento de metais em temperaturas elevadas.

Outros usos na indústria metalúrgica: no isolamento térmico de lingotes aquecidos que precisam ser transportados ou aguardar processamento, no revestimento de moldes (lingoteiras), como suporte para aditivos e como isolante térmico para cobrir zinco e chumbo fundidos.

Na Agricultura

A vermiculita esfoliada tem dado excelentes resultados quando utilizada como condicionador de solos argilosos duros ou compactados. Ela aumenta a capacidade de reter umidade e nutrientes do solo, torna-o mais friável e poroso, aera-o e ainda desempenha um papel químico na troca de íons do solo. Tudo isto resulta em colheitas precoces e mais resistentes às

geadas ou calor.

Utilizada como um leito para germinação de sementes, a vermiculita tem apresentado muitas vantagens sobre areia, estrumes orgânicos e outras substâncias mais pesadas comumente usadas.

No acondicionamento de fertilizantes em pó ela evita o empedramento e é usada também para acondicionar sementes de pequenas dimensões.

Um outro uso da vermiculita esfoliada é nas culturas hidropônicas, onde ela forma um meio estéril ideal para o de desenvolvimento de estruturas radiculares cultivadas em solução nutriente e, que alguns autores denominam de "culturas vermicopônicas" (13).

Na agricultura pode-se utilizar também a vermiculita crua (não esfoliada) em solos arenosos para reduzir a infiltração de água e melhorar as condições para aplicação de fertilizantes.

Usos Gerais

Um dos poucos usos para a vermiculita não expandida é na obtenção da "Lamisilite", uma sílica pura em forma de placas, obtida atacando-se a vermiculita crua com ácido sulfúrico à quente. Esta sílica é utilizada como um agente dessecante pelo seu elevado poder de absorção e é usada também como catalisador na obtenção de compostos orgânicos.

Outro uso para a vermiculita não expandida é em lama de perfuração de poços, onde a sua estrutura lamelar em partículas microscópicas, é acreditada ser ideal como um selante na perfuração de formações porosas, prevenindo assim a per

da de fluido circulante.

Outros usos da vermiculita expandida que merecem ser citados são: no isolamento de ônibus e automóveis, como um redutor de ruídos em aviões e outros veículos barulhentos, no isolamento de eletrodomésticos e no acondicionamento de lixo atômico para rejeito.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Foram estudadas sete amostras de vermiculita, todas procedentes da região Nordeste do Brasil, cuja discriminação é dada a seguir:

Amostra PI - proveniente da jazida de Massapê, município de Paulistana no Piauí; a jazida se encontra em exploração comercial pela firma Eucatex Mineração do Nordeste e a amostra foi coletada no local pela autora.

Amostra BA - fornecida pelo Eng^o Urames Pires dos Santos da Minérios Brasileiros Mineração e Industrialização Ltda. - Mineira e, proveniente do município de Brumado na Bahia.

Amostra PE-I - amostra fornecida pelo geólogo Alexandre Carneiro da Cunha da Minérios de Pernambuco S.A. e proveniente da localidade Marie no município de Floresta - Pernambuco; Marie dista 20 km a este da cidade de Floresta.

Amostra PE-II - amostra fornecida também pela Minérios de Pernambuco S.A. e proveniente da localidade Serrote do Gato no município de Orocó em Pernambuco.

Amostra PB-I - fornecida pelo geólogo José Liberato de Oliveira da Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba - CDRM e proveniente do povoado de Santo Antonio

no município de São Vicente do Seridó - Paraíba.

Amostra PB-II - fornecida pelo Eng^o de Minas Marcos José F. do Amaral do Dept^o de Mineração e Geociências da Universidade Federal da Paraíba - Campus de Campina Grande e proveniente da fazenda Serrote Preto no município de Soledade - Paraíba.

Amostra PB-III - fornecida também pelo Eng^o de Minas Marcos José F. do Amaral e proveniente da fazenda de propriedade do Sr. Roberto Gaudêncio no município de Serra Branca, na Paraíba.

3.2. Métodos

3.2.1. - Preparação das amostras

O material utilizado para os ensaios de identificação mineralógica, sofreu a seguinte preparação: separação manual das impurezas mais grosseiras e redução do tamanho das placas, quando necessário, com o auxílio de uma tesoura. Em seguida, efetuou-se uma moagem em almofariz de porcelana, até obter-se cerca de 120 g de material passado em peneira Tyler de nº 100 (abertura de 0,147 mm). No material assim obtido foi retirado o ferro magnético com o auxílio de um ímã e uma lupa de 5X. A finalidade desse beneficiamento foi obter uma amostra o mais pura possível e na granulometria adequada para os ensaios de identificação mineralógica.

Na realização dos ensaios tecnológicos as amostras fo

ram utilizadas no seu estado bruto, tendo sido submetidas, em alguns casos, a uma classificação granulométrica em peneiras.

3.2.2. - Umidade

Foi determinada pelo método P-MB-233 da ABNT (1961) (38). Este ensaio é uma etapa necessária e anterior à realização da análise granulométrica em peneiras.

3.2.3. - Análise granulométrica em peneiras

Foi utilizado o método P-MB-278 da ABNT (1961) (39) e foram realizadas análises granulométricas a úmido e a seco, partindo-se sempre de 100,0 g do material bruto. Foram utilizadas as seguintes peneiras Tyler: de 1/2" - abertura de 12,7 mm; de 1/4" - abertura de 6,3 mm; de nº 6 - abertura de 3,4 mm; de nº 14 - abertura de 1,2 mm e de nº 28 - abertura de 0,6 mm. As seis frações granulométricas obtidas (inclusive o material que passou na peneira de nº 28), foram reservadas para serem submetidas ao ensaio de piroexpansão.

3.2.4. - Piroexpansão

Foi realizada em forno elétrico muflado, marca ETIL, de dimensões 23,5x17,5 cm X 14 cm. A amostra de vermiculita, já separada granulometricamente e devidamente pesada, foi cuida

dosamente espalhada no fundo de um recipiente de aço inoxidável, com dimensões de 21 cm X 14,5 cm X 2,5 cm; em seguida foi colocada no forno, que já se encontrava na temperatura do ensaio, aí permanecendo por um tempo determinado, que variou conforme as condições do ensaio. Após esse tempo a amostra foi retirada do forno e resfriada ao ar; somente após 1 hora procedia-se à pesagem e às outras determinações realizadas na vermiculita expandida.

A piroexpansão acima descrita foi realizada nas condições seguintes:

- Com diferentes granulometrias (diâmetro equivalente médio das partículas) - o material utilizado foi o obtido das análises granulométricas e, portanto, amostras com as seguintes faixas de granulometria (peneiras Tyler) foram ensaiadas: acima de 1/2", entre 1/2" e 1/4", entre 1/4" e nº6, entre nº 6 e nº 14, entre nº 14 e nº 28, abaixo do nº 28. A temperatura de exfoliação e o tempo de residência da amostra no forno, foram escolhidos respectivamente de 800°C e de 5 minutos.
- Em diferentes temperaturas de esfoliação - a piroexpansão foi efetuada nas temperaturas de 600°C, 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C, tendo-se escolhido o tempo de residência de 5 minutos e a granulometria do material que fica entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.
- Em diferentes tempos de residência - os tempos de residência da amostra no forno foram de 3 min., 5 min., 8 min., e 10 min., a temperatura de esfoliação foi de 800°C e a granulometria da amostra foi a mesma do item anterior.

A quantidade de vermiculita utilizada na piroexpansão foi de 20,0g, exceto quando utilizou-se diferentes granulometrias onde, a quantidade de vermiculita variou de acordo com os resultados da análise granulométrica.

3.2.5. - Massa Específica aparente da vermiculita expandida

A técnica de medição utilizada encontra-se descrita no trabalho de Navajas e Souza Santos (40). Em linhas gerais, consiste na leitura do volume ocupado por uma massa conhecida de vermiculita expandida, que foi colocada numa proveta e submetida à vibrações, durante 10 minutos, em um vibrador de peneiras. O Vibrador de peneiras utilizado neste ensaio, foi da marca Solotest, modelo FB-6, com uma peça de madeira adaptada para proporcionar encaixe ou suporte à proveta (figura 3); utilizou-se ainda balança com precisão de 0,1g e provetas de 250ml e 500ml. No cálculo da massa específica aparente foi usada a média aritmética de duas determinações.

3.2.6. - Grau de esfoliação (medida do aumento na espessura das placas)

Foram escolhidas 25 placas de vermiculita e cortadas com o auxílio de uma tesoura, em quadrados de aproximadamente 2,5cm de lado. Essas placas foram piroexpandidas a 800°C e durante 5 minutos. Com o auxílio de um paquímetro, mediu-se a espessura das placas antes e após a piroexpansão. O quocien

3.2.9. - pH

As determinações do pH também foram efetuadas pelo Laboratório de Análise Minerais da SUDENE e o método utilizado foi o com água destilada. A relação vermiculita: água foi de 1:2, 10g amostra: 20ml de água destilada e a medida do pH foi feita em um potenciômetro.

3.2.10. - Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis

Estas determinações foram realizadas pela Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco-ITEP. O método utilizado foi o desenvolvido pelo Instituto Nacional de Tecnologia, do Rio de Janeiro, que usa para extrair ou trocar os cátions existentes na amostra, soluções de cloreto de potássio (para dosar Ca e Mg), ácido clorídrico (para dosar Na e K) e acetato de cálcio (para dosar H e Al) (41).

3.2.11. - Análise térmica diferencial

Ensaio realizado pela Fundação Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco. Foi utilizado um aparelho da marca Rigaku-Thermoflex e uma velocidade de aquecimento de 10°C/min.

3.2.12. - Análise por difração de raios-X

Ensaio realizado pelo Laboratório de Análises Minerais da SUDENE. O difratômetro de raios-X utilizado foi um PW 1320/00 - Philips, usando radiação K- α do cobre e velocidade de varredura de 1° (2θ)/min. Foram efetuados ensaios no material: seco com orientação preferencial, tratado com etileno glicol, aquecido a 550°C por duas horas (42) e tratado com solução 1N Mg Cl_2 (43).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cor e aspecto

Amostra PI - placas grandes de até 15 cms, amarelas com reflexos dourados. Após moagem toma a cor creme claro.

Amostra BA - placas grandes centimétricas, de cor marrom que ficam amareladas a medida que a espessura diminui. Reduzida a pó toma a cor bege acastanhado.

Amostra PE-I - grandes placas, pouco flexíveis e quase sempre muito espessas de cor marrom claro com reflexos acobreados e dourados. Após moagem sua cor é castanha.

Amostra PE-II - pequenos aglomerados de cor castanha que produzem placas de dimensões milimétricas. Após moagem o pó torna-se bege acastanhado.

Amostra PB-I - grandes massas compactas e friáveis, de cor dourada que apresentam placas de pequenas dimensões (alguns milímetros). Após moagem sua cor é castanha.

Amostra PB-II - placas de dimensões milimétricas, friáveis, de cor marrom com reflexos amarelados. Reduzida a pó torna-se creme.

Amostra PB-III - o minério se apresenta de cor preta com algumas partes pigmentadas por óxido de ferro; grandes massas compactas e friáveis que produzem placas de dimensões

milimétricas. Quando moído torna-se um pó castanho com um brilho perolado.

Observação: O pó referido acima passou em peneira Tyler de nº 200.

4.2. Umidade

Os resultados da umidade das vermiculitas encontram-se na tabela nº 4 e, variaram de 1,4% a 13,1%, o que está dentro do esperado pois tais minerais contêm um teor variável de umidade.

Esses valores da umidade foram utilizados nos cálculos das frações granulométricas obtidas na análise granulométrica à úmido.

4.3. Análise granulométrica em peneiras

Os resultados das análises granulométricas à úmido e à seco das vermiculitas, encontram-se na tabela nº 5 .

De um modo geral, as amostras de vermiculita estudadas, contêm mais de 50% de suas partículas acima da peneira Tyler nº 14 (abertura de 1,2 mm). A única exceção foi a amostra PE-II que na análise granulométrica à úmido não atingiu este valor.

Na análise granulométrica à seco, cinco amostras, BA, PE-I, PE-II, PB-II e PB-III, apresentaram uma percentagem

acumulada de partículas retidas na peneira Tyler de nº 28 (abertura de 0,6 mm), maior do que na análise granulométrica à úmido, ou seja, a análise granulométrica à seco produziu uma menor quantidade de "finos" (o que passou na peneira de nº 28) para estas cinco amostras. As outras duas amostras, PI e PB-I, produziram uma menor quantidade de "finos" na análise granulométrica à úmido.

A análise granulométrica à úmido parece ter um maior poder de desagregar as amostras; principalmente aquelas amostras que não são constituídas por placas grandes e sim, por aglomerados contendo placas de pequenas dimensões ligadas entre si por um material argiloso.

4.4. Piroexpansão

O "grau de esfoliação" das vermiculitas foi avaliado de duas maneiras: 1) medindo-se a massa específica aparente do material esfoliado e 2) medindo-se o aumento havido na espessura das placas.

4.4.1. Massa específica aparente da vermiculita expandida

- Com diferentes granulometrias - estes resultados encontram-se na tabela nº 6 e nas figuras nº 5 e nº 6.

A massa específica aparente das amostras PI, BA e PE-I aumentou com a diminuição do tamanho das partículas, o

que está de acordo com o esperado (2) (18).

Nas outras quatro amostras, PE-II, PB-I, PB-II e PB-III, a massa específica aparente sofreu de início, uma diminuição ou apresentou valores constantes a medida que diminuiu a granulometria; só nas granulometrias mais finas (o que passou na peneira de 3,4mm) veio apresentar valores crescentes. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de estas quatro amostras não serem constituídas por placas grandes, bem formadas e sim por aglomerados ou agregados de placas de pequenas dimensões. Estes "aglomerados" ficam retidos nas peneiras de aberturas maiores porém, por ocasião da piroexpansão ocorre uma desagregação e as placas de pequenas dimensões são individualizadas.

O resultado de massa específica aparente para as amostras PI, BA, PE-I e PB-I são comparáveis aos obtidos por Navajas e Souza Santos (27) (40), cuja técnica de medição da massa específica aparente foi utilizada no presente trabalho. Utilizando-se a referida técnica, obtém-se um grau de compactação ou empacotamento das partículas maior do que o obtido com outras técnicas citadas na literatura (3) (44). As amostras PE-II, PB-II e PB-III apresentaram valores maiores.

De um modo geral, os valores da massa específica aparente para as amostras provenientes da análise granulométrica à úmido, foram ligeiramente menores do que os valores das amostras da análise granulométrica à seco. Provavelmente a análise por via úmida é mais eficiente na separação de impurezas ou materiais não expansíveis, como por exemplo as

argilas plásticas, que em geral acompanham as vermiculitas.

- Em diferentes temperaturas - os resultados encontram-se na tabela nº 7 e figura nº 7.

O comportamento da massa específica aparente e consequentemente da esfoliação em diferentes temperaturas, foi variável para as diversas amostras: a amostra PI apresentou o mesmo valor de massa específica aparente de 700°C a 1000°C e, na temperatura de 1000°C notou-se uma mudança na coloração de totalmente prateada para prateada com partes pretas, sugerindo um início de queima na vermiculita esfoliada. As amostras BA e PE-I apresentaram menores valores de massa específica aparente a 900°C e 1000°C. A amostra PE-II apresentou um valor mínimo a 900°C e voltou a aumentar a 1000°C. As amostras PB-I, PB-II e PB-III apresentaram valores mínimos a 1000°C.

De um modo geral, as amostras que não são constituídas por placas grandes, bem formadas e, que muito provavelmente são produtos de alteração incompleta, necessitaram de uma temperatura mais elevada para atingirem uma esfoliação mais completa.

- Em diferentes tempos de residência - estes resultados encontram-se na tabela nº 8 e figura nº 8.

O comportamento da massa específica aparente em diferentes tempos de residência na mufla também foi variável para as diversas amostras: as amostras PI e PB-III apresentaram valores mínimos no tempo de 3 minutos e, em tempos maiores o comportamento das duas amostras foi diferente - a amostra PI sofreu uma elevação na massa específica aparente

a 5 minutos para em seguida apresentar valores decrescentes, enquanto que a amostra PB-III apresentou valores ligeiramente maiores e constantes a 5 e 8 minutos e, continuou a crescer a 10 minutos. As amostras PE-I e PE-II apresentaram valores mais baixos e constantes a 8 e 10 minutos. A amostra PB-II apresentou um valor mínimo a 8 minutos e a amostra BA apresentou um mínimo a 10 minutos. A amostra PB-I apresentou os mesmos valores em todos os tempos de residência ensaiados.

Um tempo de residência "ótimo" seria aquele em que a massa específica aparente apresentasse valores constantes após ter atingido um valor mínimo (18); no nosso caso esse tempo poderia ser o de 8 minutos, uma vez que atenderia um maior número das amostras estudadas.

4.4.2. Grau de esfoliação (aumento havido na espessura das placas)^(*)

Os resultados obtidos encontram-se na tabela nº 9 e indicam que o "grau" de esfoliação variou com a espessura das placas. De um modo geral, em placas muito espessas - espessura em torno de 1,7 mm - o grau de esfoliação foi menor do que em placas pouco espessas (0,4 ou 0,5 mm por exemplo). Segundo Mc Millan e Gerhardt (45), a resistência à deformação oferecida pelas placas, é crescente a partir de uma deter

(*) Este ensaio foi realizado apenas com as três amostras constituídas de placas grandes (dimensões centimétricas).

minada espessura crítica e, somando-se a isto haveria o e feito isolante da porção esfoliada mais externa sobre o interior das placas.

Vale salientar que em placas muito espessas, as medidas da espessura após esfoliação são dificultadas pela tendência ao encurvamento exibida por estas placas.

Os resultados obtidos para o "grau de esfoliação" médio das três amostras ensaiadas estão de acordo com a faixa de valores citada na literatura que é de 12 a 30 vezes ou mais (10) (18).

4.5. Rendimento (teor de material expansível)

De um modo geral, os resultados obtidos e que estão na tabela nº 10 , podem ser considerados bons quando comparados aos encontrados na literatura (2) (45). Segundo Strand(32), o teor de vermiculita (material expansível) no minério é um dos requisitos necessários para se avaliar a viabilidade econômica de um depósito e, em relação a este requisito, depósitos com teores iguais ou superiores a 30% seriam considerados viáveis.

Podemos agrupar os resultados obtidos em duas faixas de valores a saber: 1^a - os resultados das amostras PE-I, PB-I, PI e BA que foram superiores a 79,0% de material expansível e, 2^a - os das amostras PE-II, PB-III e PB-II cujos rendimentos variaram de 36,34% a 45,65%.

Observa-se que na primeira faixa, estão aquelas amostras

que apresentaram menores valores para a massa específica aparente (item 4.4.1) e que, com exceção da amostra PB-I, são constituídas por placas grandes, bem formadas. Já na segunda faixa, encontram-se as amostras que apresentaram maiores valores para a massa específica aparente e que são constituídas por aglomerados de placas de pequenas dimensões.

4.6. Análise química

Os resultados obtidos estão na tabela nº 11 e se afastam, em maior ou menor grau, da composição teórica da vermiculita proposta por Gruner (46), o que está de acordo com o esperado e, é devido ao fato da vermiculita ser um produto de alteração de outros minerais e esta alteração poder ser completa ou incompleta.

Quatro amostras, BA, PE-I, PB-I e PB-III, apresentaram percentagens elevadas de K_2O (entre 4,82 e 6,02%), o que, segundo Foster (16), revela um processo de vermiculitização incompleto onde o potássio foi apenas parcialmente substituído. Algumas amostras, principalmente PE-I e PB-III, apresentaram teores elevados de ferro, indicando que a mica presente seja a biotita.

Apenas duas amostras, PI e PE-II, apresentaram uma soma umidade + perda a $1000^{\circ}C$ (H_2O^- e H_2O^+ respectivamente) superior a 19,0%, próxima portanto do valor teórico para o teor de água que é de 20,09%.

4.7. pH

Os resultados obtidos para o pH de dispersões aquosas das vermiculitas nordestinas, encontram-se na tabela nº 12 e variaram de 8,0 a 9,5.

Comparando estes resultados com os dos cátions trocáveis na tabela nº 13, observa-se que os cátions trocáveis predominantes nas amostras estudadas foram o Mg e o Ca e que a amostra de pH = 9,5 apresentou além destes dois cátions, um teor considerável de Na trocável. Somando-se a isto, em nenhuma das amostras está presente o íon H_3O trocável. Como o pH de uma argila resulta, em parte, da natureza dos íons trocáveis presentes, era de se esperar que o pH destas amostras fosse alcalino.

4.8. Capacidade de troca de cátions e cátions trocáveis

A capacidade de troca de cátions da maioria das amostras foi baixa (tabela nº 13). Duas amostras, PI e PE-II, apresentaram valores contidos na faixa admitida para vermiculitas, que é de 120 a 200 meq/100g amostra (18); nas demais amostras os valores foram inferiores a 120 meq/100g amostra,

Comparando-se os resultados da capacidade de troca de cátions com os da análise química (tabela nº 11), nota-se que, em geral, as amostras com maiores teores de água foram as que apresentaram os maiores valores para a capacidade de tro

ca de cátions, ou seja, a capacidade de troca de cátions diminuiu a medida que decresceu o teor de água total da amostra. Isto já havia sido assinalado por Rosenberg (10) que supõe que o teor de água seja um dos fatores que influenciam a extensão e a cinética da reação de troca, uma vez que na vermiculita moléculas de água estão coordenadas aos cátions trocáveis. Uma confirmação desta suposição estaria, segundo Rosenburg, na forte redução que acontece na capacidade de troca de cátions da vermiculita piroexpandida (onde a perda de água é praticamente total), que passa a ser de 3 a 25 meq/100 g amostra.

O Mg foi o cátion trocável predominante em seis amostras e em uma amostra, a PE-I, o cátion predominante foi o Ca. Uma das seis amostras onde o Mg predominou, a PE-II, apresentou ainda um teor elevado de Na trocável.

4.9. Análise térmica diferencial

A análise térmica diferencial de argilominerais mostra reações endotérmicas características, devido as diferentes fases de desidratação e à destruição da estrutura cristalina e, reações exotérmicas devidas à formação de novas fases em temperaturas elevadas. No caso de vermiculitas, ocorrem dois estágios de perda de água, em temperaturas entre 50°C e 250°C. O primeiro estágio representa a perda de água líquida (unbound water) adsorvida entre as camadas basais e dá geralmente uma reação endotérmica dupla, com um pico principal entre 150°C e 200°C; o segundo estágio dá um pico endotérmico

em torno de 250°C e é devido a perda de água rígida (bound water) coordenada aos cátions trocáveis. A perda das últimas hidroxilas (as hidroxilas são perdidas gradualmente a partir de 350°C) e a destruição da estrutura acontecem em torno de 850°C, seguidas de um pico exotérmico da provável formação de enstatita (22), (26), (47) e (48). A temperatura de remoção da água interlamelar varia com a natureza do cation trocável e com a umidade relativa (26), (49).

Os resultados obtidos para as vermiculitas nordestinas encontram-se na fig. nº 9 e na tabela nº 14 e são discutidos a seguir.

As amostras PI, PB-II e PE-II apresentaram as seguintes reações características de vermiculita: endotérmicas a 110 - 112°C (duplas), 220°C e 820-830°C e, exotérmica a 852-856°C; as três amostras apresentaram também um pico endotérmico na região de 560-686°C indicando a presença de alguma clorita associada à vermiculita.

A amostra BA apresentou um pico endotérmico duplo a 110°C e outro pico endotérmico a 226°C. A partir de 400°C o termograma se desenvolveu abaixo da linha de base (endotermicamente) o que pode ser interpretado, segundo Gaudette (47), como uma perda gradual de hidroxilas.

A amostra PB-I mostra reações endotérmicas características de vermiculita a 108°C, 220°C e 856°C, mostra também uma banda endotérmica com temperatura média a 1120°C indicando, em nossa opinião, a presença de alguma biotita associada à vermiculita. O termograma se desenvolveu endotermicamente a partir de 400°C.

As amostras PE-I e PB-III apresentaram apenas dois pi

cos endotérmicos, o primeiro a 60-64°C devido a perda de água líquida e o outro a 1100-1130°C devido provavelmente a perda de estrutura da biotita presente. Os termogramas se desenvolvem endotermicamente a partir de 400°C.

As amostras PB-III, PE-I e PB-I que apresentaram picos endotérmicos a 1100°C-1130°C sugerindo a presença de biotita, apresentaram também teores elevados de ferro (vide tabela nº 11 - análise química das vermiculitas) o que é um outro indicativo da presença de biotita.

4.10. Análise por difração de raios-X

Foram obtidos difratogramas das amostras secas, tratadas com etileno glicol, aquecidas a 550°C e tratadas com solução de $Mg\ Cl_2$ (todas com orientação preferencial). Os referidos difratogramas estão nas figuras nºs 10, 11, 12 e 13 e a tabela nº 15 contém os espaçamentos basais em Angstrons após cada um destes tratamentos.

A técnica da orientação preferencial efetuada nas amostras originais, intensifica as reflexões basais e permite uma classificação dos argilominerais em seus principais grupos (25) (50). Das amostras estudadas, cinco apresentaram reflexões basais do grupo da vermiculita-clorita - esmectita ou seja, reflexões basais a $14,3\overset{\circ}{\text{Å}}$ - $15,0\overset{\circ}{\text{Å}}$ e, duas amostras, PB-III e PE-I, apresentaram reflexões basais a $10,3\overset{\circ}{\text{Å}}$ - $10,8\overset{\circ}{\text{Å}}$ indicando tratar-se de minerais interestratificados irregular

mente (random intergrowth), uma vez que estas reflexões são de ordens não inteiras, ou seja, são valores intermediários entre as reflexões basais de camadas de $10,0\text{\AA}$ e de $14,0\text{\AA}$ e, a sequência de reflexões $(00l)$ não é completa ou integral (26) (51).

Os difratogramas das amostras originais (figuras nºs 14 e 15) fornecem ainda informações sobre as intensidades relativas das reflexões $(00l)$, as quais nos permitem distinguir preliminarmente vermiculita de clorita ou, avaliar qualitativamente a percentagem relativa de cada camada numa interestratificação de vermiculita com clorita. Segundo Weaver (51), clorita tem intensas reflexões de segunda ordem ($7,1\text{\AA}$) e de quarta ordem ($3,55\text{\AA}$) e, fracas reflexões de primeira e terceira ordens ($14,2\text{\AA}$ e $4,73\text{\AA}$ respectivamente), enquanto a vermiculita apresenta uma intensa reflexão a $14,2\text{\AA}$ e fracas reflexões a $7,1\text{\AA}$ e $4,73\text{\AA}$.

A reflexão (060) de seis das amostras estudadas (Tabela nº 16) variou de $1,533\text{\AA}$ a $1,542\text{\AA}$ indicando que elas são minerais trioctaédricos (43) (47).

O tratamento com etileno glicol distingue cloritas e macrovermiculitas de esmectitas (e microvermiculitas (10) (22) (52)). Nas amostras glicoladas uma mudança da reflexão de $14,0\text{\AA}$ para $17,0\text{\AA}$ indica a presença de esmectita (ou microvermiculita), enquanto que a permanência da reflexão a 14\AA indica a presença de clorita e/ou macrovermiculita. A tabela nº 15 nos mostra que nenhuma das amostras estudadas expandiu para 17\AA com o etileno glicol, indicando portanto a ausência de esmectita e microvermiculita. Por outro lado, nas duas amostras que originalmente apresentaram

espaçamentos basais a $10,3 \text{ \AA}$ e $10,8 \text{ \AA}$, houve uma diminuição destes espaçamentos, com o etileno glicol para $10,1 \text{ \AA}$ e $9,7 \text{ \AA}$ respectivamente, reforçando a indicação de que estes minerais são camadas mistas (50).

O aquecimento a 550°C por duas horas, com resfriamento cuidadoso em dessecador para prevenir reidratação, permite distinguir cloritas de vermiculitas e esmectitas. O pico a 14 \AA das cloritas persiste e é intensificado após este aquecimento, enquanto nas vermiculitas e esmectitas o pico a 14 \AA desaparece e é substituído por uma banda a $9-10 \text{ \AA}$. Os resultados obtidos (tabela nº 15) indicam a presença de clorita nas amostras PI e BA.

O tratamento com MgCl_2 tem por finalidade promover a saturação das posições de troca com o cátion magnésio, o que, segundo Jackson(43), tende a aumentar os espaçamentos basais e a intensidade dos mesmos, em esmectitas e vermiculitas. Nas amostras estudadas (tabela nº 15) nenhuma mudança significativa foi observada na intensidade ou posição das reflexões a $14,0 \text{ \AA}$, porém as reflexões de ordens não inteiras referentes a interestratificações, apresentaram além de uma melhor resolução, modificações na posição e intensidade.

Amostra PI - os resultados da tabela nº 15 indicam a presença de vermiculita e clorita. Após o aquecimento a 550°C , o pico a $14,7 \text{ \AA}$ não desapareceu totalmente mas a intensidade dele diminui para menos de 30% do pico original; além disso, as intensidades relativas observadas na figura nº 14, indicam predominância de vermiculita sobre clorita (intensa reflexão a $14,7 \text{ \AA}$ e fracas reflexões a $7,2 \text{ \AA}$ e $4,82 \text{ \AA}$). A análise térmica diferencial também revelou a presença de clorita (tabe

la nº 14). Na tabela nº 16 e figura nº 14 observamos reflexões a $11,5 \text{ \AA}$ e $9,7 \text{ \AA}$ (banda) revelando a presença de camadas mistas de mica com mineral de $14,0 \text{ \AA}$. A amostra, portanto, é constituída por vermiculita, clorita e mica.

Amostra BA - os resultados da tabela nº 15 também indicam a presença de vermiculita e clorita. Após o aquecimento a 550°C , o pico a $14,5 \text{ \AA}$ se comportou de modo semelhante ao da amostra PI, porém ficando com uma intensidade de aproximadamente 22% do pico original; além disso a menor intensidade das reflexões de segunda, terceira e quarta ordens ($7,2 \text{ \AA}$, $4,80 \text{ \AA}$ e $3,61 \text{ \AA}$ - figura nº 14) sugerem que a clorita está presente na amostra BA em menor proporção do que na amostra PI e, provavelmente na forma de camadas mistas vermiculita - clorita pois aparecem reflexões, embora bastante fracas, a cerca de $26,8 \text{ \AA}$. As reflexões a $11,5 \text{ \AA}$ e $9,3 \text{ \AA}$ (figura nº 14) revelam a presença de camadas mistas mica + mineral de $14,0 \text{ \AA}$ e, o pico agudo e intenso a $10,1 \text{ \AA}$ é indicativo da presença de mica. O mineral portanto, é constituído por vermiculita, clorita e mica.

Amostra PE-1 - os resultados da tabela nº 15 revelam a presença de um mineral de camadas mistas mica + mineral de $14,0 \text{ \AA}$. Após o aquecimento a 550°C a banda larga a $10,8 \text{ \AA}$ e $10,1 \text{ \AA}$ (tabela nº 16 e figura nº 11) contrai para $9,9 \text{ \AA}$ tornando-se mais intensa e aguda, o que indica ser vermiculita o mineral de $14,0 \text{ \AA}$. No tratamento com MgCl_2 , a intensidade da banda tornou-se quase o dobro da original e houve uma bifurcação da mesma em $10,5 \text{ \AA}$ e $9,5 \text{ \AA}$, sugerindo que diferentes proporções das camadas de $10,0 \text{ \AA}$ e de $14,0 \text{ \AA}$ contribuíram para o

espalhamento; além disso, surgiu uma fraca reflexão a cerca de $14,7 \text{ \AA}$. O comportamento com etileno glicol - contração da banda para $9,7 \text{ \AA}$ - reforça a indicação de que se trata de um mineral de camadas mistas mica + vermiculita, sendo mica a camada predominante.

Amostra PE-II - a presença de uma reflexão a $14,0 \text{ \AA}$ com etileno glicol, que contrai para $9,5 \text{ \AA}$ sob aquecimento a 550°C (tabela nº 15), revela a presença de vermiculita. Na tabela nº 16 e figura 14 observamos uma reflexão a $11,3 \text{ \AA}$, que pode ser a segunda ordem de uma fraca reflexão a $22,6 \text{ \AA}$, indicando a presença de camadas mistas mica-vermiculita; observamos ainda uma banda a $9,7 \text{ \AA}$ (com picos bifurcados a $9,9 \text{ \AA}$ e $9,4 \text{ \AA}$) sugerindo a presença de mica e/ou camadas mistas mica - vermiculita. A intensidade relativa da reflexão a $7,4 \text{ \AA}$ sugere: presença de pequena quantidade de clorita, a qual foi detectada pela análise térmica diferencial (tabela nº 14), ou uma superposição de uma reflexão de terceira ordem do mineral interestratificado a $22,6 \text{ \AA}$ com a quarta ordem da vermiculita. Sendo verdadeira a segunda hipótese, ou ambas as hipóteses, observa-se uma certa regularidade na interestratificação (sequência de reflexões a $22,6 \text{ \AA}$, $11,3 \text{ \AA}$ e $7,4 \text{ \AA}$) que também é sugerida pela diminuição de intensidade havida após o tratamento com MgCl_2 .

Amostra PB-I - os resultados da tabela nº 15 revelam a presença de vermiculita; na tabela nº 16 e figura nº 15 observamos reflexões a $11,5 \text{ \AA}$ e $10,8 \text{ \AA}$, ambas indicando a presença de camadas mistas mica-vermiculita.

Amostra PB-II - os resultados da tabela nº 15 revelaram a presença de vermiculita. A intensidade relativa das reflexões a $7,2 \text{ \AA}$ e $3,61 \text{ \AA}$ (figura nº 15) sugerem a presença de pequena quantidade de clorita, a qual foi detectada pela análise térmica diferencial (tabela nº 14). Na tabela nº 16 e figura 15 observamos reflexões a $9,4 \text{ \AA}$, $4,67 \text{ \AA}$ e $3,13 \text{ \AA}$ que são características do talco. Observa-se ainda (figura 15) a presença de fracas reflexões na região de $11,5 \text{ \AA} - 10,9 \text{ \AA}$ sugerindo a presença de camadas mistas mica-vermiculita, embora que em pequena quantidade.

Amostra PB-III - uma banda a $10,3 \text{ \AA}$ (com picos razoavelmente definidos a $10,5 \text{ \AA}$ e $9,3 \text{ \AA}$) que contrai para $10,1 \text{ \AA}$ com etileno glicol e sob aquecimento a 550°C (tabela nº 15) indica a presença de camadas mistas mica-vermiculita, sendo mica a camada predominante.

5. CONCLUSÕES

A análise granulométrica a seco produziu uma menor quantidade de finos (o que passou na peneira Tyler de nº 28), para a maior parte das amostras estudadas e mostrou ser de execução mais rápida que o método por via úmida.

O "grau de esfoliação" é influenciado pelo diâmetro e espessura das placas - de um modo geral, o "grau de esfoliação" aumentou com o aumento do diâmetro das placas e apresentou menores valores nas espessuras consideradas elevadas (em torno de 1,7 mm).

De um modo geral, o "grau de esfoliação" mostrou uma tendência crescente com o aumento da temperatura, no intervalo examinado. A partir de uma determinada temperatura, que pode ser considerada como temperatura ótima do ensaio, o "grau de esfoliação" tornou-se constante ou mesmo diminuiu para a maior parte das amostras. A temperatura ótima de ensaio variou para as diferentes amostras.

Quatro amostras, PI, BA, PE-I e PB-I, apresentaram valores de massa específica aparente na faixa dos produtos comerciais piroexpandidos e três amostras, PE-II, PB-II e PB-III, apresentaram valores maiores. As quatro amostras referidas inicialmente, além de um maior "grau de esfoliação" apresentaram também maiores teores de material expansível (acima de 79%).

O "grau de esfoliação" médio, calculado a partir do au

mento na espessura das placas, para as amostras PI, BA e PE-I foi de 14 a 18 vezes, dentro portanto da faixa citada na literatura.

Em geral, a capacidade de troca de cations (CTC) das amostras estudadas foi baixa, exceto para as amostras PI e PE-II, que apresentaram valores superiores a 120 meq/100g amostra. Observou-se ainda que a CTC diminuiu a medida que decresceu o teor de água total ($H_2O^- + H_2O^+$) da amostra.

O conjunto de ensaios e análises utilizado permitiu caracterizar as amostras individuais. Principalmente com a análise por difração de raios-x, pudemos constatar a presença de vermiculita em todas as amostras estudadas, sendo que em duas amostras, PE-I e PB-III, a vermiculita está presente apenas na forma de camadas mistas mica-vermiculita (antigamente chamada hidrobiotita).

Em todas as amostras, verificamos a presença de outros minerais - mica, clorita e talco-ora interestratificados ora em mistura com a vermiculita.

Nenhuma relação nítida foi encontrada entre a composição químico-mineralógica e o "grau de esfoliação" das amostras estudadas.

6. SUGESTÕES

Ampliar o intervalo de temperaturas e tempos de residência no forno, no ensaio de massa específica aparente para as amostras que apresentaram valores mínimos de massa específica aparente a 1000°C.

Verificar a influência da temperatura e tempo de secagem sobre o "grau de esfoliação".

Estudar as fases formadas em altas temperaturas.

Complementar a caracterização mineralógica, através da análise por difração de raios-x, das amostras saturadas com outros cátions, como o NH_4^+ e K^+ .

Verificar a possibilidade de utilização na indústria química e na agricultura, em especial para as amostras que apresentaram valores elevados de massa específica aparente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS †

- 1 - Vermiculite mining in South Africa, South African Min. & Eng. J., 69 (3394), 355 Feb. 28 (1958).
- 2 - STELLIN Jr.A., Contribuição à caracterização tecnológica de vermiculitas brasileiras, Tese de Livre Docência, Depto. Eng. de Minas, EPUSP, São Paulo, 1976.
- 3 - MOSILIA, V.A., La vermiculite, Ed. Ulrico Hoepli, Milano, 1967.
- 4 - MORAES, L.J., Vermiculita no Brasil, Bol. Geol. nº 1, Fac. Filosofia Ciências e Letras, USP, São Paulo, 1944.
- 5 - MONT'ALVERNE, A.A.F., Vermiculita e seus aspectos Geoecônômicos, 4º DS, DNPM, MME, Recife, novembro de 1978.
- 6 - BASSETT, W.A., The geology of vermiculite occurrences, Tenth National Conference on Clays and Clay Minerals, 1961.
- 7 - HAINES, S.K., Vermiculite, MCP-19, U.S. Bureau of Mines, Washington, 1978.
- 8 - Anuário Mineral Brasileiro, DNPM, MME, pag. 17, Brasília, 1982.
- 9 - FRÖES ABREU, S., Recursos Minerais do Brasil, Vol. 1, EDUSP, São Paulo, 1973.
- 10 - ROSENBERG, J.P., Estudo de vermiculitas brasileiras, Tese de Doutorado, Instituto de Química da USP, São Paulo, 1972.

- 11 - ARAUJO, E.C., Estudo de vermiculitas - Grangeiro (CE)- Paulistana (PI), DRN, SUDENE, MINTER, Recife, julho de 1977.
- 12 - ARAUJO, E.C., Estudo de vermiculitas do Nordeste, Atas do 8º Simpósio de Geologia do Nordeste, Campina Grande, novembro de 1977.
- 13 - FERRAZ, C.P., Vermiculita - Um importante mineral industrial, Seção Econômica, DNPM, MME, setembro de 1971.
- 14 - Vermiculita, CDRM - Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba, Campina Grande, [1977].
- 15 - MACIEL, P. e GUIMARÃES, J.E.P., A mina de vermiculita do Congonhal, Tatuí, Estado de São Paulo, Bol. Soc. Bras. Geol. 4 (1), 32 (1955).
- 16 - FOSTER, M.D., Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites, Tenth National Conference on Clays and Clay Minerals, 1961.
- 17 - GRIM, R.E., Clay Mineralogy, p.105, Mc Graw Hill, New York, 1968.
- 18 - SOUZA SANTOS, P., Estudos sobre a piroexpansão de vermiculitas brasileiras - uma revisão, Cerâmica 27 (143), 423 (1981).
- 19 - HENDRICKS, S.B. e JEFFERSON, M.E., Crystal structure of vermiculites and mixed vermiculite-chlorites, Am. Mineralogist 23 (12), 281 (1938).
- 20 - MATHIESON, A. MCL. e WALKER, G.F., Crystal structure of Mg-vermiculite, Am. Mineralogist 39 (3-4), 231 (1954).

- 21 - WALKER, G.F., Mechanism of dehydration of Mg-vermiculite, Natl. Acad. Sci., Publ. 456, p.101-115, 1956.
- 22 - WALKER, G.F., Vermiculites and some related mixed-layer minerals, in X-Ray Identification and Structures of Clays, G.W.Brindley, p. 199, Mineralogical Society, London, 1951.
- 23 - WALKER, G.F. e MILNE, A., Hydration of vermiculite saturated with various cations, Trans. Fourth Int.Cong. Soil Sci. Amsterdam, Vol. 2, p. 62-67, 1950.
- 24 - BARSHAD, I., Nature of lattice expansion and its relation to hydration in montmorillonite and vermiculite, Am. Mineralogist 34 (9-10), 675 (1949).
- 25 - SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas, vol. I, EDUSP, São Paulo, 1975.
- 26 - GRIM, R.E., Clay Mineralogy, Mc Graw Hill, New York, 1968.
- 27 - NAVAJAS, R. e SOUZA SANTOS, P., Estudo comparativo de piroexpansão de algumas vermiculitas brasileiras em escala de laboratório, 1^a Reunião Latino-Americana de Mineralurgia, P.M., São Paulo, São Paulo, setembro de 1977.
- 28 - ROSEN, A., Vermiculite in South Africa - Its history and occurrence, South African Min. and Eng. Jour., 58 (2821), 27 Mar. 8 (1947).
- 29 - NORTH, O.S. e CHANDLER, H.P., Vermiculite, Inf. Circ. 7668, U.S. Bureau of Mines, Washington, 1953.

- 30 - Vermiculita, Minebra - Minérios Brasileiros S.A., São Paulo, 1975.
- 31 - Zonolite vermiculites: properties and uses, Construction Products Division, W.R. Grace and Co., 1971.
- 32 - STRAND, P.R., Vermiculite, in Industrial Minerals and Rocks, 4th ed., AIMMPE, New York, 1975.
- 33 - GOLDSTEIN Jr., A., The vermiculites and their utilization, Quart. Color. School Mines 41 (4), 43 (1946).
- 34 - LASCHINGER, J.E., Vermiculite technology, The Mining Journal (London) 222 (5691), 567 Sept. 16 (1944).
- 35 - LASCHINGER, J.E. et alii, Symposium on vermiculite in the foundry, Foundry Trade Journal 92 (1847), 89 Jan. 24 (1952).
- 36 - Chemical processors put vermiculite to work, chemical Engineering 61 (11), 136 (1954).
- 37 - SANDERS, T.P., Vermiculite finding increasing application in oil industry, Oil and Gas Journal 40 (12) , 155 July 31 (1941).
- 38 - ABNT, Determinação da umidade de argamassas, argilas e cimentos refratários, MB-233, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 1961.
- 39 - ABNT, Análise granulométrica de materiais refratários: cimentos, argilas, argamassas, chamotas e concretos, MB-278, Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 1961.

- 40 - NAVAJAS, R. e SOUZA SANTOS, P., Ensaio preliminar de piroexpansão de vermiculita da Bahia em forno-piloto experimental, Rev. Bras. Tecnol. 7 (4), 415 (1976).
- 41 - INT, Determinação da capacidade de troca de cátions (C.T.C.), Instituto Nacional de Tecnologia, Rio de Janeiro.
- 42 - SOUZA SANTOS, P., Tecnologia de Argilas, vol. 1, p.265, EDUSP, São Paulo, 1975.
- 43 - JACKSON, M.L., Soil Chemical Analysis - Advanced Course, 2nd Ed., 11th printing, published by the autor, Madison, Wisconsin, 53705, 1979.
- 44 - BRITISH STANDARDS INSTITUTION, Method for determination of apparent density after compaction of precipitated calcium carbonate, B.S. 1460, London, 1967.
- 45 - Mc MILLAN, W.D. e GERHARDT, A.W., Investigation and laboratory testing of vermiculite deposits, Llano County, Tex., R.I. 4486, U.S. Bureau of Mines, Washington, 1949.
- 46 - ROSENBERG, J.P., Estudo de vermiculitas brasileiras, p.140, Tese de Doutorado, Instituto de Química da USP, São Paulo, 1972.
- 47 - GAUDETTE, H.E., Magnesium vermiculite from the twin sisters mountains - Washington, Am. Mineralogist 49 (11-12), 1754 nov. - dec. (1964).
- 48 - BASSETT, W.A., Copper vermiculites from Northern Rhodesia, Am. Mineralogist 43 (11-12), 1112 nov. - dec. (1958).

- 49 - ERNST, Jr., W.S. et alii, Effects of the exchangeable ion on the dehydration properties of vermiculite, Am. Cer. Soc. J. 41 (7), 238 (1958).
- 50 - WARSHAW, C.M. e ROY, R., Classification and a scheme for the identification of layer silicates, Geol.Soc. America Bull. 72, 1455 (1961).
- 51 - WEAVER, C.E., The distribution and identification of mixed-layer clays in sedimentary rocks, Am. Mineralogist 41 (3-4), 202 (1956).
- 52 - ILDEFONSE, P. et alii, A soil vermiculite formed from a meta-gabbro, Loire-Atlantique, France, Clay Minerals 14, 201 (1979).

TABELAS

Tabela nº 1 - Reservas brasileiras de vermiculita em
1981^(*) (em toneladas)

Estados e Municípios	Quantidade (t)		
	Medida	Indicada	Inferida
Total	9.145.281	2.959.364	435.084
Bahia	1.747.726	1.612.265	270.000
Brumado	1.747.726	1.612.265	270.000
Goiás	5.465.924	6.900	39.894
Catalão	5.257.402	-	-
Jussara	6.900	6.900	-
Sanc.erlandia	201.622	-	39.894
Minas Gerais	-	5.067	15.000
Cipotânea	-	5.067	15.000
Paraná	71.174	35.725	51.150
Campina Grande do Sul	71.174	35.725	51.150
Piauí	1.860.457	1.299.407	59.040
Paulistana	1.860.457	1.299.407	59.040

(*) Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - Ed. 1982 (8)

Obs.: As reservas aqui computadas são apenas aquelas aprovadas pelo DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, através de relatórios de pesquisa e relatórios anuais de lavra.

Tabela nº 2 - Produção brasileira de vermiculita nos anos de 1977 a 1981 (em toneladas)

Anos	Vermiculita bruta
1977	6.833
1978	19.611
1979	10.496
1980	35.466
1981	77.997

Fonte: Anuário Mineral Brasileiro - Ed. 1982

Tabela nº 3 - Espaçamento basal e espessura da camada d'água da vermiculita saturada com diferentes cátions, segundo Walker e Milne (22), (23).

Cátion	Diâmetro Iônico (Å)	d_{002}° (Å)	Espessura da camada d'água (Å) (*)
Li ⁺	1,56	12,2	2,94
Na ⁺	1,96	14,8	5,54
K ⁺	2,66	10,6	1,34
NH ₄ ⁺	2,86	10,8	1,54
Be ⁺⁺	0,68	14,7	5,44
Mg ⁺⁺	1,56	14,36	5,10
Ca ⁺⁺	2,12	15,0	5,74
Sr ⁺⁺	2,54	15,0	5,74
Ba ⁺⁺	2,86	12,3	3,04
Al ⁺⁺⁺	1,14	14,1	4,84

(*) A espessura da camada básica de talco foi considerada 9,26 Å.

Tabela nº 4 - Umidade da vermiculita crua

Amostras	Umidade (*) (%)
PI	7,8
BA	3,4
PE-I	4,3
PE-II	13,1
PB-I	4,0
PB-II	7,8
PB-III	1,4

(*) Umidade natural da vermiculita bruta, tal como foi rece
bida.

Tabela nº 5 - Análise granulométrica em peneiras, a úmido e a seco da vermiculita crua
(Em % retida acumulada)

(continua)

Diâmetro equivalente das partículas	Amostras													
	PI		BA		PE-I		PE-II		PB-I		PB-II		PB-III	
	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S
Retido na peneira de A = 12,7 mm	13,1	6,0	16,8	9,8	69,5	72,8	1,8	10,8	25,5	7,2	4,2	13,2	7,4	1,5
Retido na peneira de A = 6,3 mm	33,1	24,7	32,5	30,2	88,8	93,0	7,6	36,6	53,5	34,2	20,3	39,6	15,1	14,0
Retido na peneira de A = 3,4 mm	45,6	38,4	43,8	46,7	94,3	97,3	16,2	57,8	68,5	50,2	35,9	62,8	27,2	31,4
Retido na peneira de A = 1,2 mm	62,0	59,7	58,0	71,0	96,8	99,0	35,5	84,0	84,8	74,6	61,0	85,5	61,1	69,1
Retido na peneira de A = 0,6mm	73,2	71,5	69,3	82,9	97,7	99,4	55,2	92,6	94,2	89,1	76,7	92,6	84,1	89,3

Tabela nº 5 - Análise granulométrica em peneiras, a úmido e a seco da vermiculita crua
(Em % retida acumulada)

(conclusão)

Diâmetro equi- valente das partículas	Amostras													
	PI		BA		PE-I		PE-II		PB-I		PB-II		PB-III	
	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S
Passou na pe- neira A = 0,6 mm	99,8	99,9	100,0	99,9	100,1	100,0	100,1	99,6	100,0	100,0	99,9	99,9	100,0	100,0

U - análise granulométrica a úmido

S - análise granulométrica a seco

A - abertura

Tabela nº 6 - Massa específica aparente da vermiculita expandida com diferentes granulometrias (Em g/cm³). Temperatura de Esfoliação: 800°C e Tempo de residência: 5 minutos.

(continua)

Diâmetro equiva lente das par tículas	Amostras													
	PI		BA		PE-I		PE-II		PB-I		PB-II		PB-III	
	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S
Retido na peneira de A = 12,7 mm	0,10	0,12	0,12	0,13	0,15	0,13	0,47	0,38	0,18	0,18	0,34	0,49	0,91	0,43
Retido na peneira de A = 6,3 mm	0,14	0,13	0,12	0,14	0,14	0,14	0,26	0,37	0,18	0,17	0,42	0,45	0,48	0,42
Retido na peneira de A = 3,4 mm	0,18	0,17	0,14	0,17	0,14	0,14	0,29	0,42	0,18	0,18	0,38	0,48	0,42	0,39
Retido na peneira de A = 1,2 mm	0,18	0,20	0,22	0,25	0,18	0,15	0,31	0,39	0,18	0,18	0,41	0,48	0,38	0,40

Tabela nº 6 - Massa específica aparente da vermiculita expandida com diferentes granulometrias (Em g/cm³). Temperatura de Esfoliação: 800°C e Tempo de residência: 5 minutos.

(conclusão)

Diâmetro equiva lente das par tículas	Amostras													
	PI		BA		PE-I		PE-II		PB-I		PB-II		PB-III	
	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S	U	S
Retido na peneira de A = 0,6 mm	0,25	0,28	0,35	0,38	0,70	0,60	0,34	0,42	0,19	0,19	0,45	0,54	0,43	0,41
Passou na peneira de A = 0,6 mm	0,59	0,64	0,75	0,73	1,08	1,00	0,57	0,57	0,31	0,30	0,65	0,94	0,63	0,56

U - Fração granulométrica proveniente da análise granulométrica a úmido

S - Fração granulométrica proveniente da análise granulométrica a seco

A - Abertura

Tabela nº 7 - Massa específica aparente em g/cm^3 da vermiculita expandida em diferentes temperaturas. Tempo de residência: 5 minutos. Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.

Temperatura (°C)	Amostras						
	PI	BA	PE-I	PE-II	PB-I	PB-II	PB-III
600	0,19	0,14	0,15	0,58	0,21	0,64	0,43
700	0,17	0,14	0,14	0,45	0,20	0,59	0,41
800	0,17	0,17	0,14	0,42	0,18	0,48	0,39
900	0,17	0,13	0,13	0,39	0,18	0,46	0,39
1000	0,17	0,13	0,13	0,42	0,17	0,38	0,36

Tabela nº 8 - Massa específica aparente em g/cm^3 da vermiculita expandida em diferentes tempos de residência. Temperatura de esfoliação: 800°C. Granulometria: entre as peneiras Tyler de 1/4" e nº 6.

Tempo de residência (min)	Amostras						
	PI	BA	PE-I	PE-II	PB-I	PB-II	PB-III
3	0,12	0,12	0,14	0,40	0,18	0,42	0,38
5	0,17	0,17	0,14	0,42	0,18	0,48	0,39
8	0,14	0,13	0,12	0,39	0,18	0,47	0,39
10	0,13	0,12	0,12	0,39	0,18	0,48	0,40

Tabela nº 9 - Grau de esfoliação de vermiculitas do Nordeste (calculado a partir do aumento na espessura das placas).

Amostras	Espessura inicial (mm)	Espessura após expansão (mm)	Grau de esfoliação (*)	Grau de esfoliação médio (*)
PI	0,4	10,0	25	18
	0,5	9,0	18	
	0,6	9,8	16	
	0,7	10,5	15	
	0,8	11,9	15	
	1,0	17,7	18	
	1,1	21,8	20	
	1,7	23,1	14	
PE-I	0,5	9,5	19	16
	0,6	10,1	17	
	0,7	10,2	15	
	0,8	11,3	14	
	0,9	13,4	15	
	1,2	18,4	15	
	1,4	22,0	16	
	1,9	24,5	13	
BA	0,3	3,9	13	14
	0,5	4,8	10	
	0,6	5,2	9	
	0,9	14,1	16	
	1,0	17,4	17	
	1,2	20,9	17	
	1,5	24,7	17	
	1,7	18,6	11	

(*) O grau de esfoliação indica o número de vezes que a espessura aumentou.

Tabela nº 10 - Rendimento ou teor de material expansível da vermiculita expandida

Amostras	Rendimento (*) (%)
PI	87,73
BA	79,27
PE-I	98,65
PE-II	45,65
PB-I	90,93
PB-II	36,34
PB-III	38,96

(*) Média aritmética de 3 determinações

Tabela nº 11 - Análises químicas das vermiculitas

Determinações (%)	Amostras						
	PI	BA	PE-I	PE-II	PB-I	PB-II	PB-III
Umidade	9,67	1,89	3,86	10,84	4,46	7,80	1,90
Perda a 1000°C	10,55	3,60	5,62	8,62	6,36	8,39	5,60
SiO ₂	34,50	44,34	33,76	34,07	35,93	43,53	33,65
Al ₂ O ₃	10,62	16,90	16,40	15,70	17,55	11,14	15,92
Fe ₂ O ₃	3,62	3,12	20,01	7,50	8,56	5,26	21,91
FeO	0,43	1,15	0,65	0,36	1,65	0,93	0,86
TiO ₂	0,47	0,57	1,64	0,48	0,37	0,37	1,45
P ₂ O ₅	0,09	0,13	0,05	0,10	0,08	0,07	0,11
CaO	5,04	0,90	1,82	1,47	0,87	1,26	0,98
MgO	23,81	20,71	9,90	18,85	18,24	20,72	10,02
Na ₂ O	0,67	0,82	0,60	1,75	0,75	0,40	0,72
K ₂ O	0,73	6,02	5,66	0,20	4,82	0,07	5,66
NiO	0,03	0,01	0,02	0,13	0,04	0,14	0,02
MnO	0,03	0,15	0,31	0,03	0,09	0,08	0,55
Cr ₂ O ₃	0,13	0,01	0,01	0,37	0,14	0,13	0,22
Total	100,39	100,32	100,31	100,47	99,91	100,29	99,57

Tabela nº 12 - pH das dispersões aquosas das vermiculitas

Amostras	pH em água destilada
PI	8,70
BA	8,50
PE-I	8,20
PE-II	9,50
PB-I	8,30
PB-II	8,50
PB-III	8,00

Tabela nº 13 - Capacidade de troca de cátions e teor de cátions trocáveis das vermiculitas do Nordeste Brasileiro.

Cátions trocáveis e CTC total em meq/100g de amostra	Amostras						
	PI	BA	PE-I	PE-II	PB-I	PB-II	PB-III
Ca	38,65	5,32	24,98	21,13	4,62	1,74	4,09
Mg	93,68	25,79	14,15	54,14	45,79	82,05	15,12
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₃ O ⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	1,78	1,38	0,54	45,91	0,60	0,45	1,41
K	4,09	3,77	1,89	0,68	5,21	1,04	2,63
CTC total	138,20	36,26	41,56	121,86	56,22	85,28	23,25

Tabela nº 14 Análise térmica diferencial de vermiculitas do Nordeste Brasileiro

(continua)

Amostras	Natureza da reação	Temperatura da reação (°C)	Observações
PI	endotérmica	112	- perda de água líquida (*)
	"	220	- perda de água rígida coordenada aos cátions trocáveis (**)
	"	686	- desidroxilação de clorita
	"	822	- perda de $[\text{OH}]^-$ e destruição da estrutura
	exotérmica	852	- formação de nova fase
PB-II	endotérmica	110	- perda de água líquida (*)
	"	220	- perda de água rígida coordenada aos cátions trocáveis (**)
	"	560	- desidroxilação de clorita
	"	820	- perda de $[\text{OH}]^-$ e destruição da estrutura
	exotérmica	856	- formação de nova fase

Tabela nº 14 Análise térmica diferencial de vermiculitas do Nordeste Brasileiro

(continua)

Amostras	Natureza da reação	Temperatura da reação (°C)	Observações
PE-II	endotérmica	112	- perda de água líquida (*)
	"	220	- perda de água rígida coordenada aos cátions trocáveis (**)
	"	560	- desidroxilação de clorita
	"	830	- perda de $[\text{OH}]^-$ e destruição da estrutura
	exotérmica	856	- formação de nova fase
BA	endotérmica	110	- perda de água líquida (*)
	"	226	- perda de água rígida coordenada aos cátions trocáveis (**)
PB-I	endotérmica	108	- perda de água líquida (*)
	"	220	- perda de água rígida coordenada aos cátions trocáveis (**)
	"	856	- perda de $[\text{OH}]^-$ e destruição da estrutura de vermiculita
	"	1120	- perda de estrutura da biotita

Tabela nº 14 Análise térmica diferencial de vermiculitas do Nordeste Brasileiro

(conclusão)			
Amostras	Natureza da reação	Temperatura da reação (°C)	Observações
PE-I	endotérmica	64	- perda de água líquida (*)
	"	1130	- destruição da estrutura de biotita
PB-III	endotérmica	60	- perda de água líquida (*)
	"	1100	- perda de estrutura da biotita

(*) "unbound water"

(**) "bound water"

Tabela nº 15 Difração de Raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Espaçamentos basais em Angströns

Amostras	Amostras secas	Tratadas com etileno glicol	Aquecidas à 550°C	Tratadas com MgCl ₂	Conclusão
PI	14,7	14,0	14,3 (*)	14,7	Vermiculita e clo_rita
BA	14,5	14,5	14,0 (*)	14,5	Vermiculita e clo_rita
PE-I	10,8	9,7	9,9	10,5 (**)	Camadas mistas mi_ca + vermiculita
PE-II	15,0	14,0	9,5	14,7 (*)	Vermiculita
PB-I	14,3	14,3	9,9	14,3	Vermiculita
PB-II	14,5	14,7	9,4	14,5	Vermiculita
PB-III	10,3	10,1	10,1	10,7	Camadas mistas mi_ca + vermiculita

(*) - diminuição de intensidade

(**)- aumento de intensidade

Tabela nº 16 - Difração de raios-X de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Reflexões apresentadas pelas amostras secas com orientação preferencial

(continua)

Índices de Miller	Amostras			
	PI	BA	PE-I	PE-II
	d (Å)			
v 002- c 001	14,7	14,5	*	15,0
v+m camadas mistas	11,5	11,5	10,8	11,3
m 001	9,7	10,1	10,1	9,7
v 004 - c 002	7,2	7,2	*	7,4
m 002	*	5,0	*	4,90
v 006 - c 003	4,82	4,80	*	*
v 020 - m 020	*	*	*	4,60
v 022; 112	*	4,28	*	*
v 008 - m 112̄ - c 004	3,62	3,61	*	3,65
m 003; 022	3,38	3,36	3,39	3,34
v 0,0,10-m 113̄-c 005	2,90	2,89	*	2,92
v 132̄;200-m 130;201̄;200;131̄-c 202̄	*	2,62	2,61	2,65
v 132 - c 201	2,56	*	*	2,59
m 004; 113	*	2,53	*	2,54
v 134 -m 132̄;201 - c 202	2,40	2,45	*	2,40
v 206; 208̄ - c 203	2,20	*	*	*
v 0,0,14 - c 007	2,06	2,04	*	*
m 005	2,02	2,02	2,01	*
v 2,0,12	*	1,82	*	*
m 153; 135̄; 204	1,684	1,678	1,672	*
v 2,0,14 - m 060 - v 060	1,542	1,542	1,533	1,535

v = vermiculita

m = mica

c = clorita

* - não apresentou reflexão

Tabela nº 16 - Difração de raios-x de vermiculitas do Nordeste Brasileiro. Reflexões apresentadas pelas amostras secas com orientação preferencial

Índices de Miller	(conclusão)		
	Amostras		
	PB-I	PB-II	PB-III
	d (Å)		
v 002	14,3	14,5	*
v + m camadas mistas	11,5	*	*
v + m camadas mistas	10,8	*	10,3
t	*	9,4	*
v 004	7,1	7,2	*
m 002	5,0	*	*
v 006	*	4,82	*
t	*	4,67	*
v 008	*	3,61	*
m 022	3,40	*	3,40
m 003	*	3,34	*
t	*	3,13	*
v 0.0.10; m $11\bar{3}$	2,89	2,89	*
m 130; $20\bar{1}$	2,64	*	*
v 0.0.14	*	2,06	*
m 005	2,02	*	2,02
t	*	1,87	*
v 2.0.12	*	1,82	*
m 135; 204	*	*	1,670
v 2.0.14 ; 060	1,537	1,542	*

v = vermiculita

m = mica

t = talco

* - não apresentou reflexão

FIGURAS



Figura 1 - Um aspecto da jazida de Massapê em Paulistana-PI



Figura 1 - Um aspecto da jazida de Massapê em Paulistana-PI

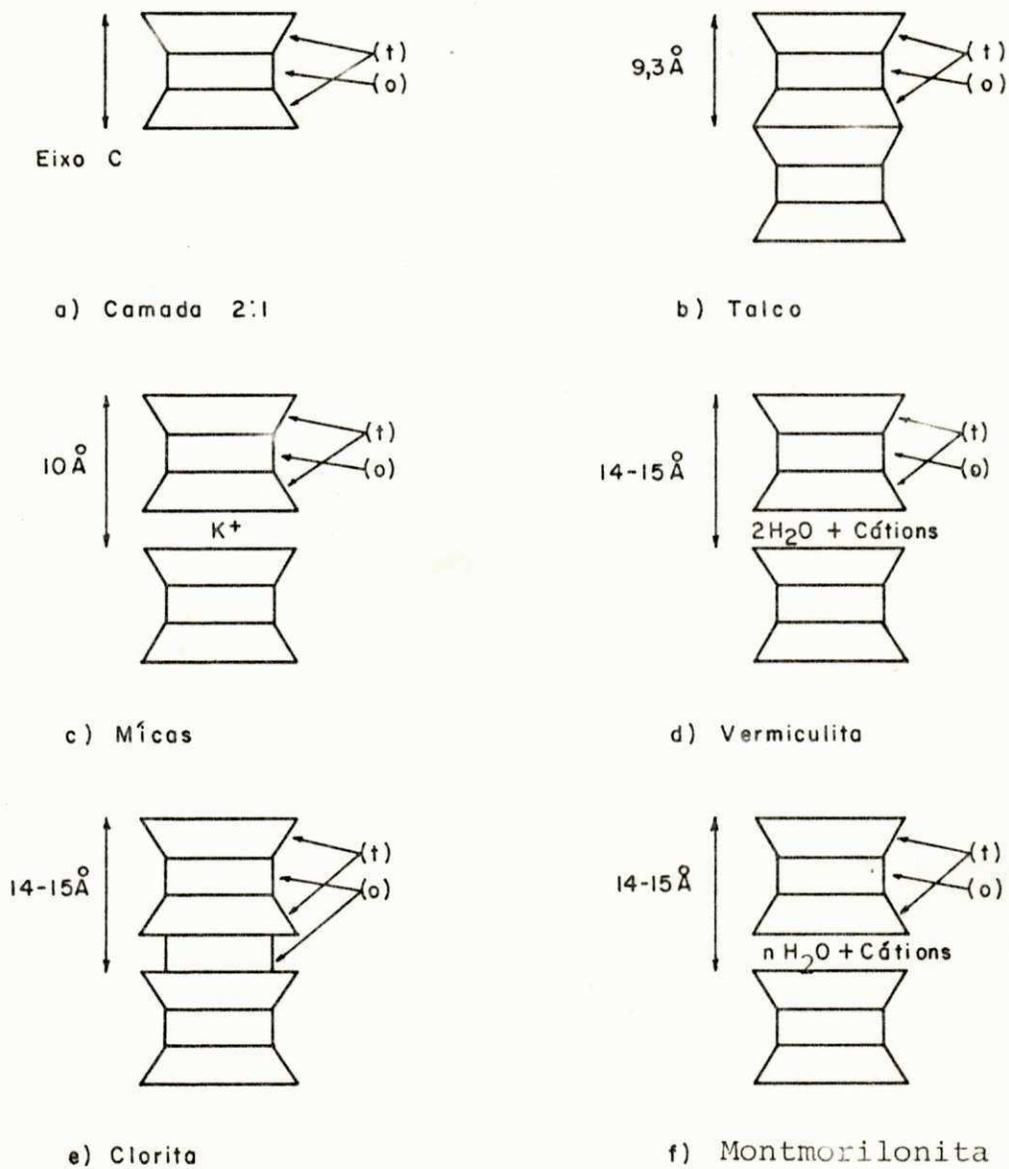


FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ESTRUTURA UNITÁRIA DE ALGUNS ARGILOMINERAIS.



Figura 3 - Equipamento utilizado na medição da massa específica aparente



Figura 4 - Ensaio de rendimento

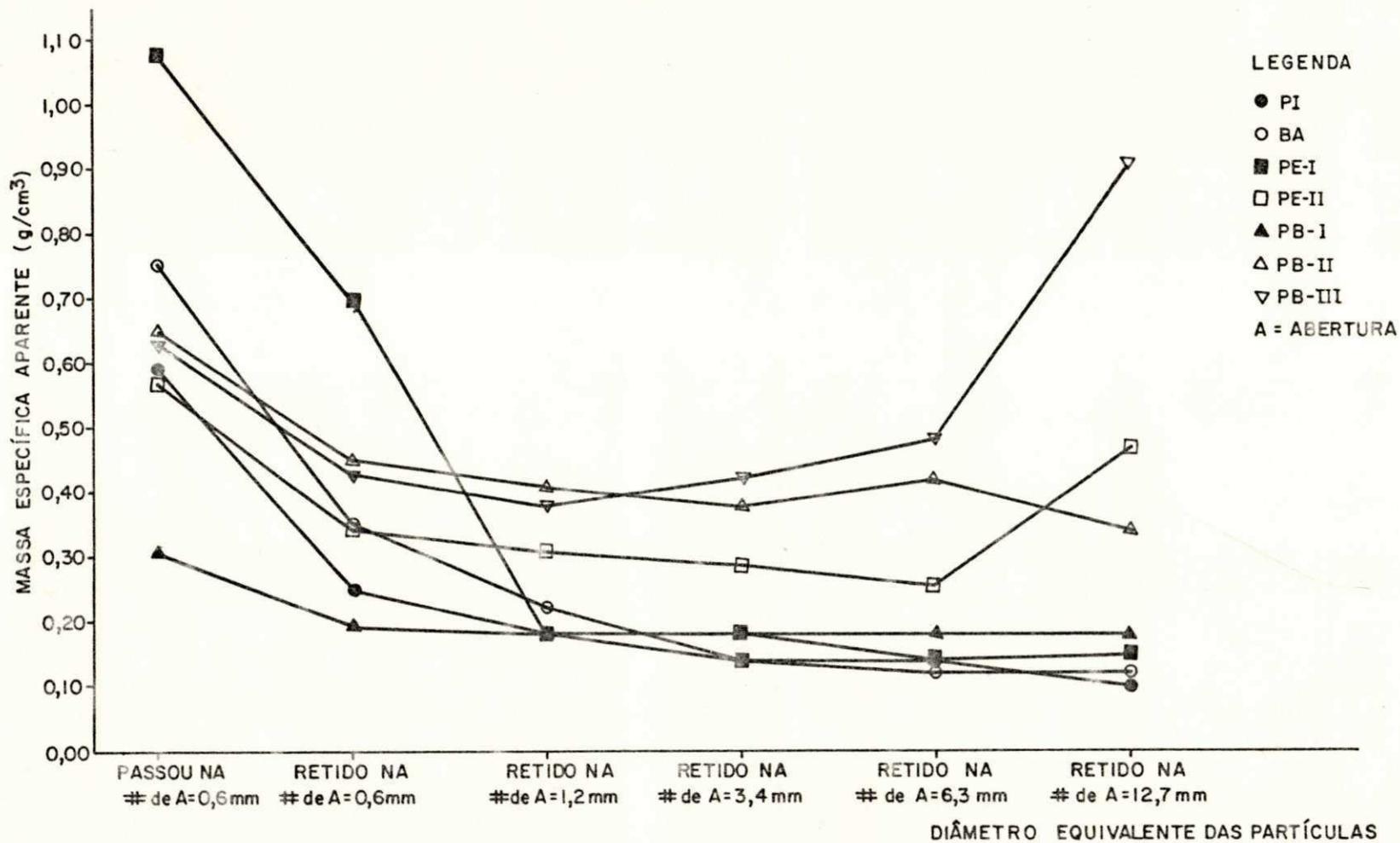


FIGURA 5 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA VERMICULITA EXPANDIDA EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA. TEMPERATURA DE EXFOLIAÇÃO: 800°C - TEMPO DE RESIDÊNCIA: 5 MINUTOS - MATERIAL PROVENIENTE DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA A ÚMIDO.

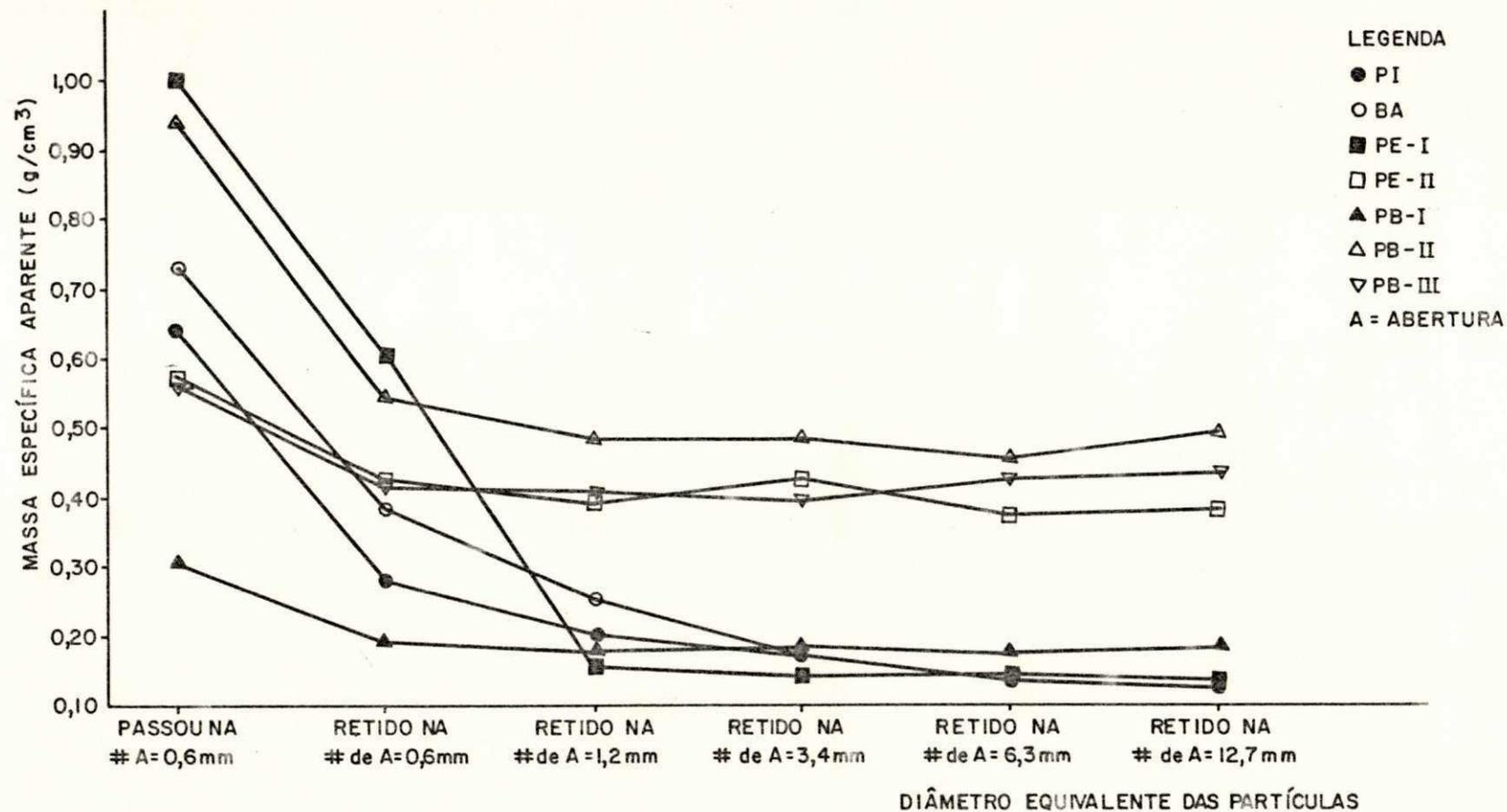


FIGURA 6 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA VERMICULITA EXPANDIDA EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA. TEMPERATURA DE EXFOLIAÇÃO: 800°C - TEMPO DE RESIDÊNCIA: 5 MINUTOS - MATERIAL PROVENIENTE DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA A SECO.

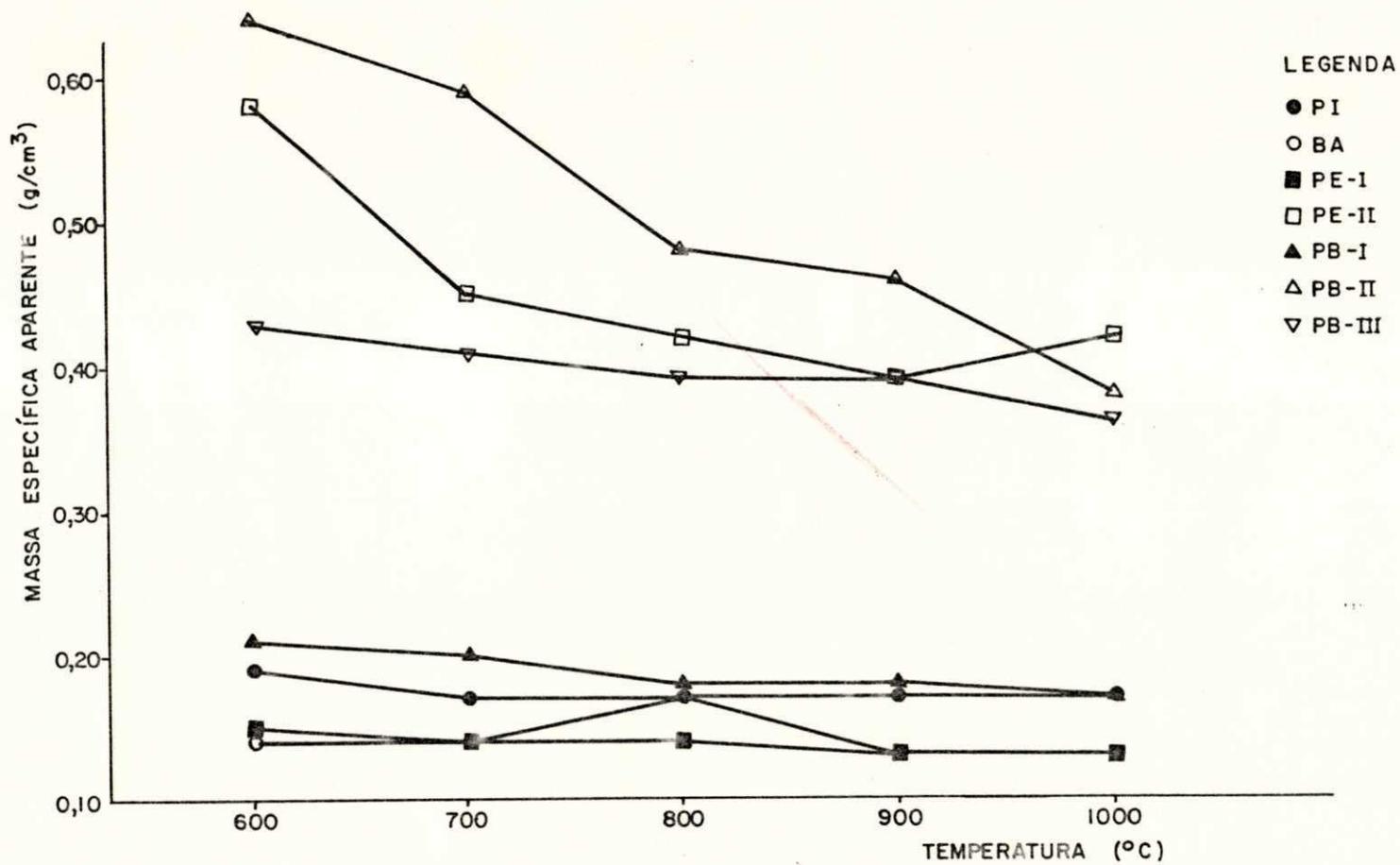


FIGURA 7 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA VERMICULITA EXPANDIDA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA. TEMPO DE RESIDÊNCIA: 5 MINUTOS. GRANULOMETRIA: ENTRE AS PENEIRAS TYLER DE 1/4" E Nº 6.

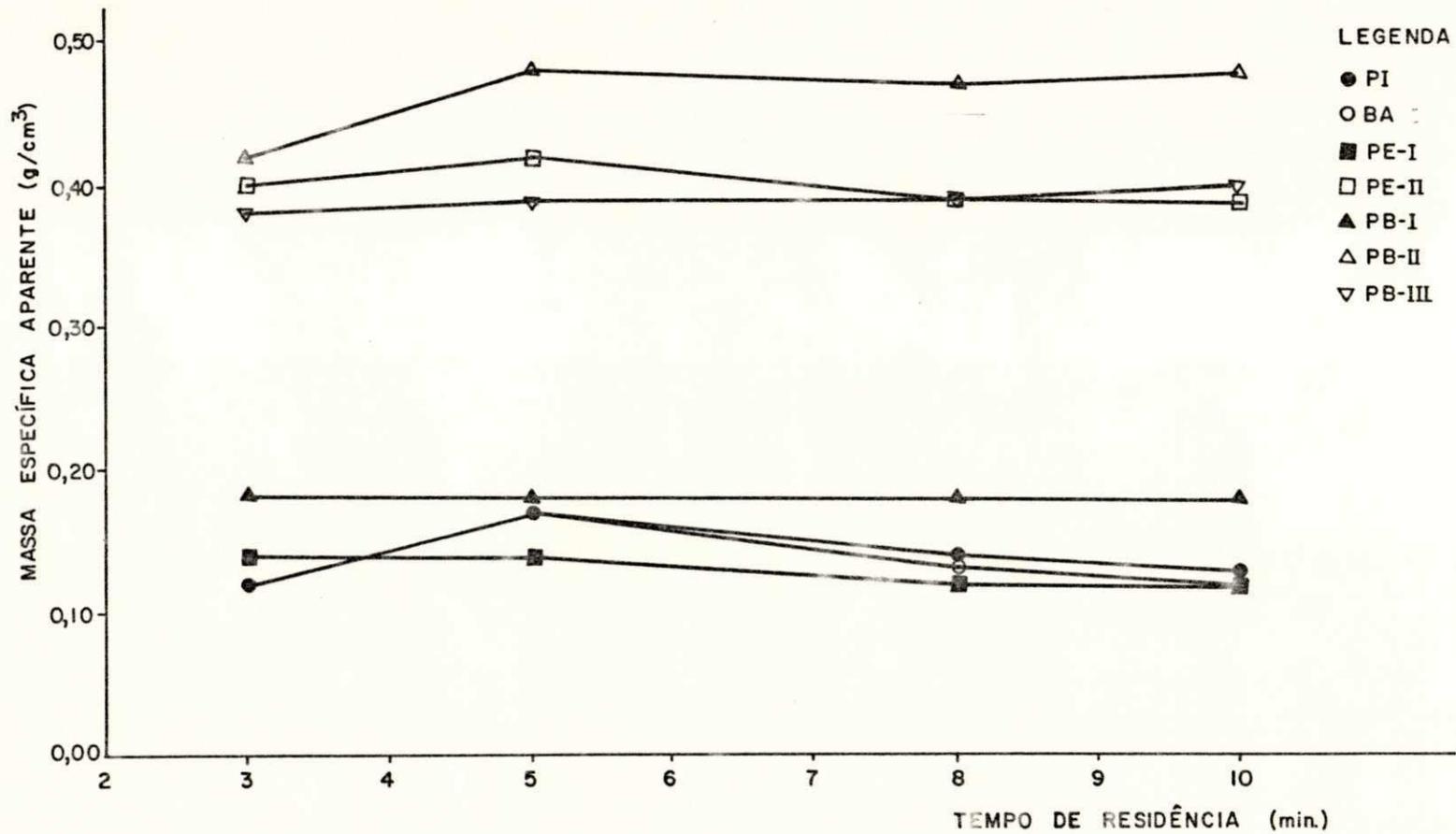


FIGURA 8 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE DA VERMICULITA EXPANDIDA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA. TEMPERATURA DE PIROEXPANSÃO: 800°C. GRANULOMETRIA ENTRE AS PENEIRAS TYLER DE 1/4" E Nº 6.

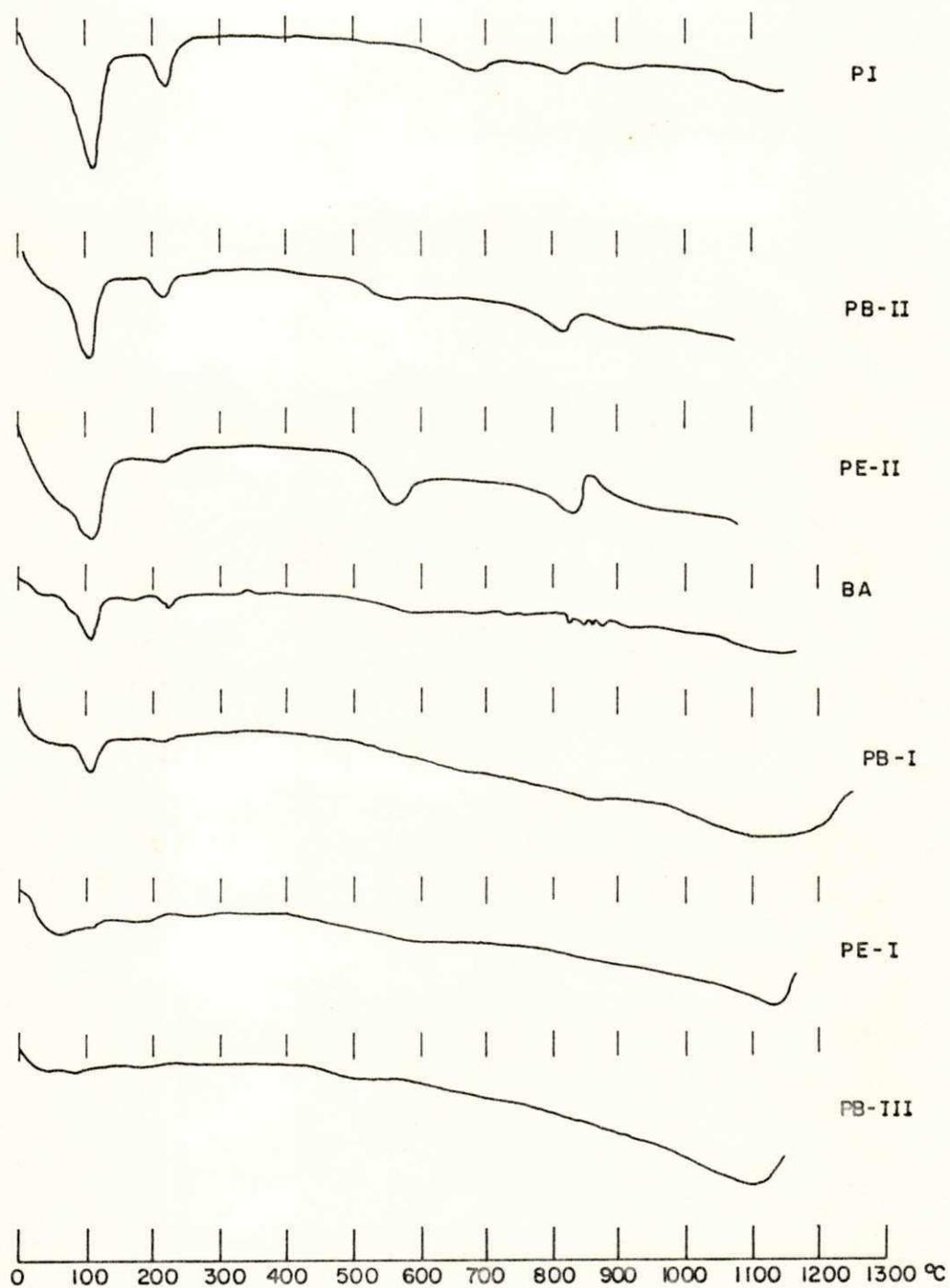


FIGURA 9 - TERMOGRAMAS DE VERMICULITAS NORDESTINAS.

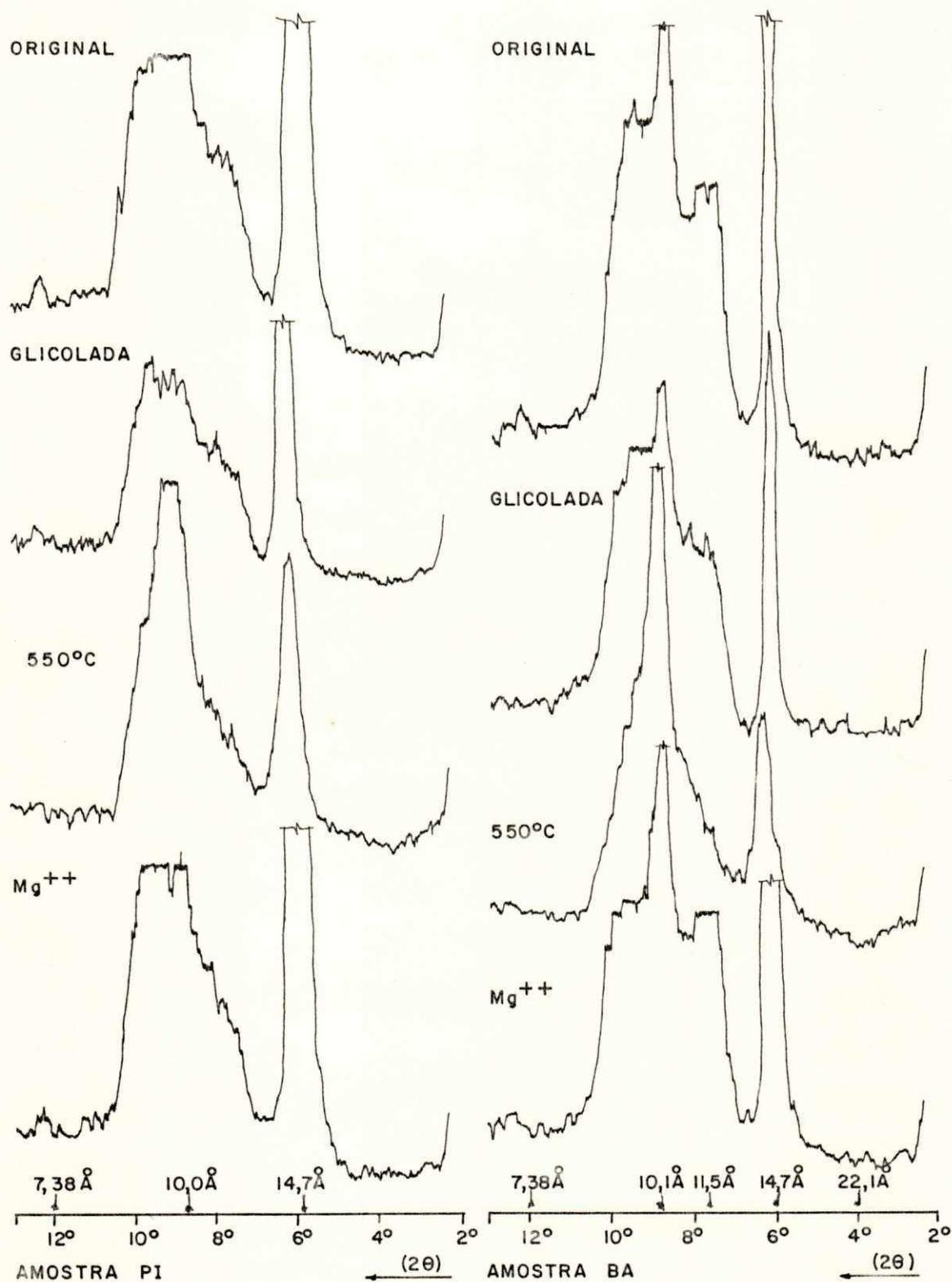


FIGURA 10 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM DIFERENTES TRATAMENTOS.

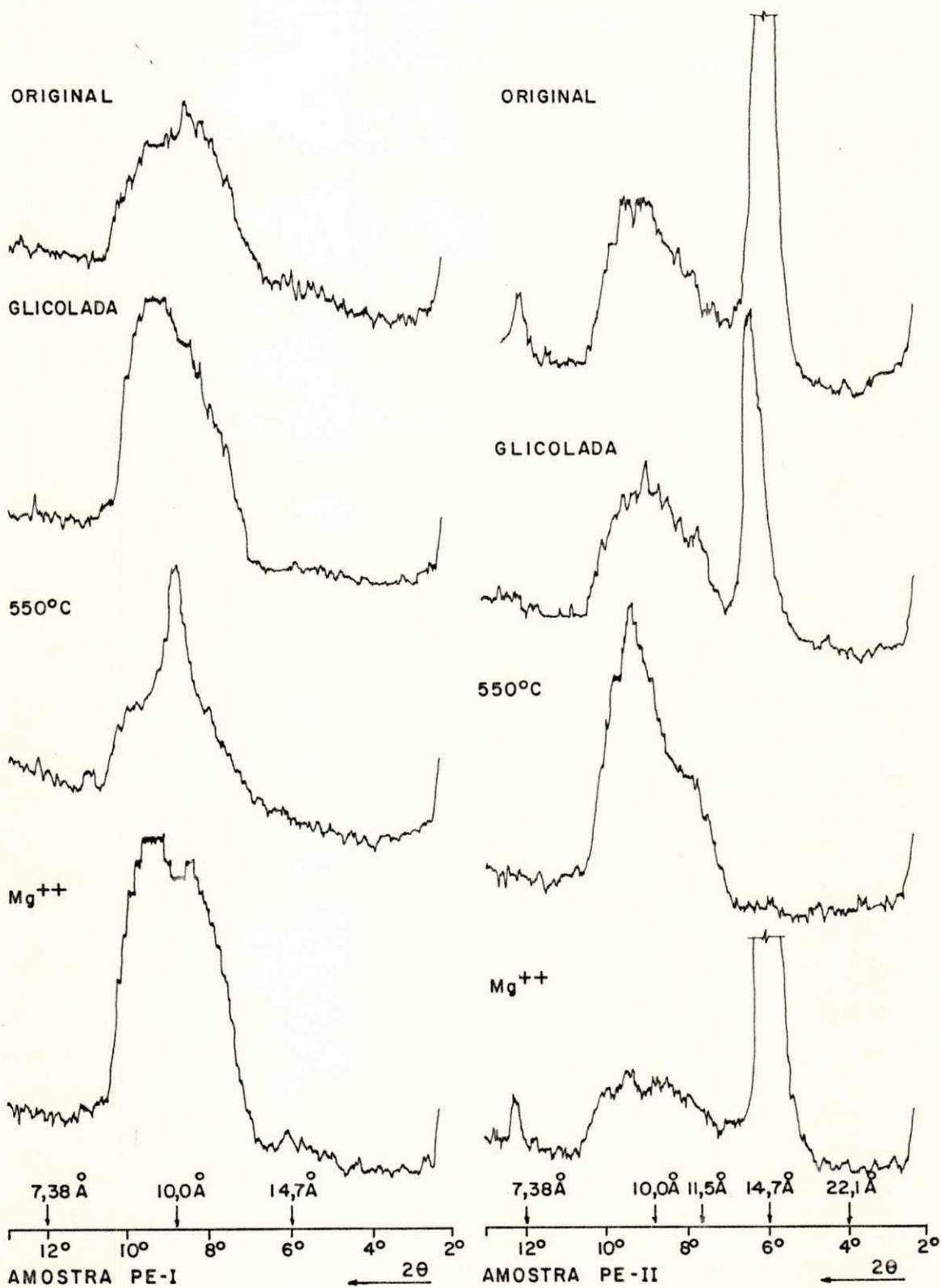


FIGURA II - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM DIFERENTES TRATAMENTOS.

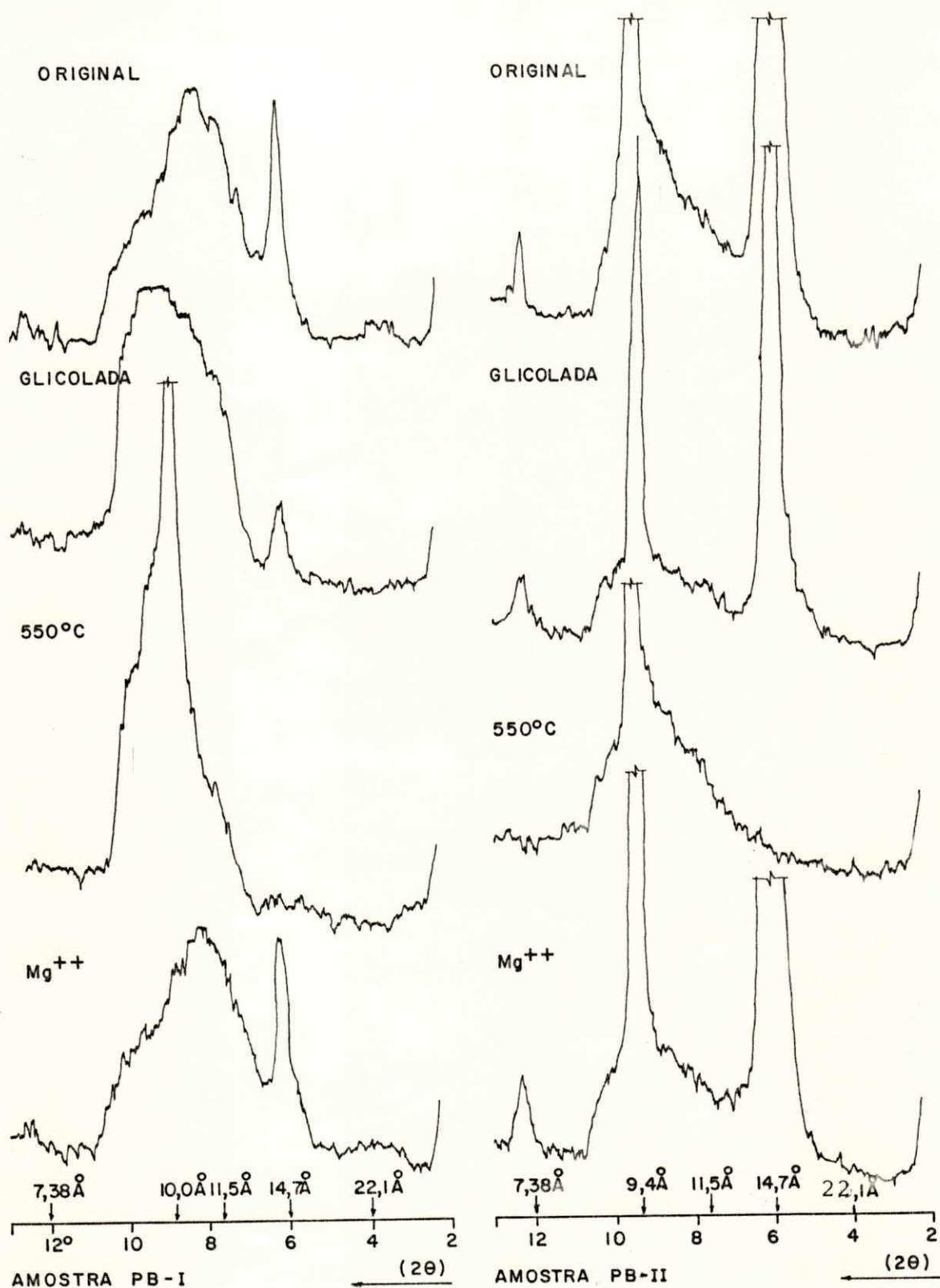


FIGURA 12 - DIFRATOGRAMAS DAS AMOSTRAS COM DIFERENTES TRATAMENTOS.

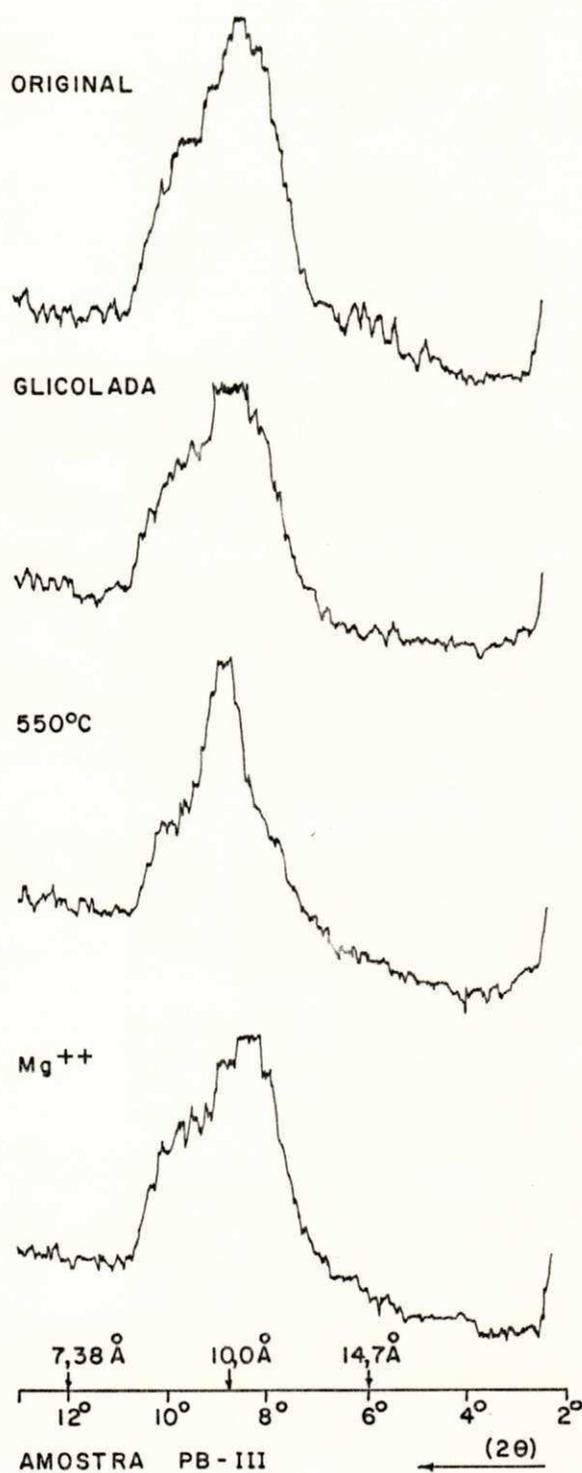


FIGURA 13 - DIFRATOGRAMAS DA AMOSTRA COM DIFERENTES TRATAMENTOS.

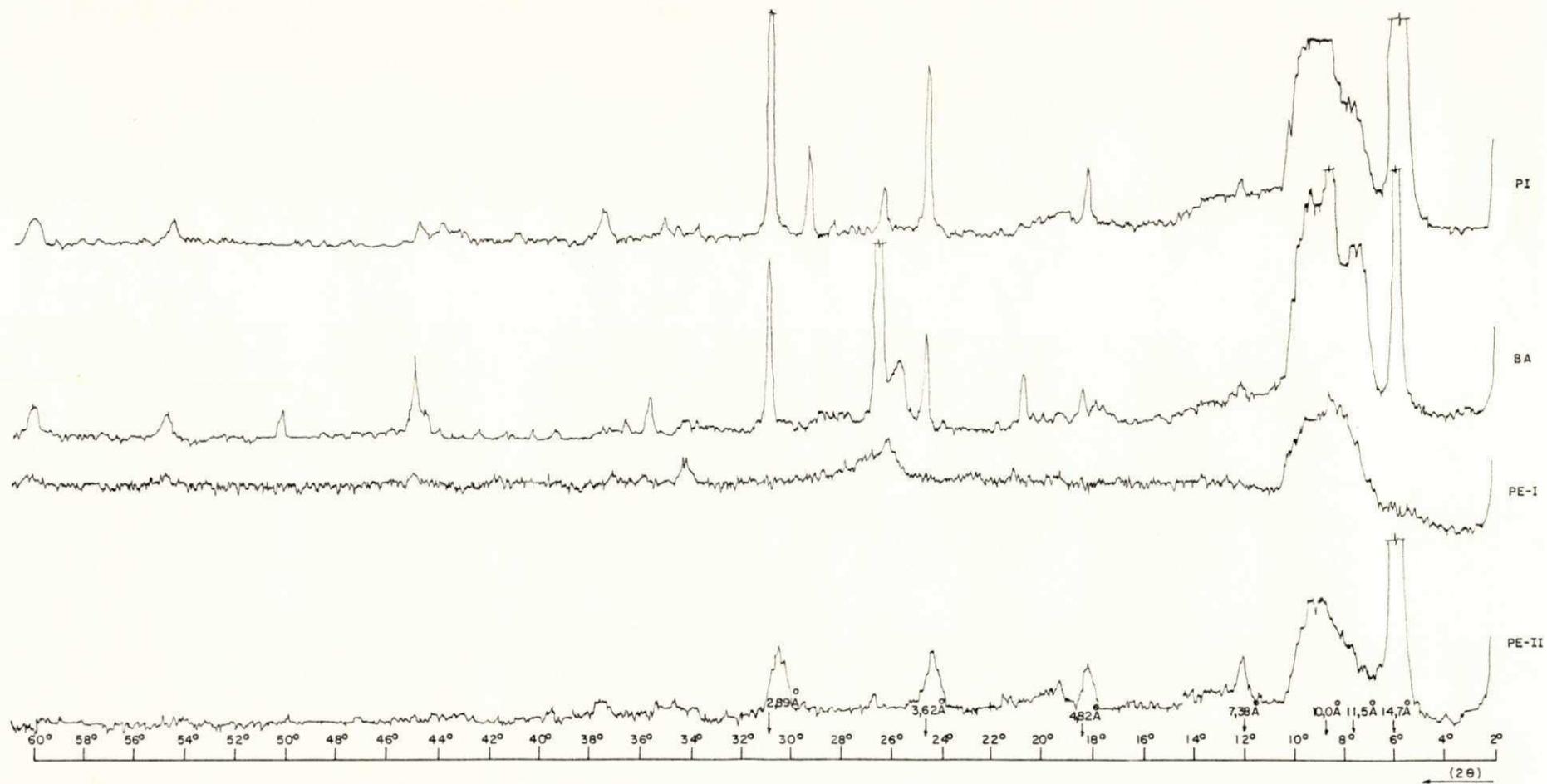


FIGURA 14 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DAS AMOSTRAS DE VERMICULITA SECAS AO AR, COM ORIENTAÇÃO PREFERENCIAL.

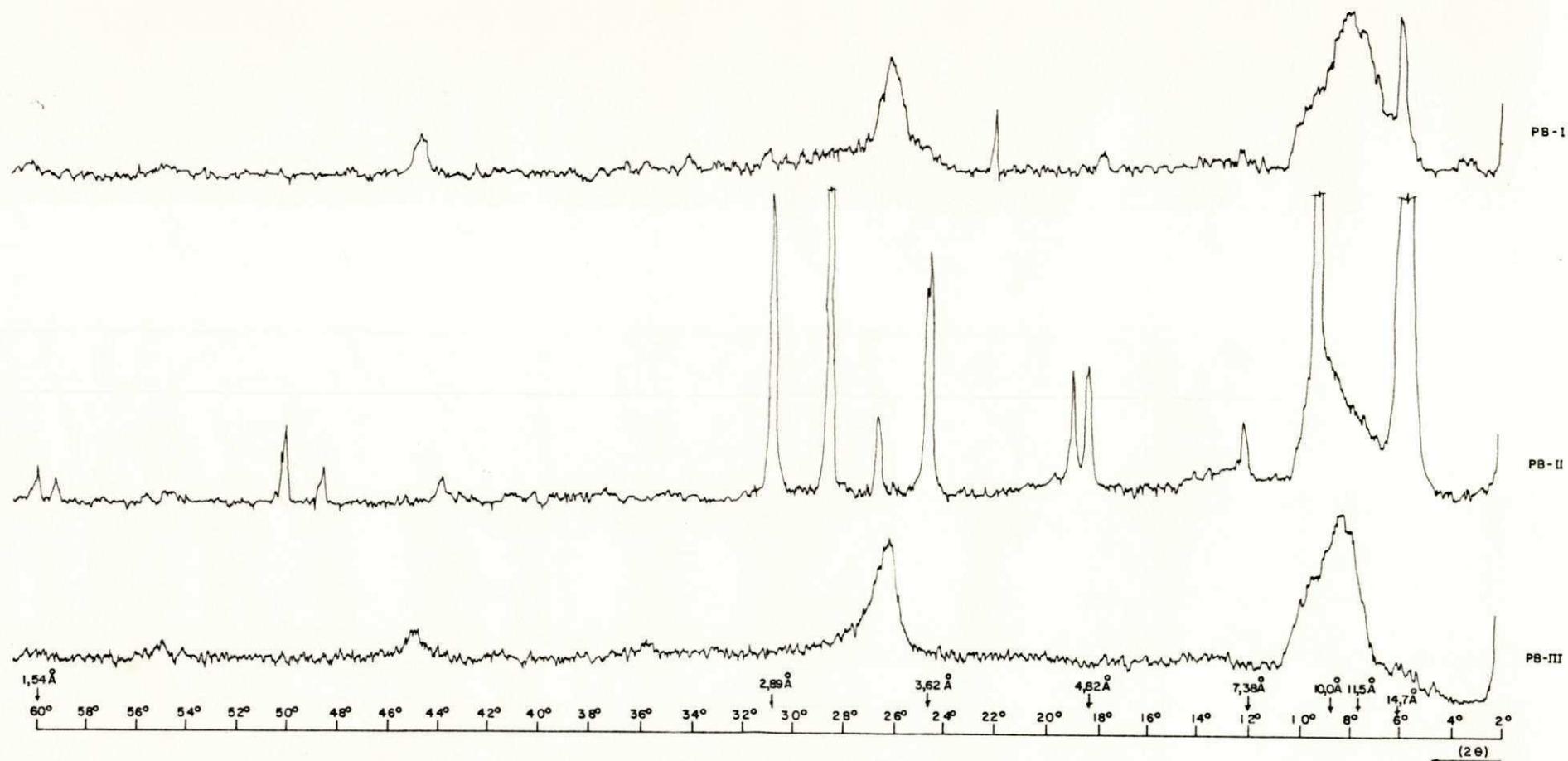


FIGURA 15 - DIFRATOGRAMAS DE RAIOS-X DAS AMOSTRAS DE VERMICULITA SECAS AO AR, COM ORIENTAÇÃO PREFERENCIAL.