

## **4 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E MINERALÓGICA**

### **4.1 Considerações Iniciais**

Para o desenvolvimento do trabalho proposto foram realizados ensaios de caracterização geotécnica, mineralógica, permeabilidade e resistência em amostras indeformadas provenientes de oito blocos, conforme mostrado no Capítulo 3.

Ressalta-se que os ensaios foram realizados de acordo com técnicas e procedimentos que garantissem o aspecto de repetibilidade dos mesmos.

Os ensaios a seguir descritos foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil (LEC), no Departamento de Solos e no Núcleo de Microscopia e Microanálises, todos da Universidade Federal de Viçosa, MG.

### **4.2 Ensaios de Caracterização Física**

Sabe-se que o comportamento de um solo depende da quantidade relativa de cada uma das três fases que o compõem, ou seja, fase sólida, fase líquida e do ar. Diversas relações são empregadas para expressar as suas grandezas, sendo que as propriedades-índices básicas são as que possibilitam a classificação e identificação do material.

Observa-se que os procedimentos para a realização da caracterização física consideraram o recomendado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), relacionadas a seguir:

- NBR 6457/1986 - Amostra de Solos – Preparação para ensaios de compactação e caracterização.
- NBR 6457/1986 - Teor de Umidade Natural.
- NBR 7181/1988 - Solo – Análise granulométrica.
- NBR 6459/1984 - Solo – Determinação do limite de liquidez.
- NBR 7180/1988 - Solo – Determinação do limite de plasticidade.
- NBR 6508/1984 - Massa específica dos grãos.

Portanto, a partir dos resultados da caracterização física dos solos estudados, foi possível classificá-los utilizando o Sistema Unificado (U. S. Corps of Engineering) que, além da granulometria, utiliza os limites de consistência como elementos qualificadores, e a classificação HBR que se fundamenta na granulometria, limite de liquidez e índice de plasticidade dos solos.

O Quadro 4.1 apresenta os resultados obtidos para os índices de consistência, ou seja, Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), massa específica dos grãos ( $\gamma_s$ ) e teor de umidade natural ( $w$ ), enquanto na Figura 4.1 apresentam-se as umidades obtidas nas etapas de caracterização das amostras.

**Quadro 4.1 - Resultados dos ensaios de caracterização**

AMOSTRA	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_s$ (KN/m <sup>3</sup> )	$w$ (%) <sup>(1)</sup>
PIC 1A	29,84	14,83	15,01	26,48	14,35
PIC 2A	46,23	28,26	17,96	25,69	36,57
PIC 2B	45,57	26,84	18,73	27,95	30,79
PIC 4A	18,68	11,10	7,58	26,77	15,69
CMT 2A	45,73	21,78	23,95	27,07	23,00
CMT 2B	31,37	18,38	12,99	26,90	21,04
CMT 2C	52,12	31,72	20,39	28,24	31,81
CMT 2D	44,58	24,84	19,74	25,30	28,14

<sup>(1)</sup> Umidade natural obtida na abertura da amostra.

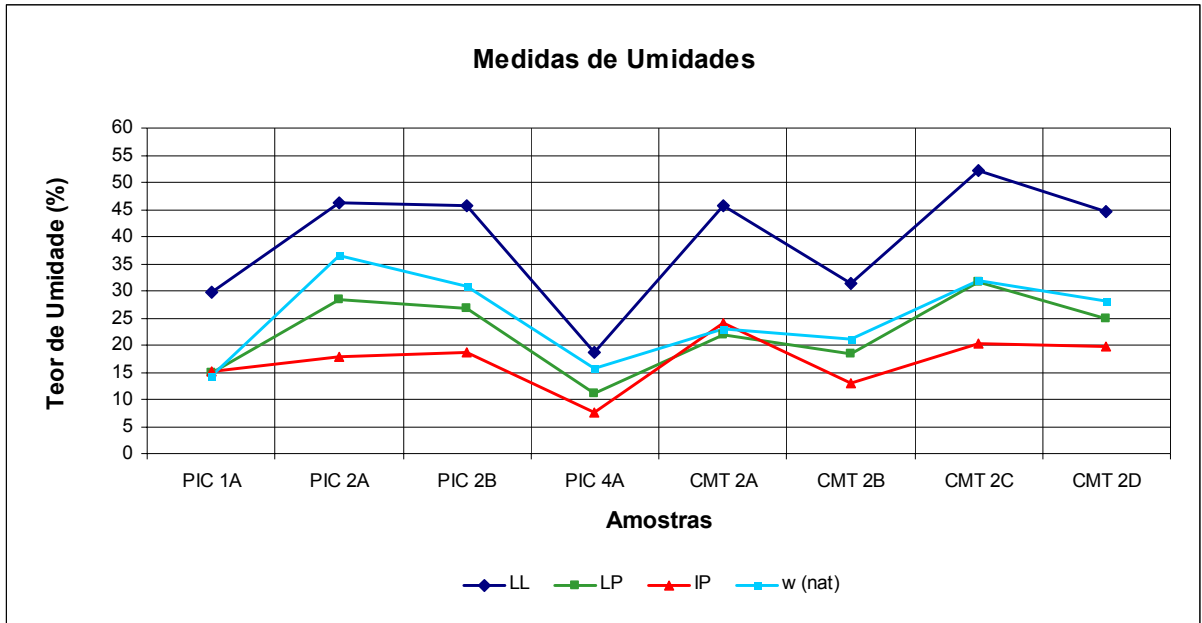


Figura 4.1 - Resumo das umidades obtidas nos ensaios de caracterização.

Os resultados dos ensaios de Granulometria Conjunta, para todas as amostras ensaiadas, estão apresentados na Figura 4.2 e no Quadro 4.2.

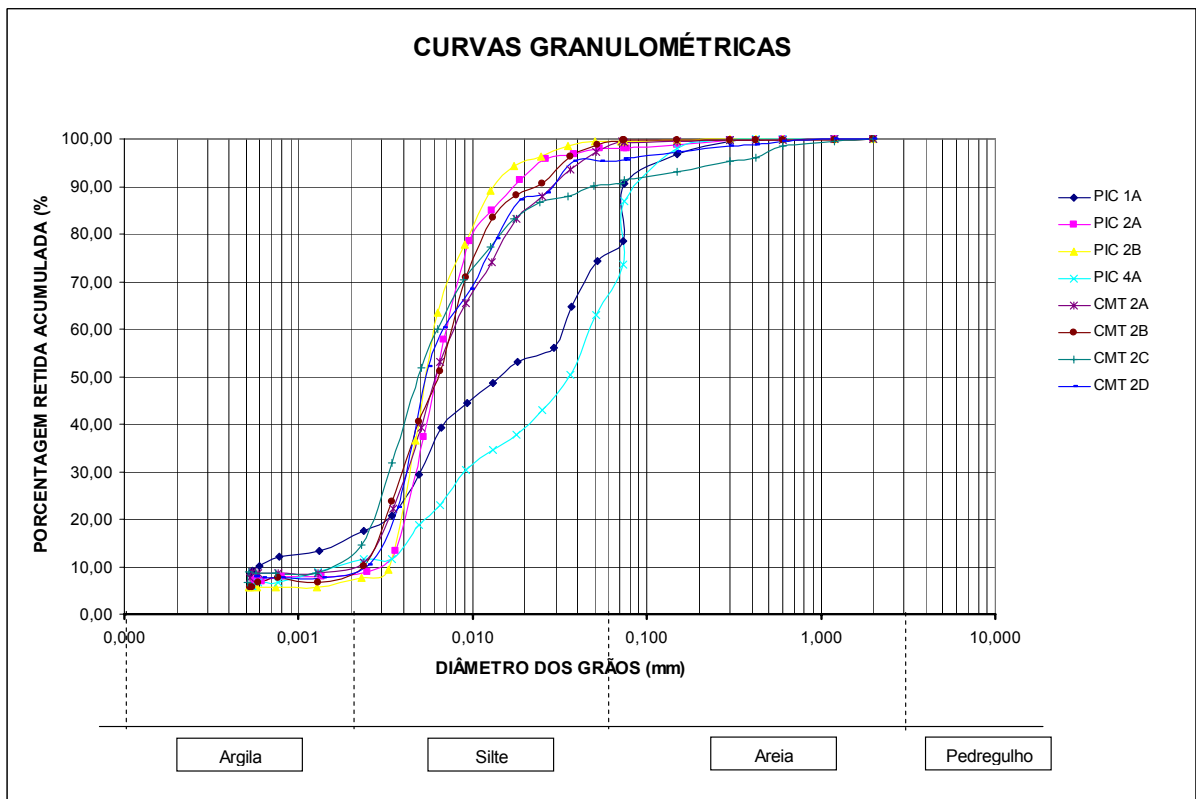


Figura 4.2 - Curva granulométrica dos blocos ensaiados.

**Quadro 4.2 -** Resultados dos ensaios de granulometria conjunta

AMOSTRA	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)
PIC 1A	16	62	22
PIC 2A	8	90	2
PIC 2B	7,6	91,9	0,5
PIC 4A	11	76	13
CMT 2A	10	89,1	0,9
CMT 2B	8	91,7	0,3
CMT 2C	13	78,2	8,8
CMT 2D	8	87,7	4,3

Ressalta-se que os resultados individuais estão apresentados no final deste trabalho, no Apêndice A.1.

### 4.3 Determinação do Coeficiente de Permeabilidade

Executou-se, em laboratório, ensaios para determinação do coeficiente de permeabilidade de duas amostras, uma de cada mina, sendo para a Mina do Pico a amostra PIC 2A, e para a Mina Capitão do Mato, a amostra CMT 2A. Utilizou-se, para essas determinações, o permeâmetro de carga variável, com amostras com dimensões de 10cm de diâmetro e 15cm de altura.

Os resultados estão apresentados no Quadro 4.3, enquanto as Fotos 4.1 a 4.8 apresentam a seqüência de realização dos ensaios.

**Quadro 4.3 -** Resultados dos ensaios de permeabilidade a carga variável

AMOSTRA	DESCRIÇÃO GRANULOMÉTRICA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE k (cm/s)
PIC 2A	Silte argilo-arenoso	$5,362 \times 10^{-6}$
CMT 2A	Silte argilo-arenoso	$5,429 \times 10^{-6}$



Foto 4.1 – Preparo do corpo de prova (CMT 2A.)



Foto 4.2 – Amostra pronta.



Foto 4.3 – Instalação da amostra no cilindro.



Foto 4.4 – Selo de bentonita / parafina.



Foto 4.5 – Detalhe das 2 amostras.



Foto 4.6 – Preenchimento com areia saturada.



Foto 4.7 – Preparo das amostras finalizado.



Foto 4.8 – Início dos ensaios.

#### 4.4 Ensaios de Compressão Edométrica

O comportamento do solo mediante os carregamentos depende de sua constituição e do estado em que o mesmo se encontra, e pode ser expresso por parâmetros que são obtidos em correlações ou por meio de ensaios, como o de compressão edométrica, ou adensamento. Esse ensaio consiste na compressão da amostra contida dentro de um molde que impede qualquer deformação lateral.

Os parâmetros obtidos são de fundamental importância para a avaliação de inúmeros problemas geotécnicos, como recalques, alívio de tensões em escavações e em ensaios de cisalhamento para a verificação da dissipação do excesso de poropressão, como descrito no item anterior.

Realizou-se dez ensaios de compressão edométrica, de acordo com a NBR 12007/90 e com as seguintes considerações:

- amostra em estado natural de umidade durante toda a realização do ensaio: PIC 2A;
- amostra inundada desde o início do ensaio: PIC 1A e PIC 2A; e
- ensaio iniciado com amostra no estado natural e, após a etapa referente à tensão de 200kPa, acréscimo de água na caixa de adensamento tendo a amostra permanecido inundada até o final do ensaio: PIC 1A, PIC 2B, PIC 4A, CMT 2A, CMT 2B, CMT 2C e CMT 2D. Observa-se que esta inundação da amostra tem como objetivo verificar o potencial de colapso, descrito por Vargas (1978), sendo que em nenhum caso esta hipótese foi confirmada.

O Quadro 4.4 apresenta os resultados dos ensaios citados com as respectivas tensões de pré-adensamento ( $\sigma'_v$  ou *TPA*), calculadas pelos métodos de Pacheco Silva e Casagrande. Ressalta-se que os resultados individuais de cada ensaio, representado pelas curvas  $e \times \log \sigma'_v$  estão mostrados no Apêndice A.2.

**Quadro 4.4 -** Resultados obtidos nos ensaios de compressão edométrica

AMOSTRA	TENSÃO DE PRÉ-ADENSAMENTO $\sigma'_v$ (kPa)		
	Método Pacheco Silva	Método Casagrande	Observação
PIC 1A	182	182	amostra inundada após o estágio de 200kPa
PIC 1A <sub>inundado</sub>	258	257	amostra inundada desde o início do ensaio
PIC 2A <sub>natural</sub>	326	325	amostra em estado natural de umidade durante toda a realização do ensaio
PIC 2A <sub>inundado</sub>	320	379	amostra inundada desde o início do ensaio
PIC 2B	363	368	amostra inundada após o estágio de 200kPa
PIC 4A	220	219	amostra inundada após o estágio de 200kPa
CMT 2A	201	202	amostra inundada após o estágio de 200kPa
CMT 2B	289	281	amostra inundada após o estágio de 200kPa
CMT 2C	355	389	amostra inundada após o estágio de 200kPa
CMT 2D	309	304	amostra inundada após o estágio de 200kPa

#### 4.5 Ensaios de Cisalhamento Direto

Segundo Pinto (2002), o ensaio de cisalhamento direto é o procedimento mais antigo para a determinação da resistência ao cisalhamento de um solo. Pode-se descrevê-lo, de uma forma resumida, como sendo a aplicação de uma tensão normal em um determinado plano e verificação da tensão cisalhante que provoca a ruptura.

Foram realizados ensaios em duas etapas, com as seguintes considerações:

- ensaios iniciados com as amostras na umidade natural, dimensões do molde de 10 x 10 x 1,5cm, tensões normais de 100kPa, 200kPa e 400kPa, velocidade de cisalhamento de 0,142mm/min e inundação da amostra após a caracterização da fase residual do ensaio, com deformação em 17%, aproximadamente; e
- ensaios iniciados com as amostras inundadas previamente, dimensões do molde de 5 x 5 x 1,5cm, tensões normais de 100kPa, 200kPa e 400kPa, e velocidade de cisalhamento de 0,142mm/min.

Ressalta-se que a utilização de menores dimensões nas amostras inundadas ocorreu em função, principalmente, da quantidade de material disponível para a realização do restante dos ensaios previstos.

Com relação à dissipação do excesso de poro-pressão durante a compressão, Pitanga (2002) escreve que um ensaio drenado sobre uma argila, por exemplo, deve ser realizado de forma lenta o suficiente para permitir a dissipação desse excesso de poro-pressão mediante a drenagem da amostra, antes que a ruptura seja atingida. Já em um ensaio não drenado, permite-se que um excesso de poro-pressão seja desenvolvido no interior da amostra e, neste caso, deve haver tempo suficiente para que haja uma equalização dessa pressão através da amostra.

Head (1986) refere-se a trabalho de Gilbert e Henkel (1954), em que foi aplicada a teoria do adensamento à questão do problema da dissipação do excesso de poro-pressão em ensaios não drenados. Assim, considerando-se uma porcentagem de adensamento ( $U$ ) igual a 90% e, uma vez que a permeabilidade está associada ao coeficiente de adensamento, o estágio de consolidação do ensaio pode fornecer os dados para uma estimativa apropriada do tempo de ruptura e, conseqüentemente, da velocidade de carregamento a ser empregada.

Portanto, a velocidade de ruptura considerada nos ensaios, de 0,142mm/mim, foi verificada da seguinte forma:

$$v = \frac{d_r}{t_r} \quad (4.1)$$

$$t_r = 12 \times t_{90} \quad (4.2)$$

em que:

$v$  = velocidade de cisalhamento;

$d_r$  = deslocamento na ruptura;

$t_r$  = tempo de ruptura; e

$t_{90}$  = tempo necessário para que ocorra 90% do adensamento.

Ressalta-se que foram verificados todos os estágios, para cada amostra, porém, será apresentada a seguir a verificação para a condição mais crítica.

$t_{90} = 82,1s$  → obtido no estágio 4, tensão de 50kPa do adensamento da amostra PIC 4A (Taylor).

$$t_r = 12 \times \frac{82,1}{60}$$

$$t_r = 16,42 \text{ min}$$

$d_r = 2,35 \text{ mm}$  → obtido no cisalhamento direto na condição inundado, amostra com 5 x 5cm, PIC 4A.

$$d_r = \frac{50 \times 4,69\%}{100} = 2,35 \text{ mm}$$

Portanto, a velocidade de cisalhamento será:

$$v = \frac{2,35 \text{ mm}}{16,42 \text{ min}} = 0,1431 \text{ mm/min}$$

O que valida a velocidade adotada de 0,142mm/min.

Apresenta-se nas Figuras 4.3 a 4.10, os gráficos obtidos da *tensão cisalhante x deslocamento* no sentido do cisalhamento, em que se identificam a tensão de ruptura  $\tau_{máx}$  (pico), a tensão residual do corpo de prova (pós pico) e, para o caso das amostras na condição de umidade natural, a tensão quando inundado na fase final do ensaio. A representação gráfica dos resultados indica que o tamanho das amostras ensaiadas não interferiu nos valores obtidos para os parâmetros de resistência. O Quadro 4.6 resume as tensões obtidas e, para o caso das amostras inundadas, os respectivos períodos de inundações.

Ressalta-se que a curvas *tensão cisalhante x deslocamento* para as condições de amostras com umidade natural e amostras inundadas estão apresentadas, separadamente, no final deste trabalho, no Apêndice A.3.

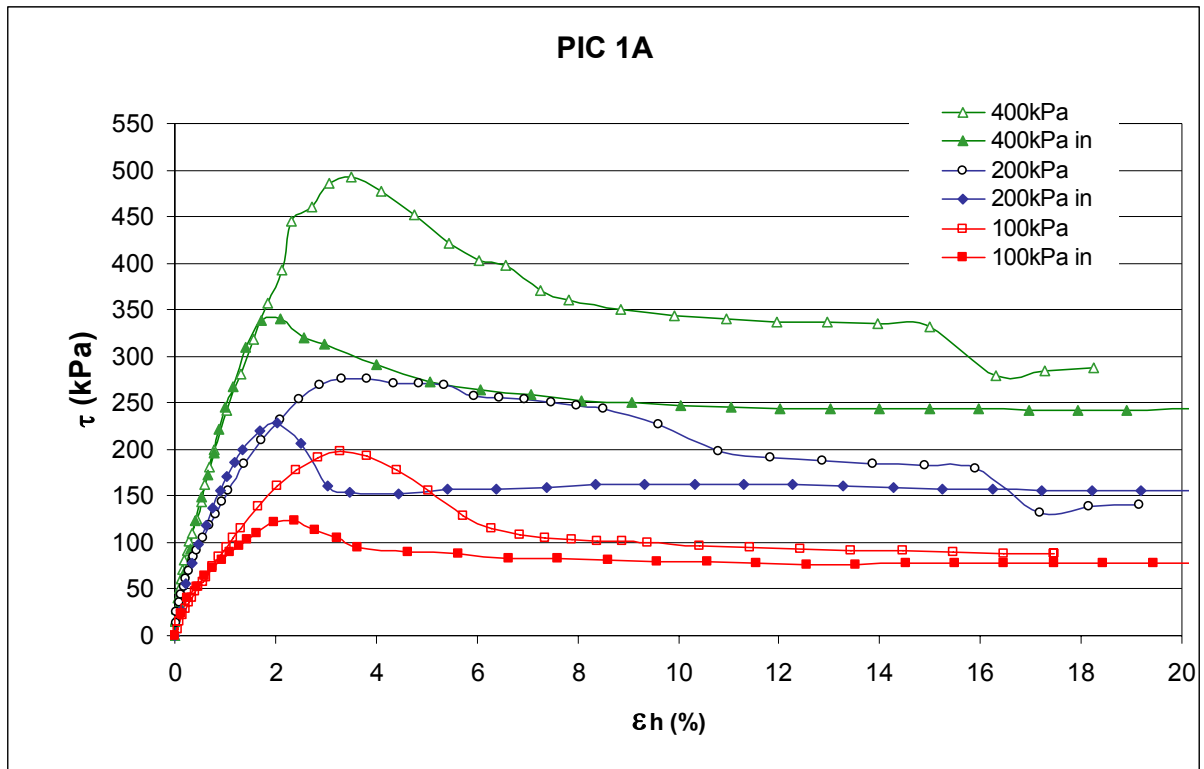


Figura 4.3 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra PIC 1A.

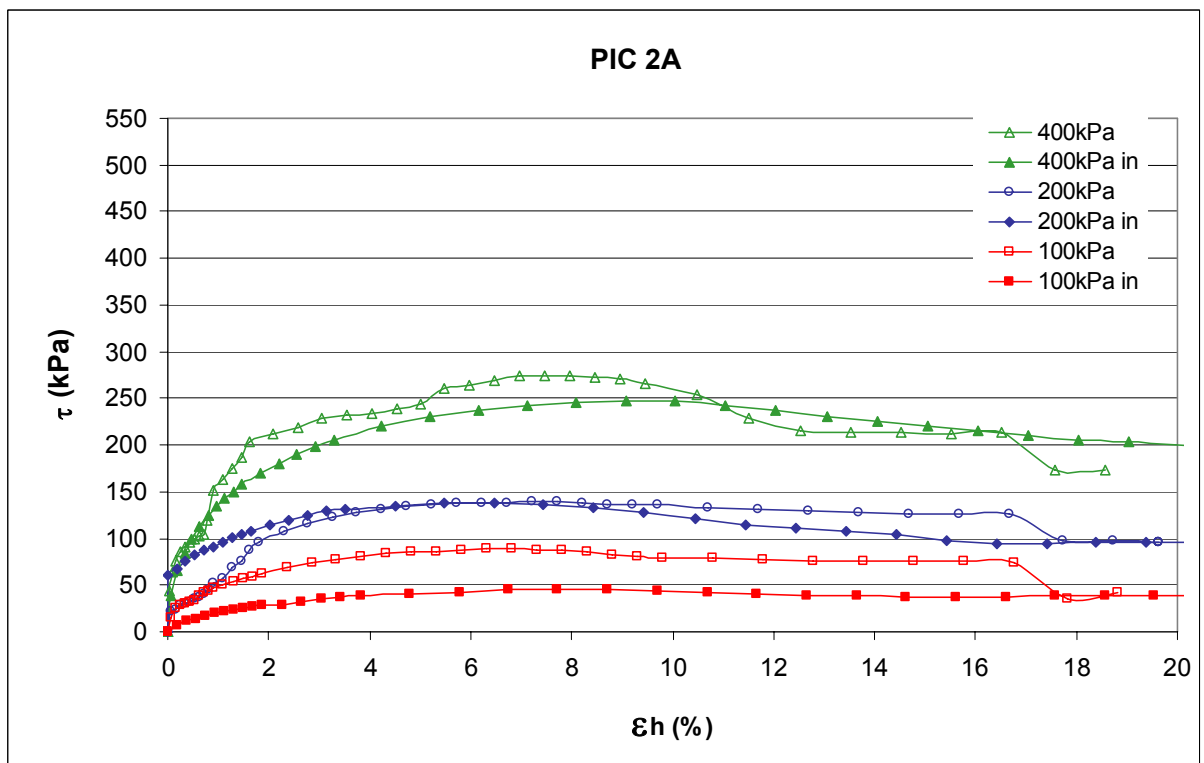


Figura 4.4 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra PIC 2A.

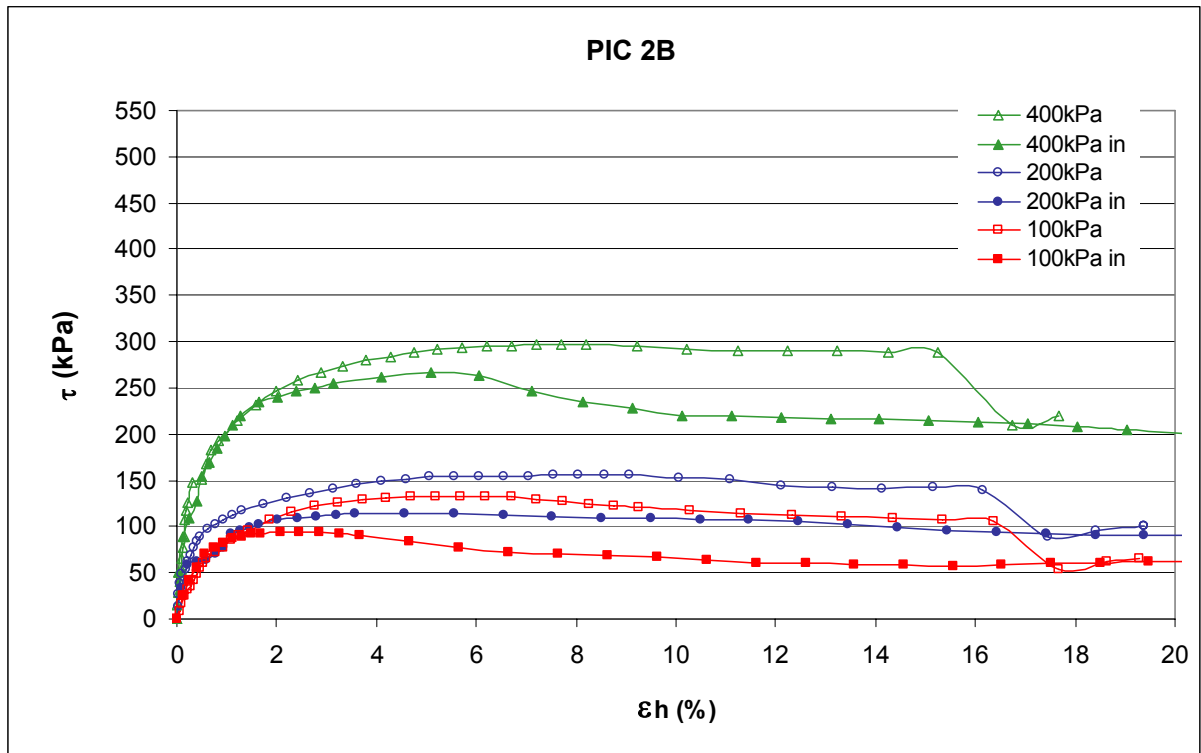


Figura 4.5 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra PIC 2B.

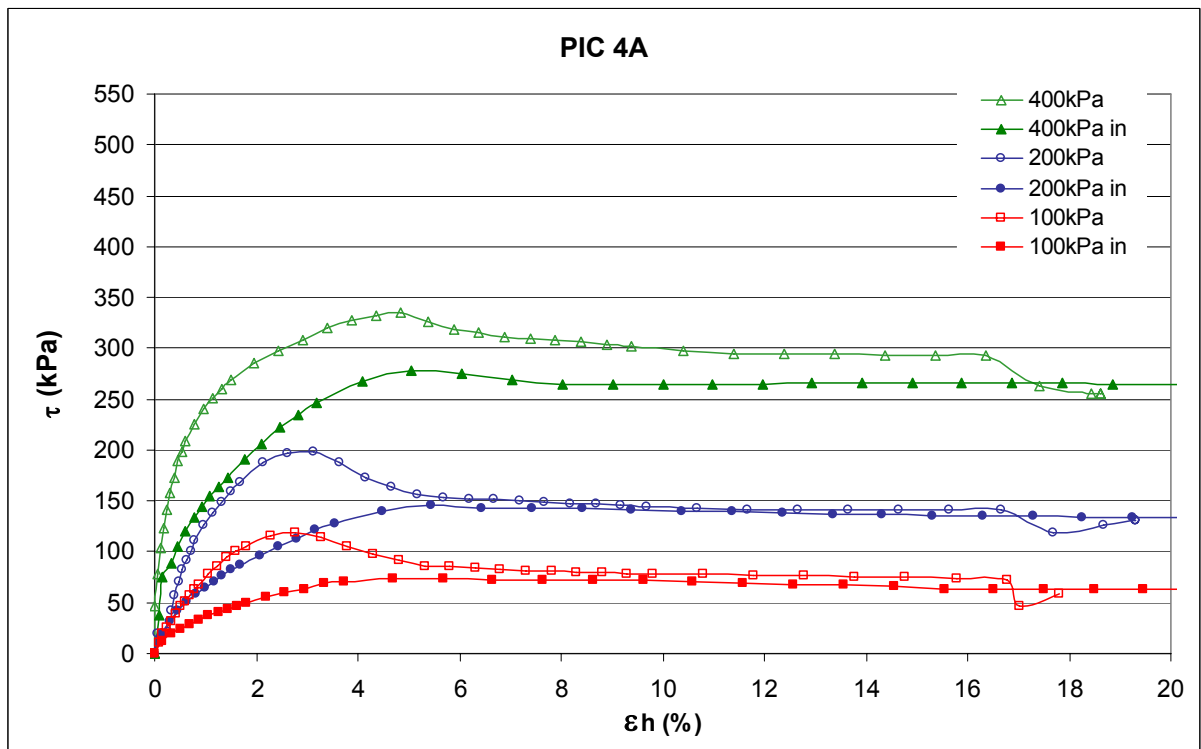


Figura 4.6 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra PIC 4A.

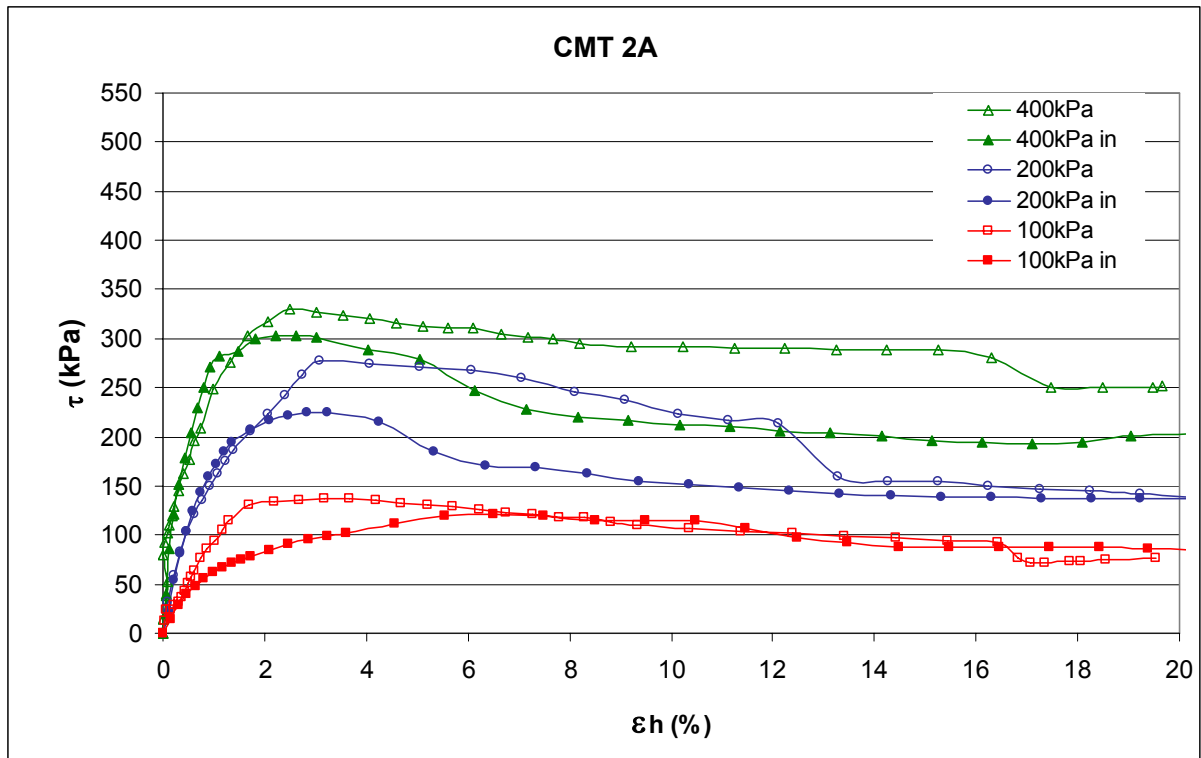


Figura 4.7 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra CMT 2A.

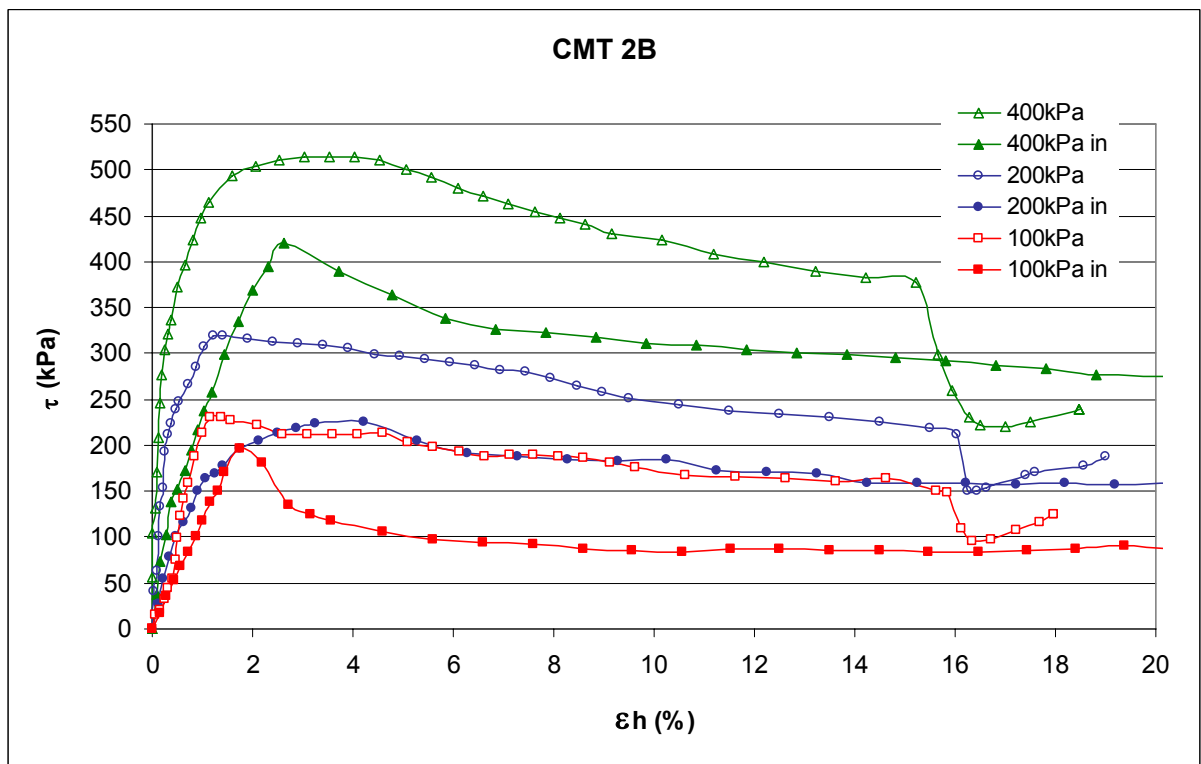


Figura 4.8 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra CMT 2B.

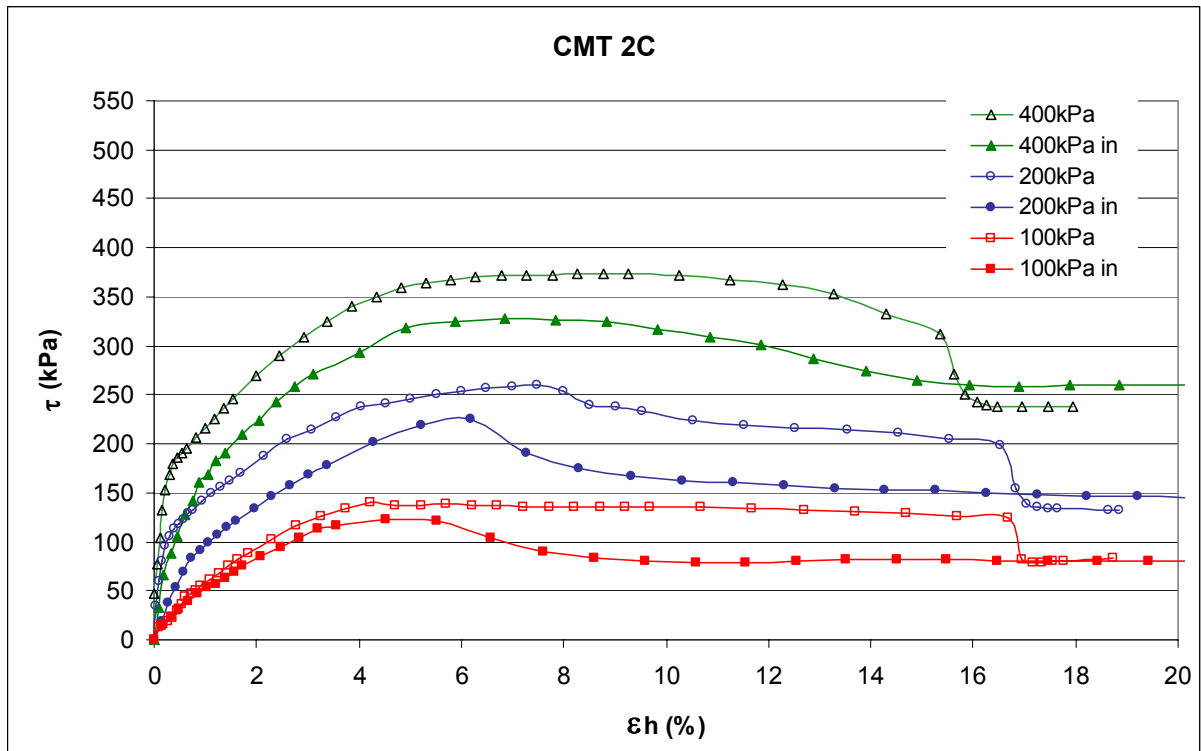


Figura 4.9 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra CMT 2C.

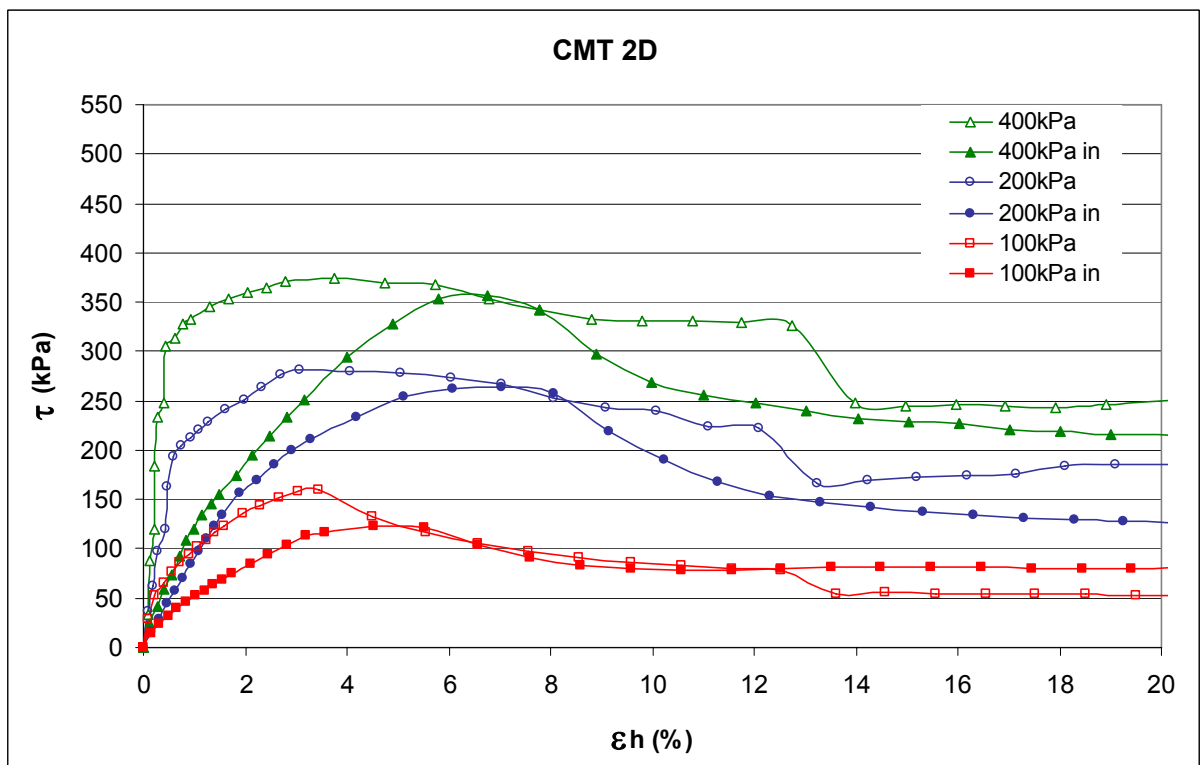


Figura 4.10 - Ensaio de cisalhamento direto convencional para a amostra CMT 2D.

**Quadro 4.5 -** Resumo das tensões máximas obtidas nos ensaios de cisalhamento direto

AMOSTRA	TENSÃO NORMAL (kPa)	ENSAIO NATURAL (kPa)			ENSAIO INUNDADO (kPa)		
		PICO	PÓS-PICO	INUNDADO PÓS-PICO	PICO	PÓS-PICO	PERÍODO DE INUNDAÇÃO
PIC 1A	100	198	91	50	124	76	4hs – 15min
	200	276	182	139	226	162	5hs – 40min
	400	492	336	286	337	242	1h – 45min
PIC 2A	100	88	75	34	44	38	2hs – 39min
	200	139	127	97	138	95	2hs – 20min
	400	275	214	174	245	191	3hs – 2min
PIC 2B	100	133	113	61	94	59	2hs – 3min
	200	155	141	96	115	93	2hs – 50min
	400	296	290	220	265	214	3hs – 11min
PIC 4A	100	119	79	59	73	63	2hs – 35min
	200	199	114	126	147	135	2hs – 4min
	400	335	295	256	277	265	2hs – 19min
CMT 2A	100	137	106	74	121	86	3hs – 26min
	200	274	215	153	225	158	14hs – 27min
	400	329	289	245	302	275	4hs – 5min
CMT 2B	100	231	181	107	197	83	15hs – 15min
	200	321	250	167	225	158	15hs – 41min
	400	512	424	226	420	275	14hs – 10min
CMT 2C	100	140	136	80	123	81	14hs
	200	262	214	134	225	149	14hs – 27min
	400	374	353	239	326	260	12hs – 56min
CMT 2D	100	159	82	56	122	58	17hs – 8min
	200	282	225	168	263	126	13hs – 10min
	400	373	329	242	358	217	13hs – 23min

A partir dos dados apresentados no Quadro 4.6, obteve-se as envoltórias de ruptura apresentadas nas Figuras 4.11 a 4.18.

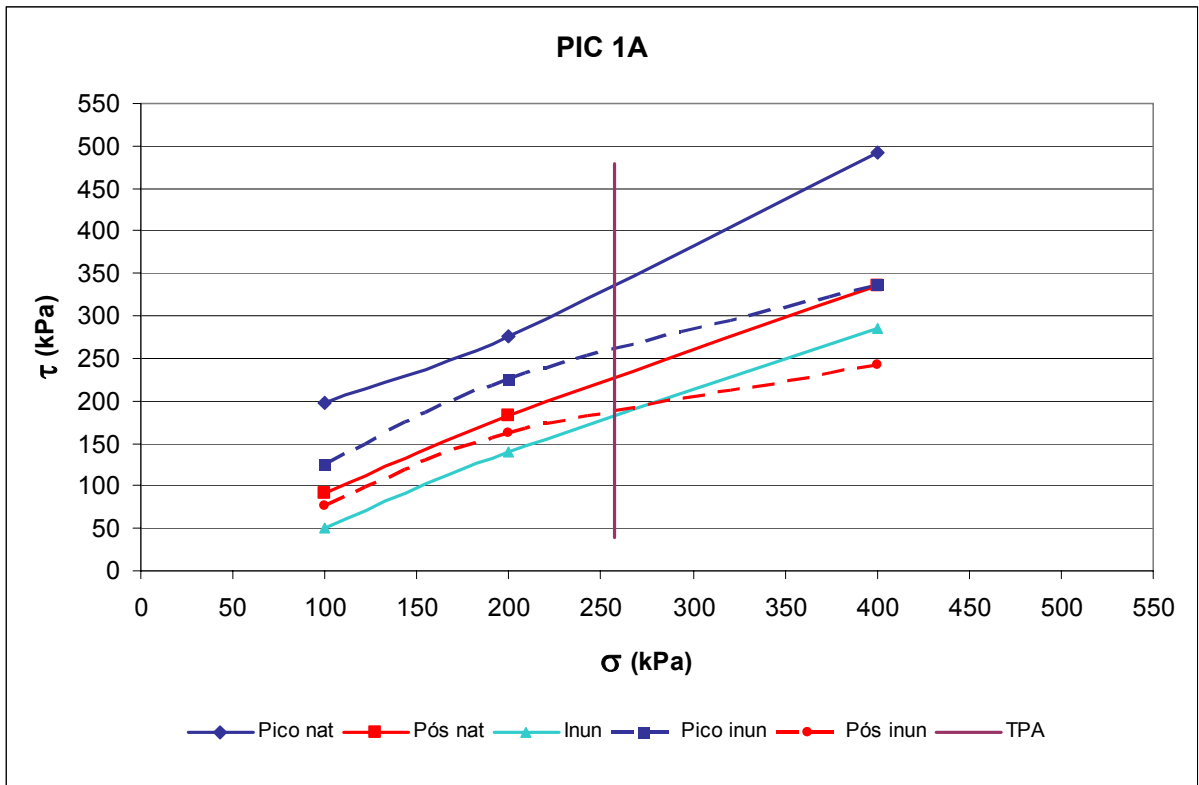


Figura 4.11 - Envoltória de ruptura para a amostra PIC 1A.

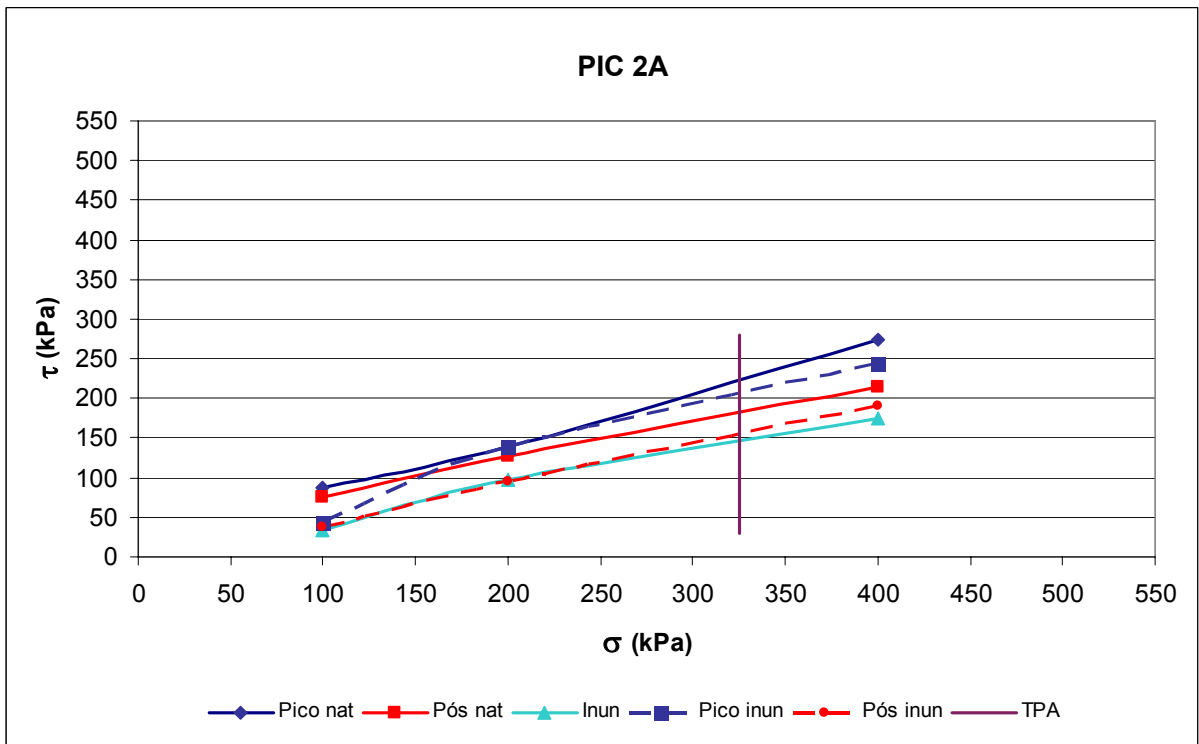


Figura 4.12 - Envoltória de ruptura para a amostra PIC 2A.

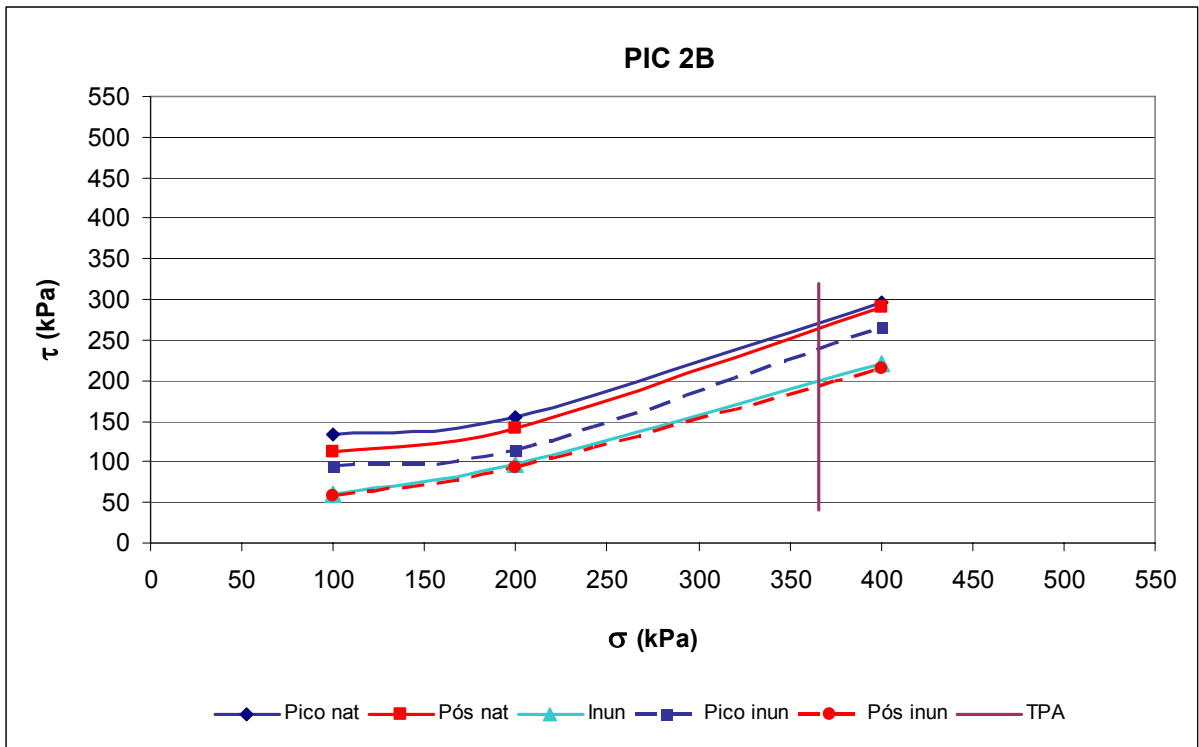


Figura 4.13 - Envoltória de ruptura para a amostra PIC 2B.

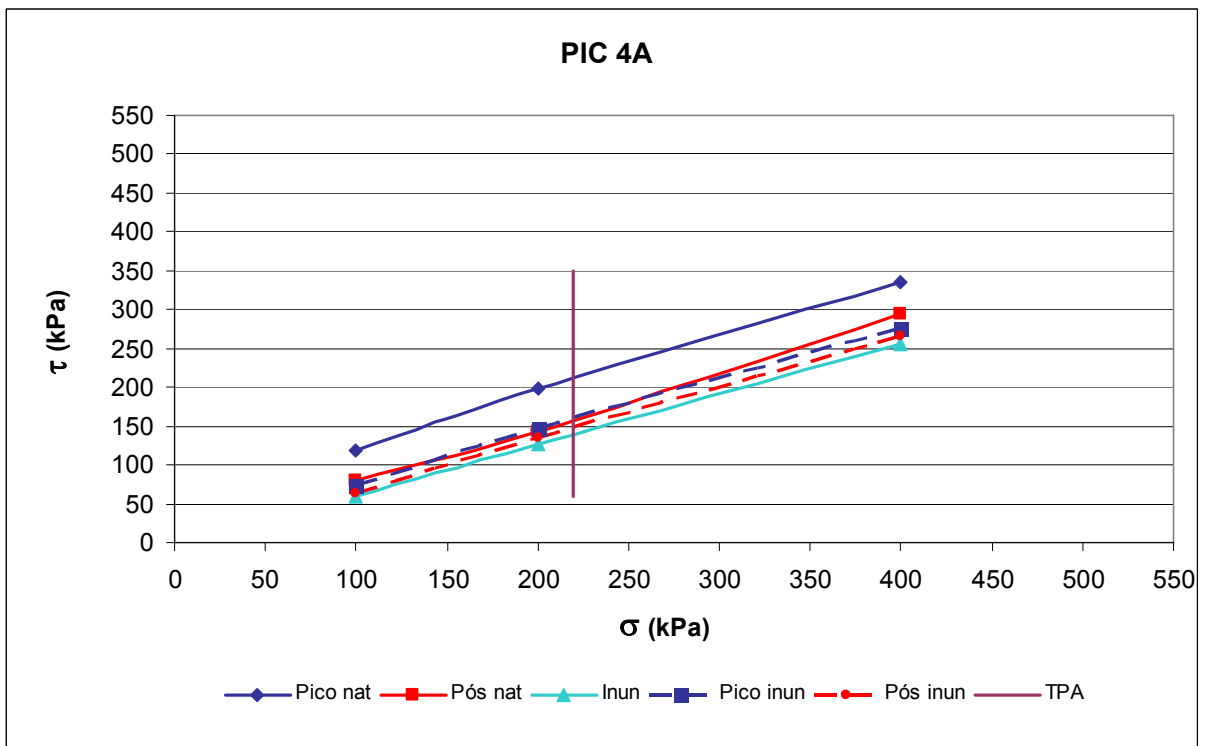


Figura 4.14 - Envoltória de ruptura para a amostra PIC 4A.

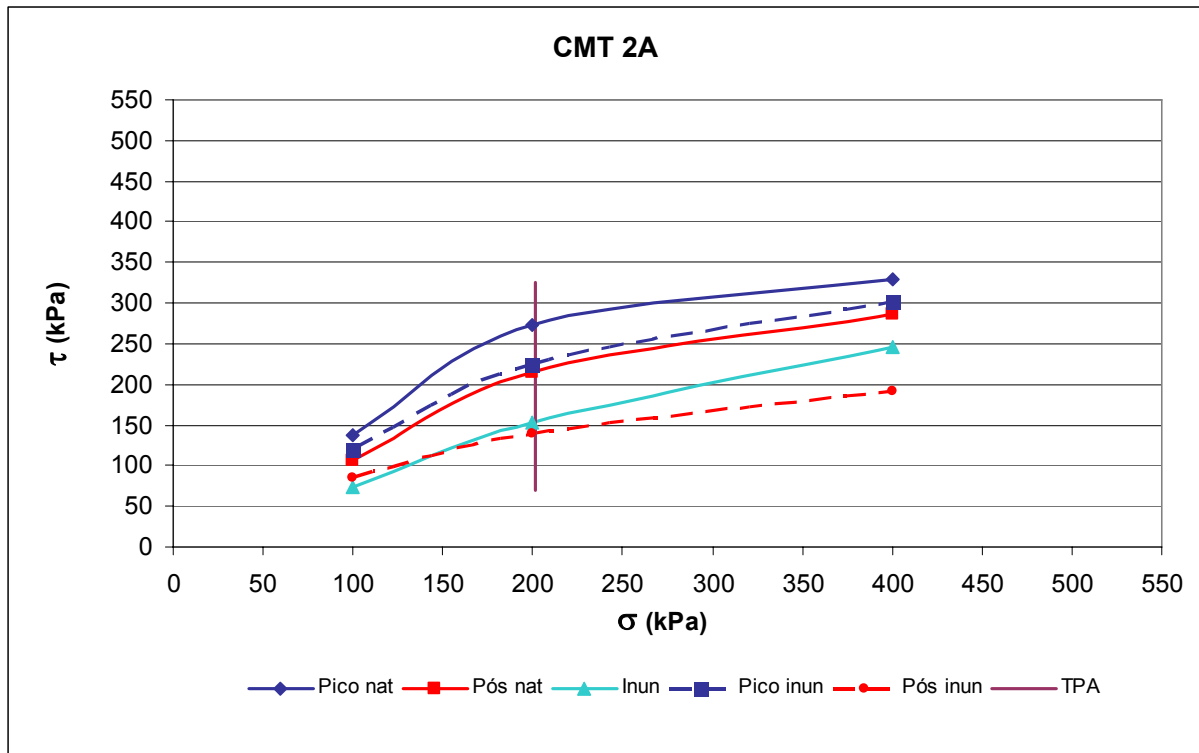


Figura 4.15 - Envoltória de ruptura para a amostra CMT 2A.

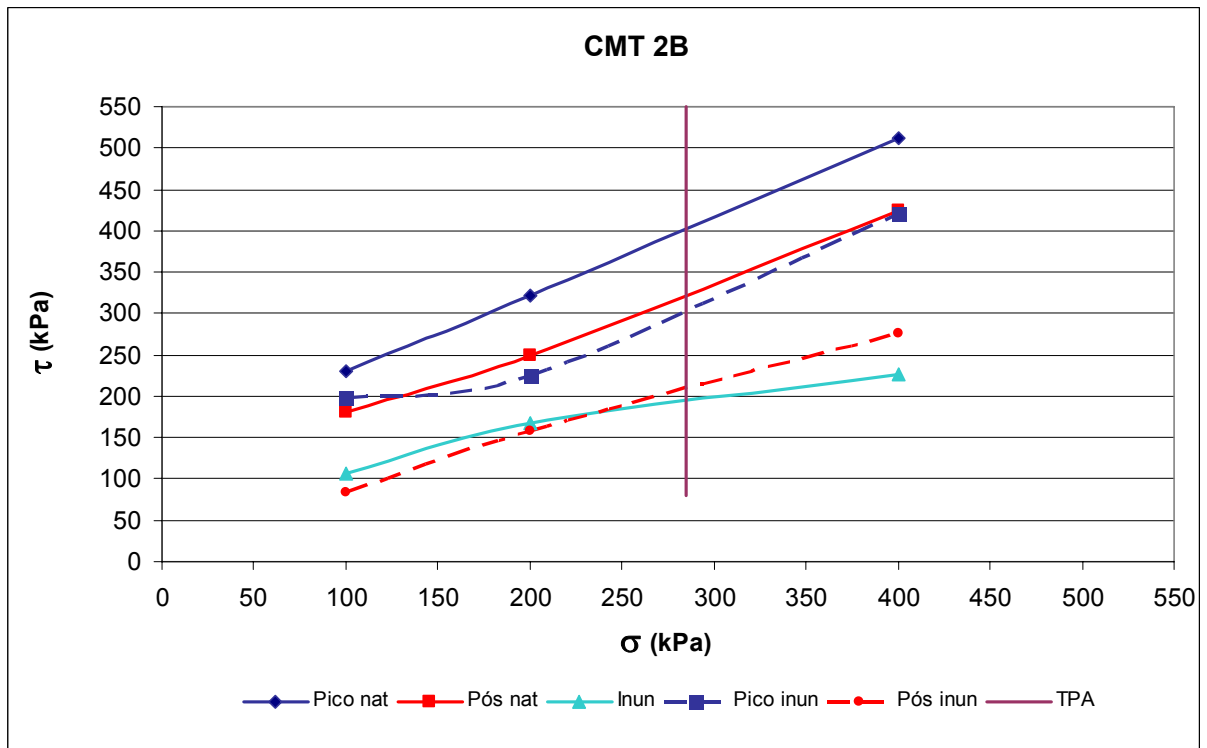


Figura 4.16 - Envoltória de ruptura para a amostra CMT 2B.

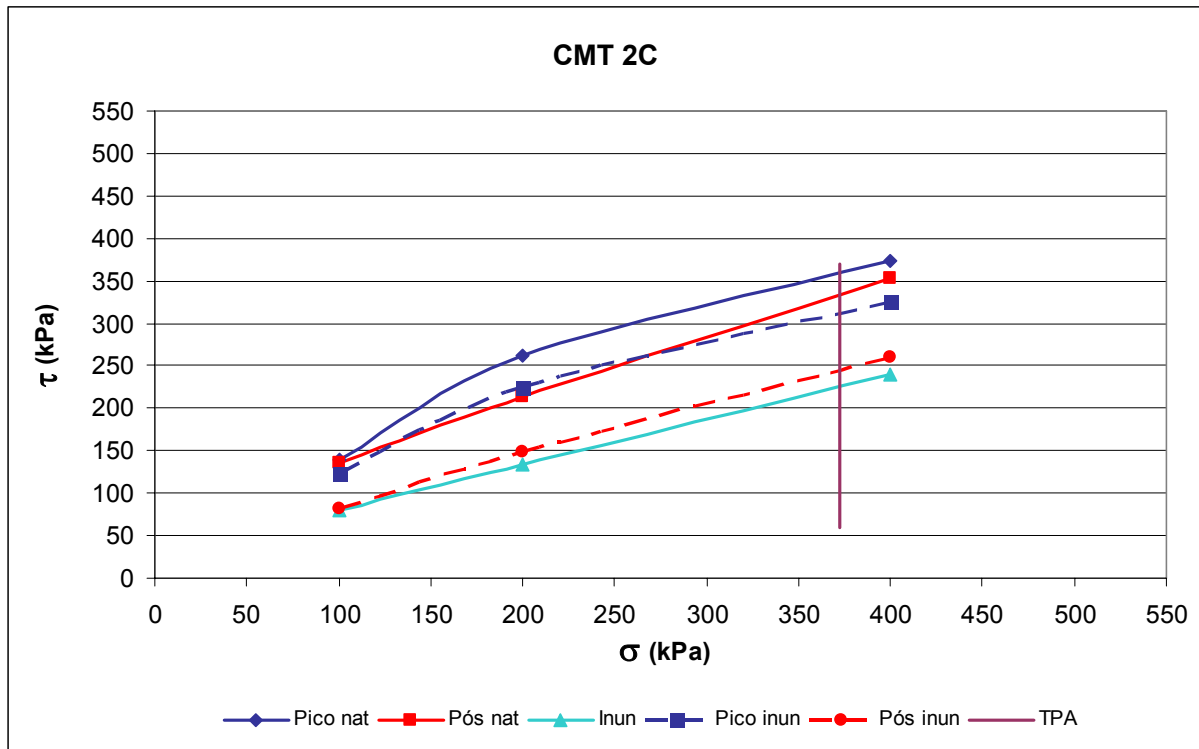


Figura 4.17 - Envoltória de ruptura para a amostra CMT 2C.

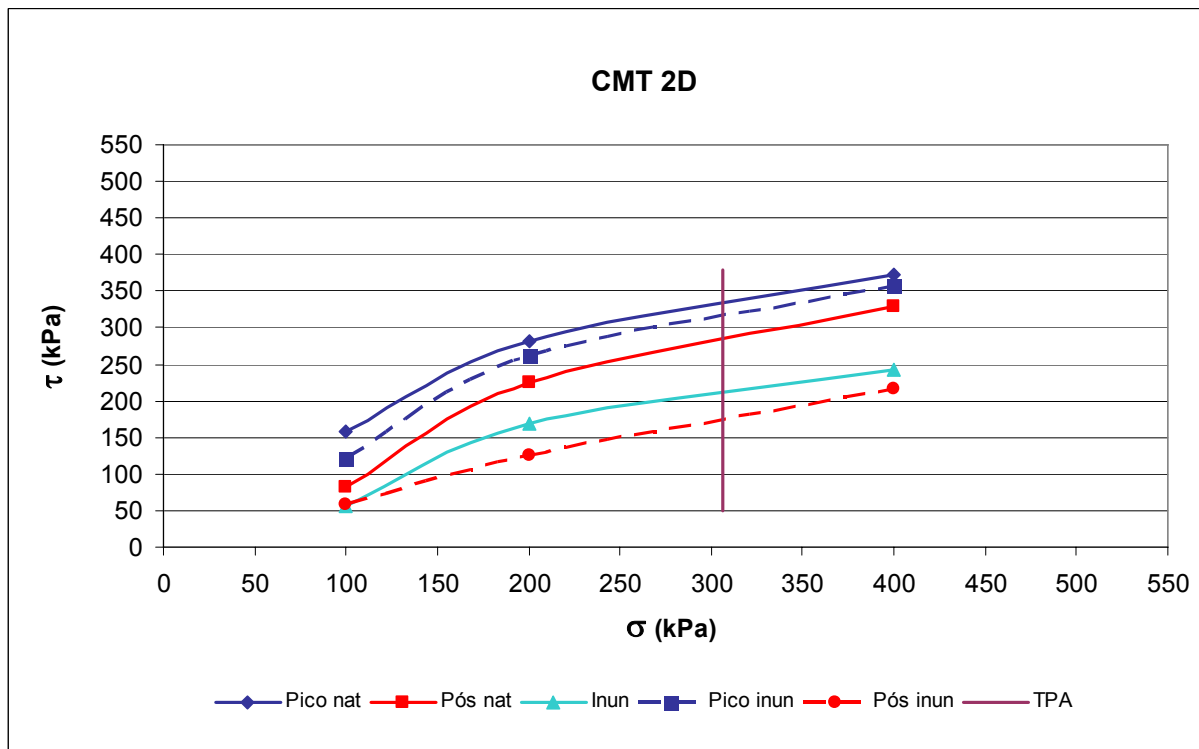


Figura 4.18 - Envoltória de ruptura para a amostra CMT 2D.

Os resultados dos parâmetros de resistência obtidos a partir dos ensaios realizados estão apresentados nos Quadros 4.6 e 4.7.

**Quadro 4.6 -** Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em amostras naturais com inundação na etapa final

AMOSTRA	PICO		PÓS-PICO		INUNDADO	
	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)
PIC 1A	90	45	16	39	0	39
PIC 2A	23	32	31	25	0	24
PIC 2B	56	30	43	31	1	28
PIC 4A	50	36	6	36	0	33
CMT 2A	112	30	73	29	28	29
CMT 2B	138	43	98	39	78	21
CMT 2C	82	37	66	36	27	28
CMT 2D	114	34	28	38	20	30
<b>MÉDIA</b>	83,13	35,88	45,13	34,13	19,25	29,00
<b>DESVIO PADRÃO</b>	38,35	5,64	31,36	5,19	26,82	5,45

**Quadro 4.7 -** Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em amostras inundadas

AMOSTRA	PICO		PÓS-PICO	
	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)
PIC 1A	66	35	35	28
PIC 2A	0	33	0	27
PIC 2B	16	31	0	28
PIC 4A	10	34	0	34
CMT 2A	82	30	59	19
CMT 2B	97	38	26	32
CMT 2C	72	33	23	31
CMT 2D	72	37	14	27
<b>MÉDIA</b>	51,88	33,88	19,63	28,25
<b>DESVIO PADRÃO</b>	37,20	2,75	20,79	4,53

#### 4.6 Ensaios de Compressão Triaxial

Resumidamente, o ensaio de compressão triaxial consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico de solo.

Foram realizados ensaios triaxiais isotropicamente adensados não drenados na fase de cisalhamento (CIU), realizados de acordo com os princípios apresentados por Head (1986), com medidas de pressões neutras e elaboração de envoltórias de resistência totais e efetivas. Considerou-se, para a garantia da saturação, um parâmetro de poro-pressão B, de Skempton, não inferior a 0,98. A velocidade de compressão no cisalhamento foi de 0,015mm/min. Os corpos de prova foram moldados com diâmetro de 2” (50,8mm) e utilizadas tensões de adensamento de 100kPa, 200kPa e 400kPa.

Neste ensaio, a pressão confinante é aplicada e deixa-se dissipar a pressão neutra correspondente. Portanto, o corpo de prova é adensado sob a pressão confinante. A seguir, carrega-se axialmente sem drenagem. Este ensaio indica a resistência não drenada em função da tensão de adensamento. Medindo-se as pressões neutras obtem-se, também, a resistência em termos de tensões efetivas.

O Quadro 4.5 apresenta os resultados obtidos e, no Apêndice A.4, são mostrados os resultados individuais de cada ensaio.

**Quadro 4.8 -** Resultados obtidos nos ensaios triaxiais CIU

AMOSTRA	TENSÕES TOTAIS		TENSÕES EFETIVAS	
	C (kPa)	$\phi$ (°)	C' (kPa)	$\phi'$ (°)
PIC 1A	274	33	65	37
PIC 2A	61	11	39	21
PIC 2B	21	24	11	28
PIC 4A	258	13	51	30
CMT 2A	0	18	0	18
CMT 2B	66	19	96	13
CMT 2C	141	16	75	25
CMT 2D	30	22	5	30

#### 4.7 Ensaios de Caracterização Mineralógica – Raios-X

A importância da caracterização mineralógica, principalmente em solos tropicais, é bem conhecida, uma vez que seu comportamento mecânico pode ser influenciado em função dos seus argilo-minerais constituintes.

De fato, a partir do conhecimento dos argilo-minerais presentes em um determinado solo têm-se indícios das características superficiais de suas partículas, como resistência, expansibilidade, plasticidade e que estão relacionadas, também, ao seu tamanho e forma.

Para a caracterização mineralógica dos materiais em estudo foi realizado o ensaio pela técnica de difração de raios-X, que consiste em bombardear uma superfície da amostra analisada por um feixe desses raios, que sofrem difração e são captados por um contador Geiger que se move em um arco de círculo e a uma velocidade constante. Os ângulos  $\theta$  das difrações detectadas, em posição e intensidade, são registrados em gráficos e relacionados com a inclinação e posição do raio emitido. Um gráfico, denominado difratograma, em que são apresentados picos de comprimentos diferentes ao longo do arco de varredura do ensaio é o resultado final. A determinação do comprimento de onda emitida, que é característica do elemento detectado na amostra, é obtida a partir da posição de cada pico em função do ângulo  $\theta$  da emissão.

Com o comprimento de onda calculado, compara-se este valor com um banco de dados estabelecido para minerais conhecidos e, assim, tem-se uma provável classificação do material em análise. Villar (2002) ressalta que, por se tratar de comparação, os resultados apresentados estão, desta forma, sujeitos a uma margem de erro.

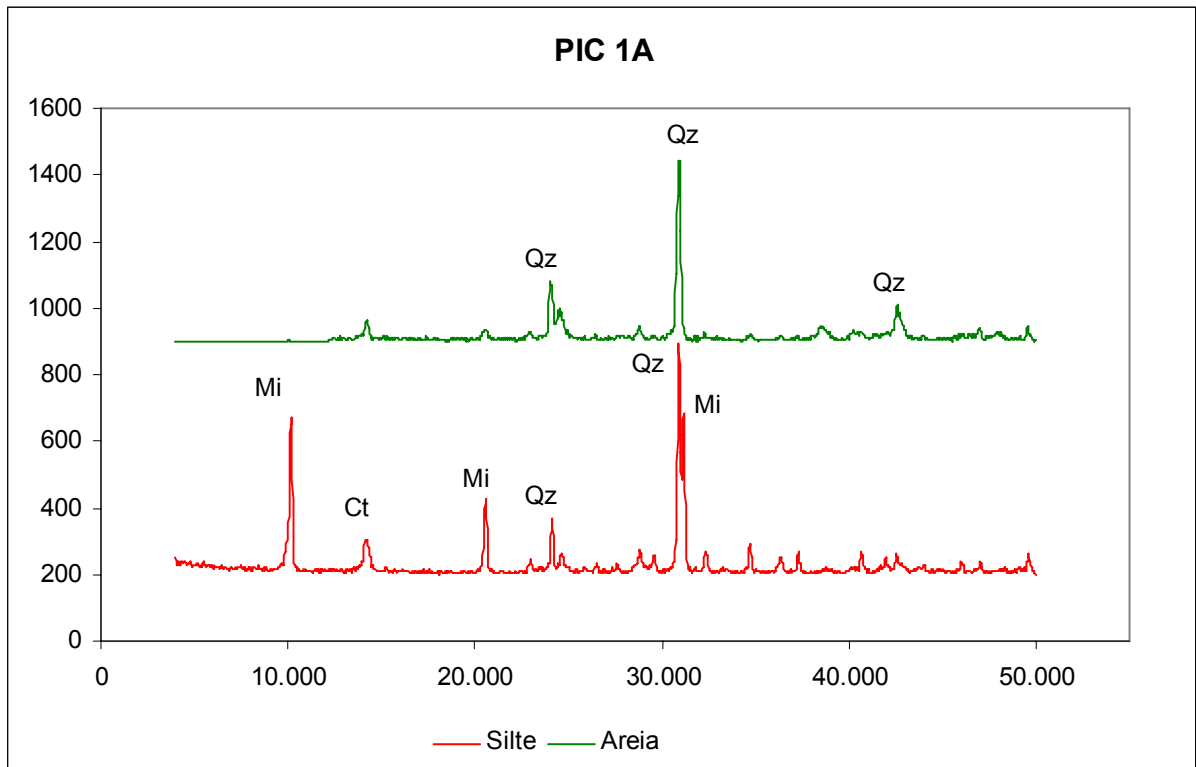
O Quadro 4.9 apresenta os minerais identificados e, nas Figuras 4.19 a 4.26, são mostrados os resultados das análises de difração por raios-X. Estão representados em um mesmo gráfico os resultados para as frações areia, silte e argila.

Ressalta-se que para as amostras CMT 2D a fração argila não foi obtida, bem como para as amostras referentes à Mina do Pico, ou seja, PIC 1A., PIC 2A, PIC 2B e PIC 4A, apesar dos resultados dos ensaios de granulometria conjunta apresentarem valores entre 7,6% e 16% para essas amostras, conforme mostrado no Quadro 4.2.

Observa-se, ainda, que os resultados individuais de cada ensaio estão apresentados no Apêndice A.5.

**Quadro 4.9 -** Simbologia dos minerais identificados

SÍMBOLO	MINERAIS
Qz	Quartzo
Mi	Mica
Ct	Caulinita
Gt	Goethita



**Figura 4.19 -** Difratograma total da amostra PIC 1A.

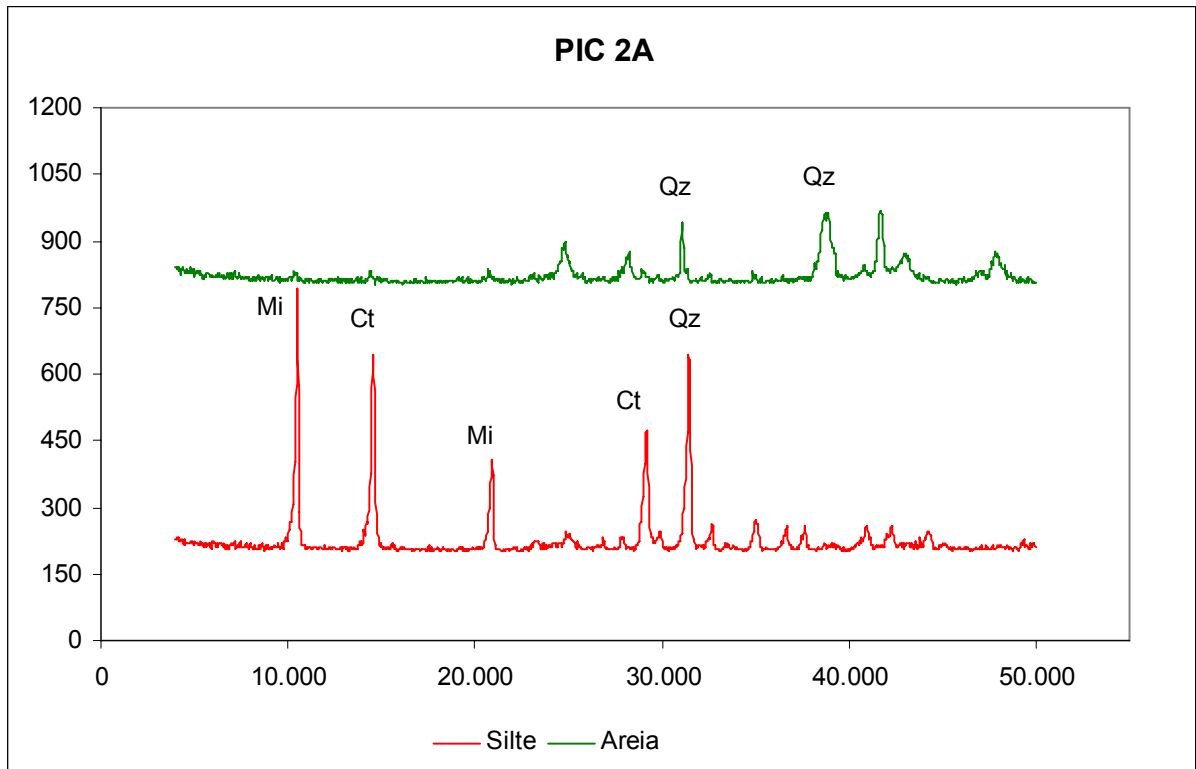


Figura 4.20 - Difratoograma total da amostra PIC 2A.

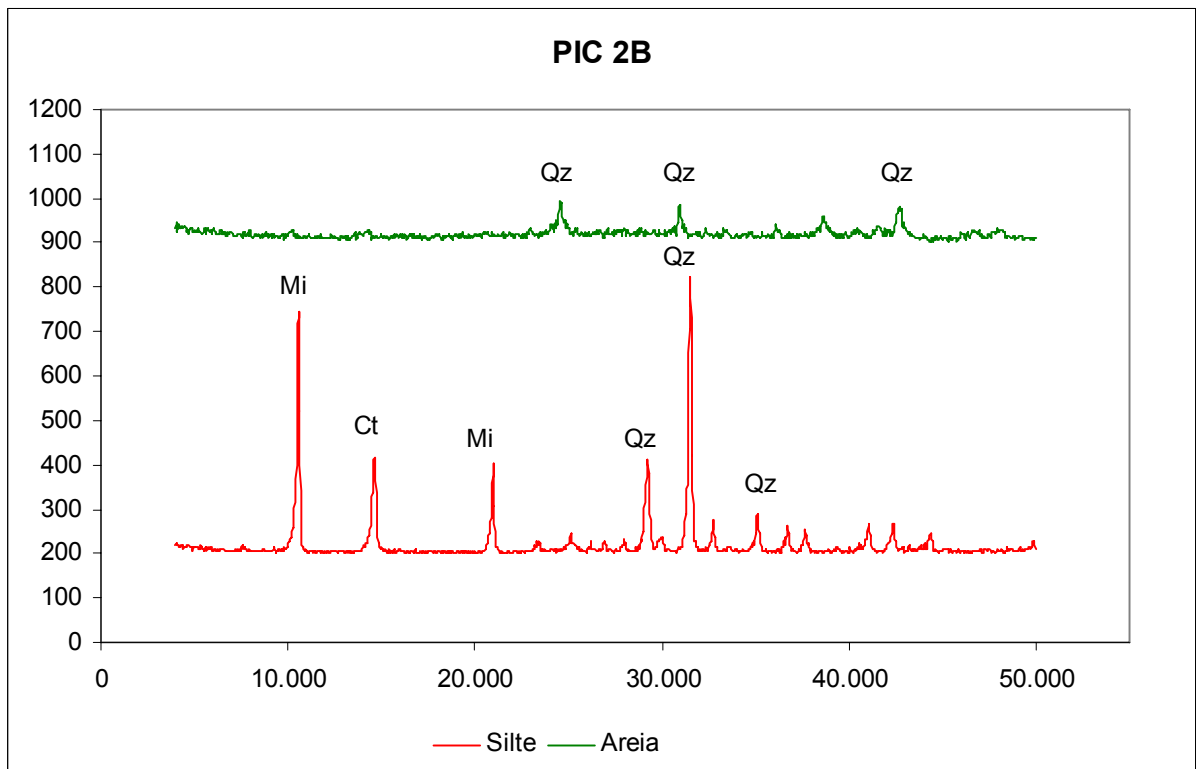


Figura 4.21 - Difratoograma total da amostra PIC 2B.

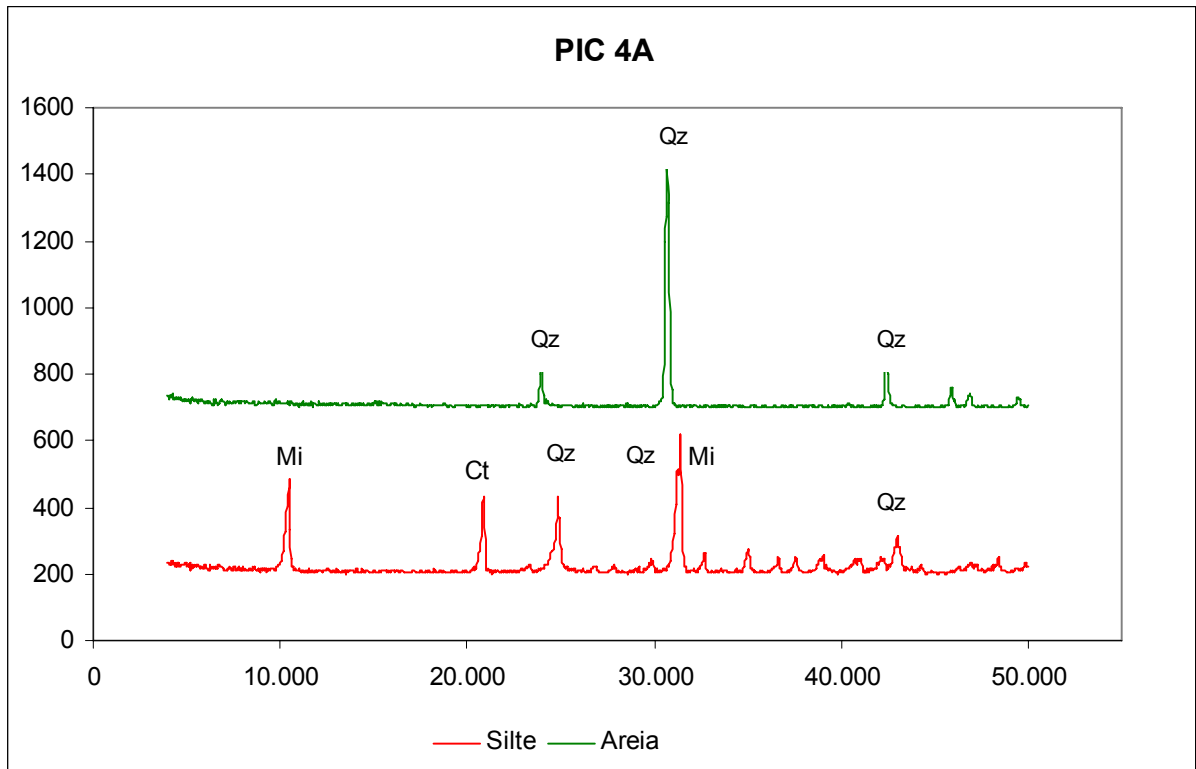


Figura 4.22 - Difratoograma total da amostra PIC 4A.

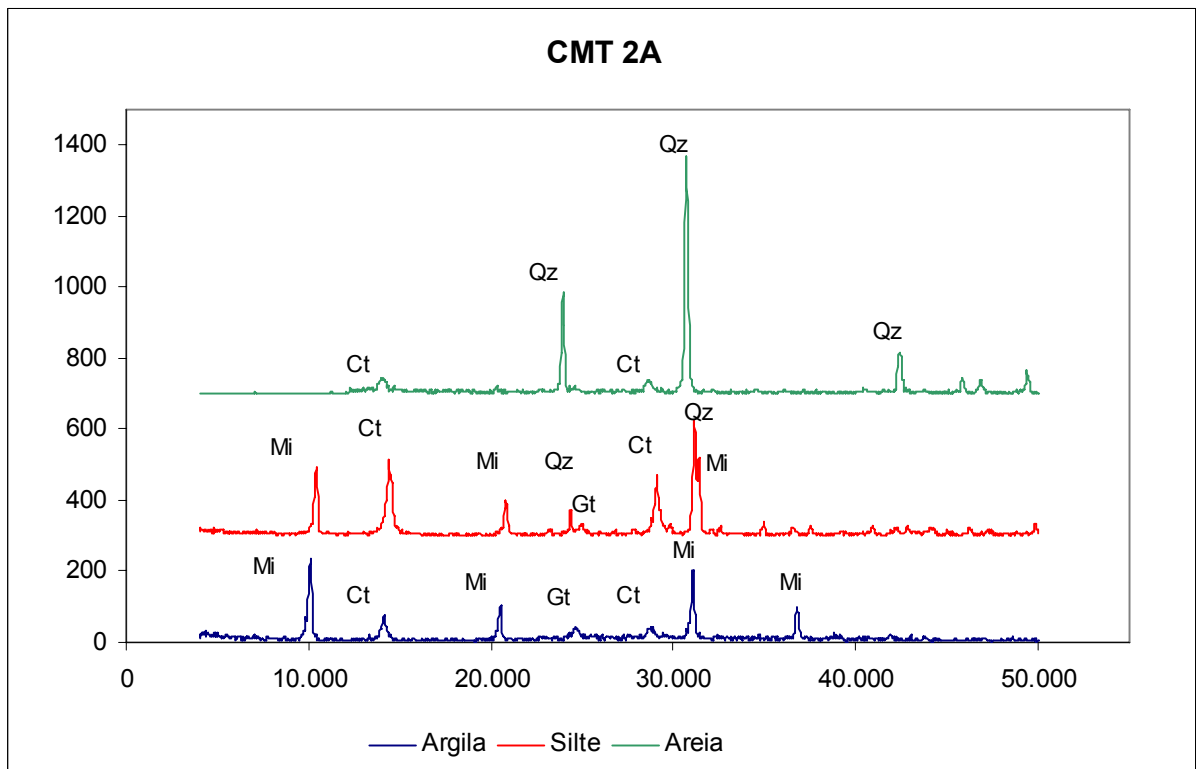


Figura 4.23 - Difratoograma total da amostra CMT 2A.

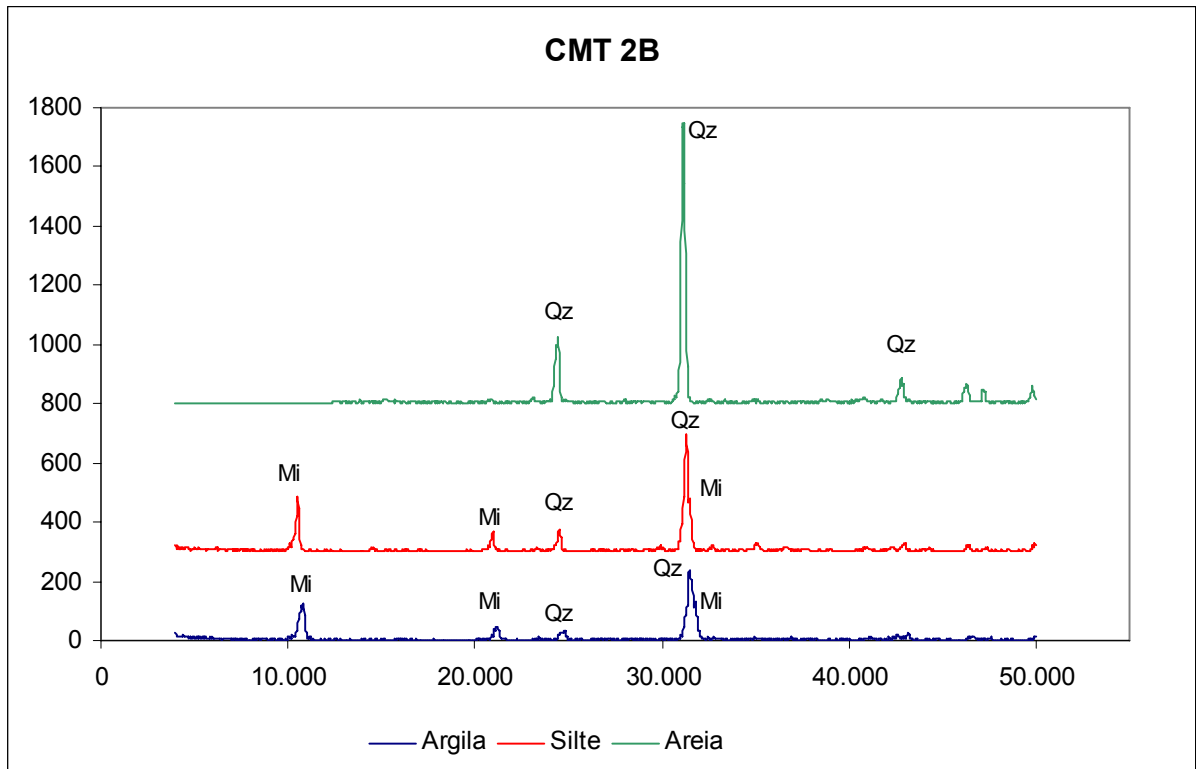


Figura 4.24 - Difratoograma total da amostra CMT 2B.

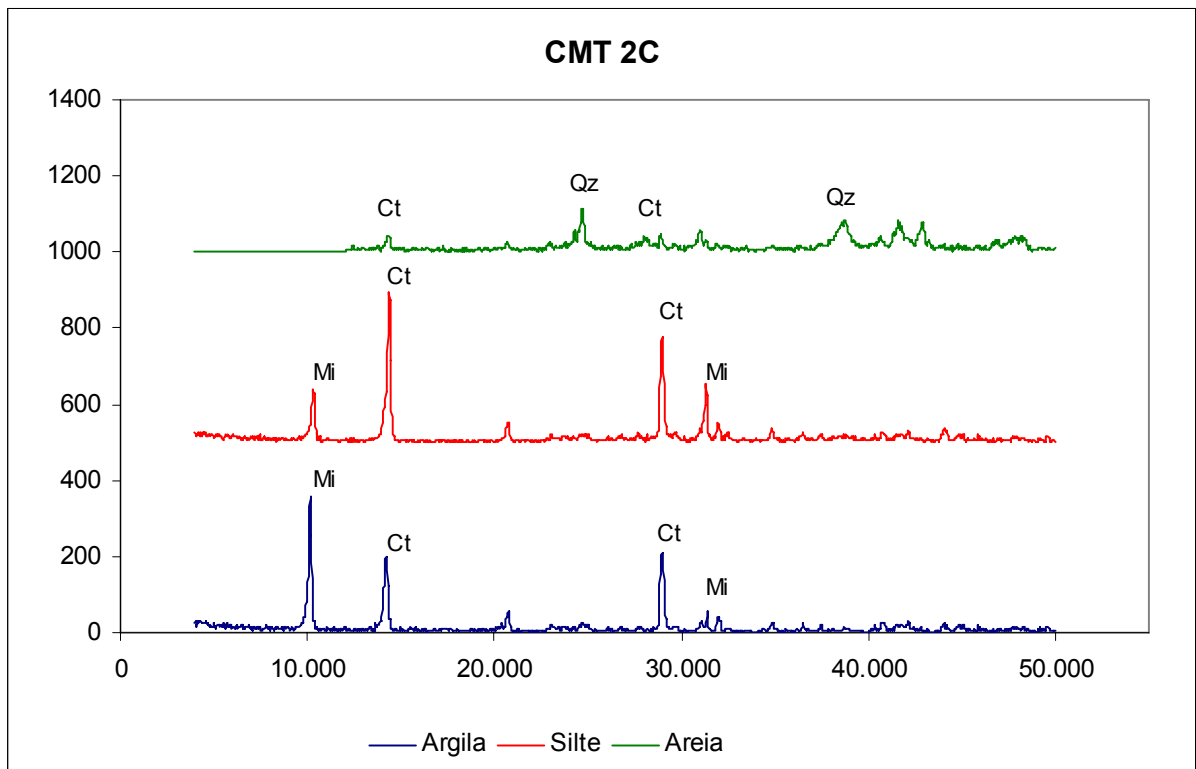


Figura 4.25 - Difratoograma total da amostra CMT 2C.

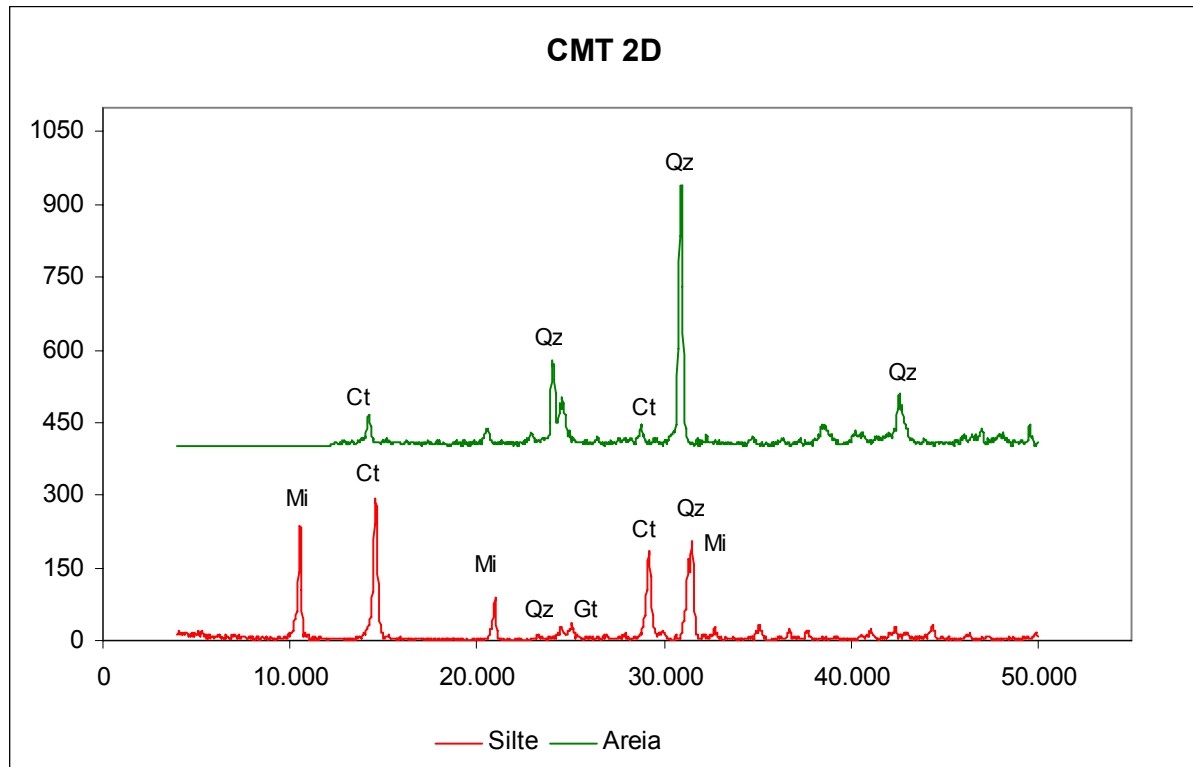


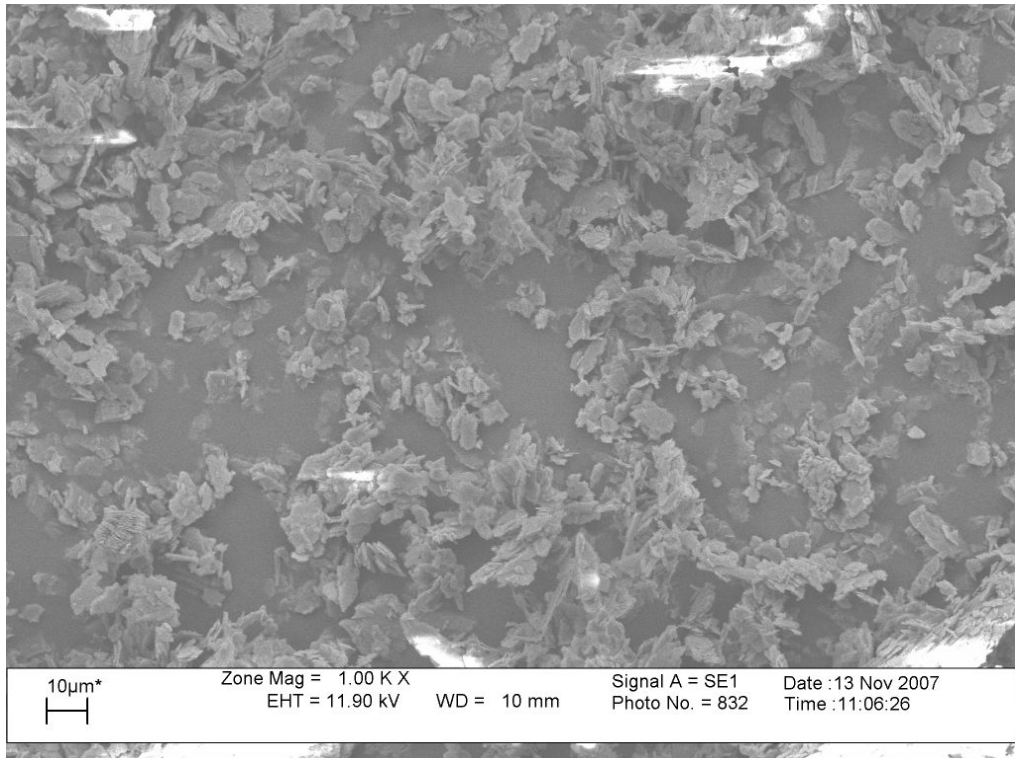
Figura 4.26 - Difratograma total da amostra CMT 2D.

#### 4.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

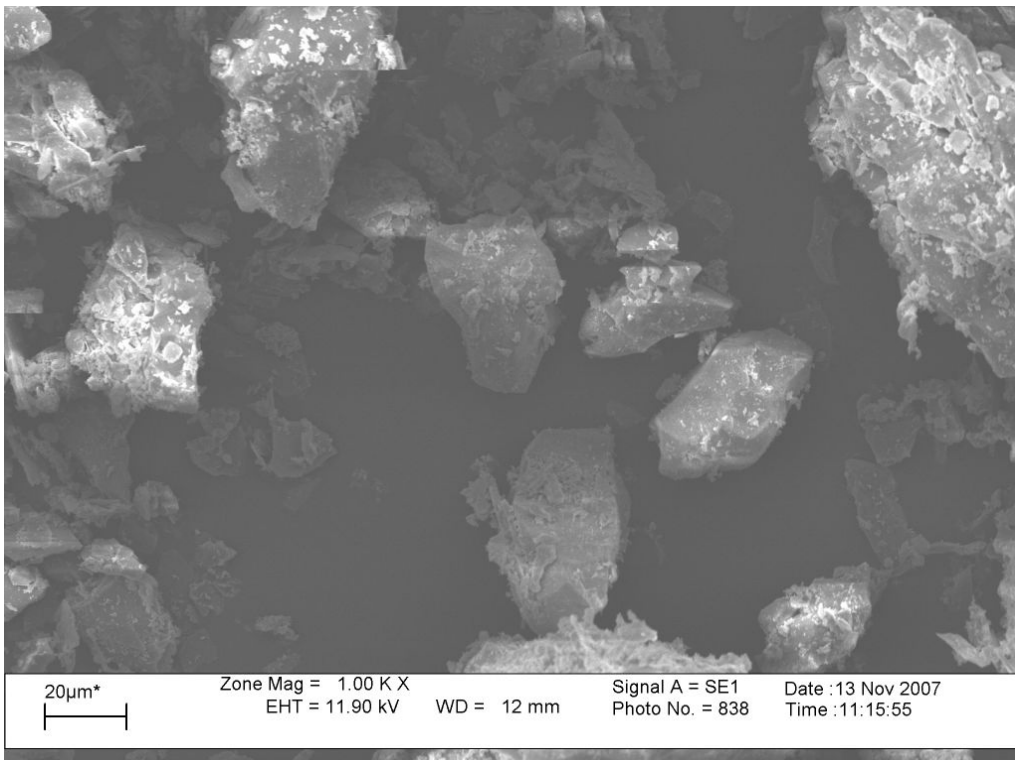
Os procedimentos utilizados na realização das análises no microscópio eletrônico de varredura (MEV) consistem na fixação das amostras na superfície de um suporte metálico, por meio de fita adesiva dupla-face e, a fim de torná-las condutoras, recobertas com uma camada fina de ouro, cerca de 130 a 180 angstroms de espessura, segundo Villar (2002).

As imagens, denominadas fotomicrografias, representam feixes de elétrons bombardeados sobre a amostra, em substituição ao feixe de luz, e focalizados por lentes eletromagnéticas.

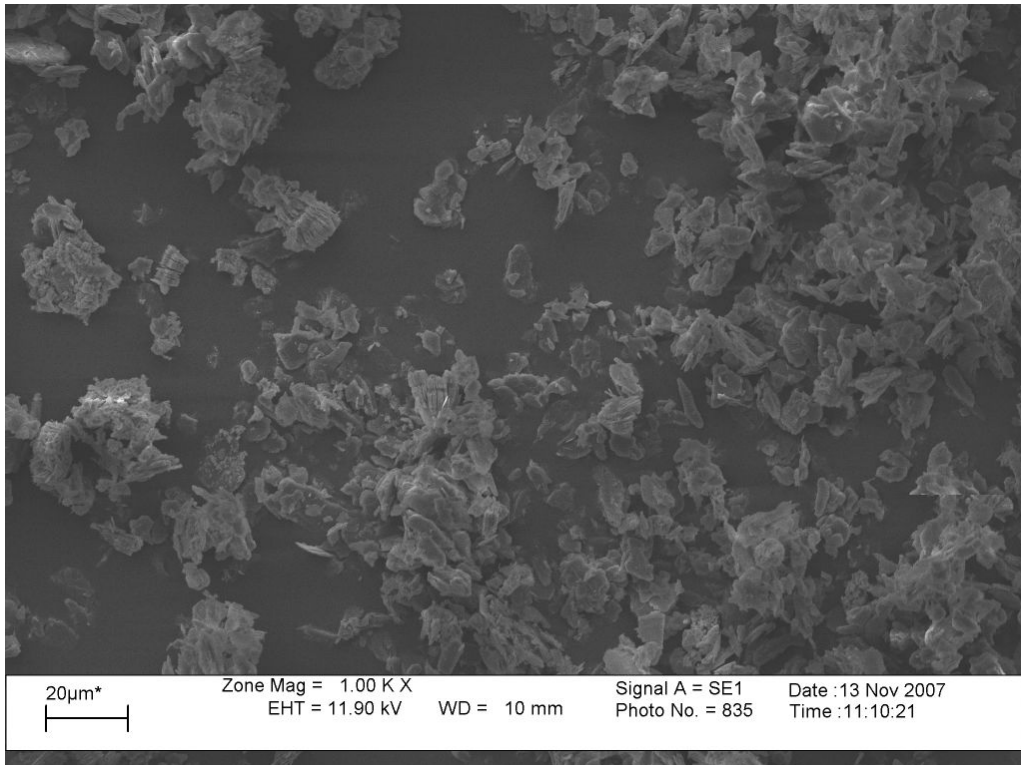
Consideraram-se três ampliações como satisfatórias para as amostras ensaiadas, ou seja, 34, 500 e 1.000 vezes. Porém, para a amostra CMT 2A foram feitas, além das previstas, mais uma imagem de 1.000x e uma imagem com ampliação de 2.000x. As imagens obtidas encontram-se apresentadas nas Figuras 4.27 a 4.34. Ressalta-se que as imagens mostradas referem-se às de maiores ampliações e as demais se encontram no Apêndice A.6.



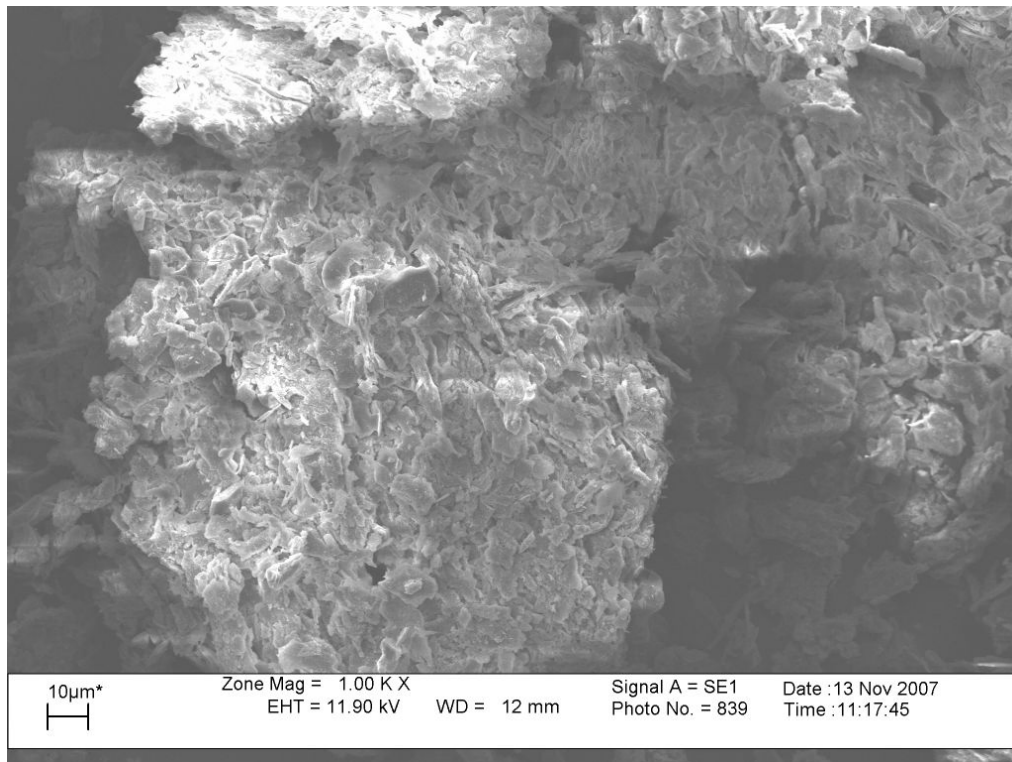
**Figura 4.27** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – PIC 1A.



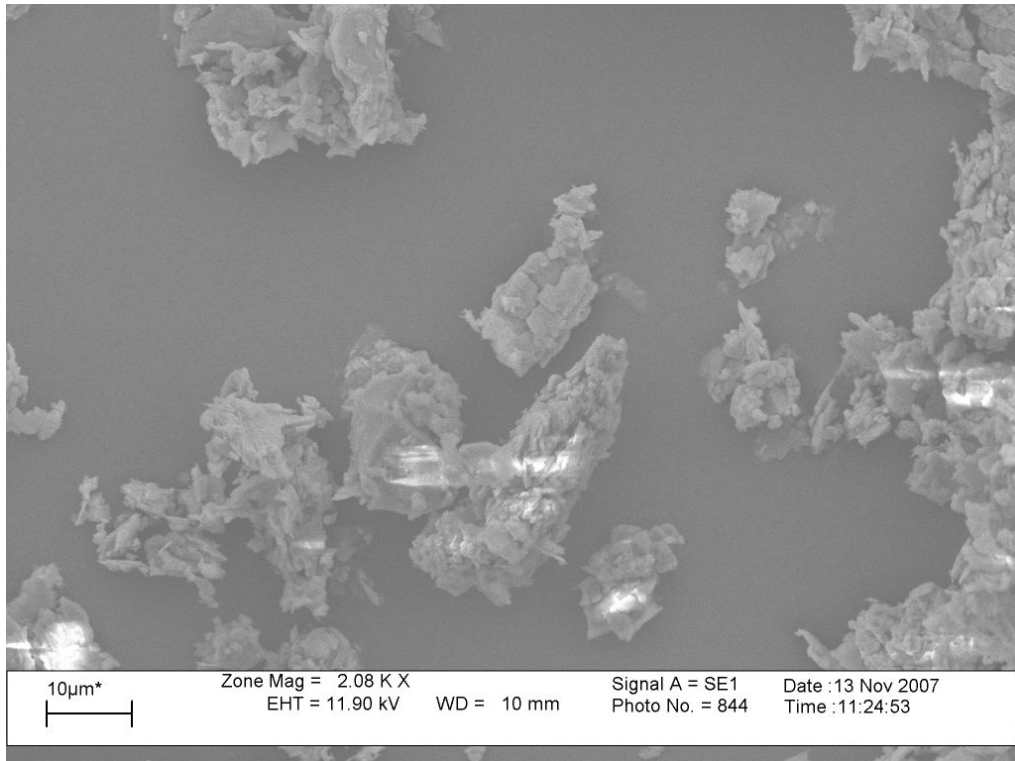
**Figura 4.28** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – PIC 2A.



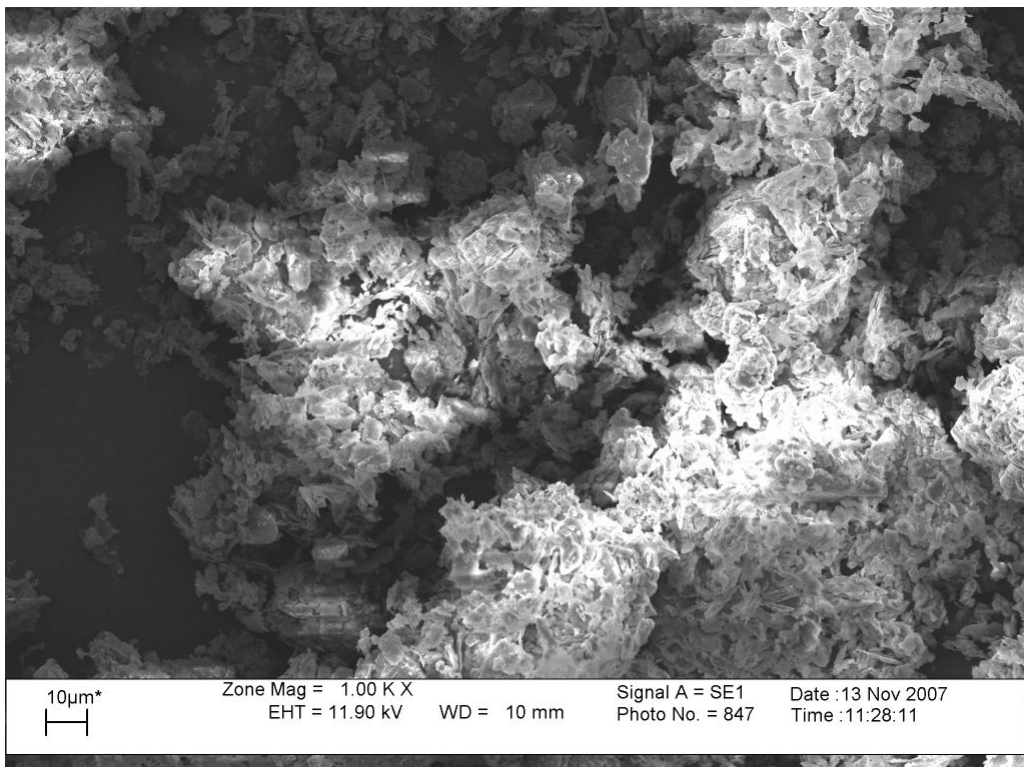
**Figura 4.29** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – PIC 2B.



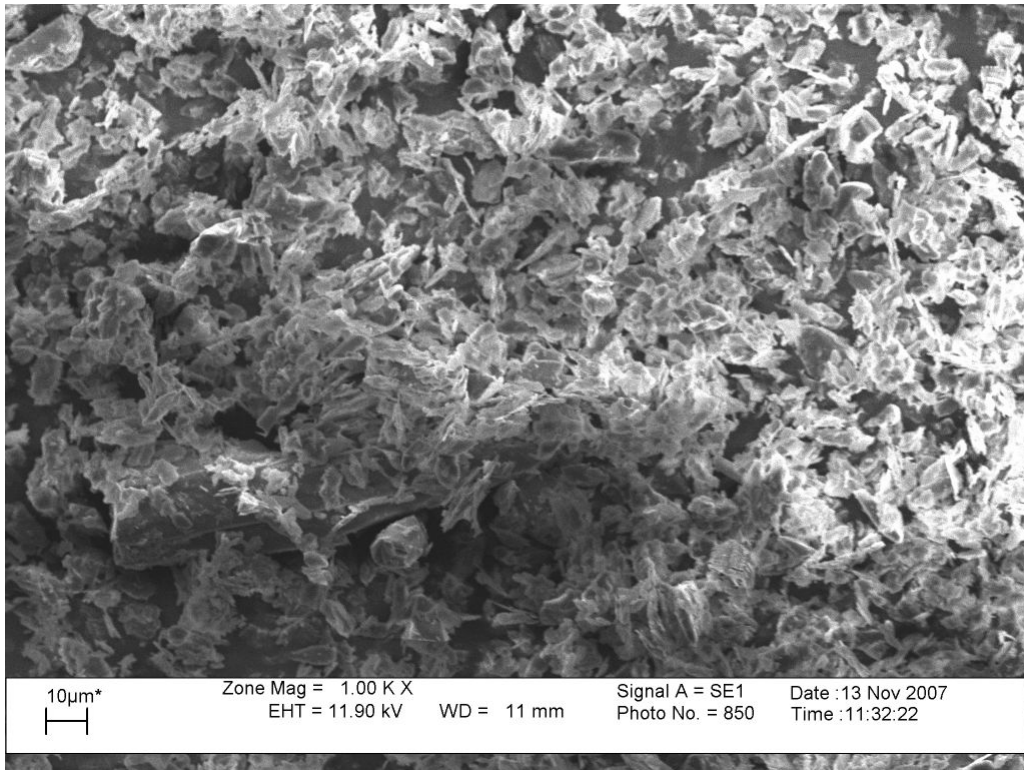
**Figura 4.30** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – PIC 4A.



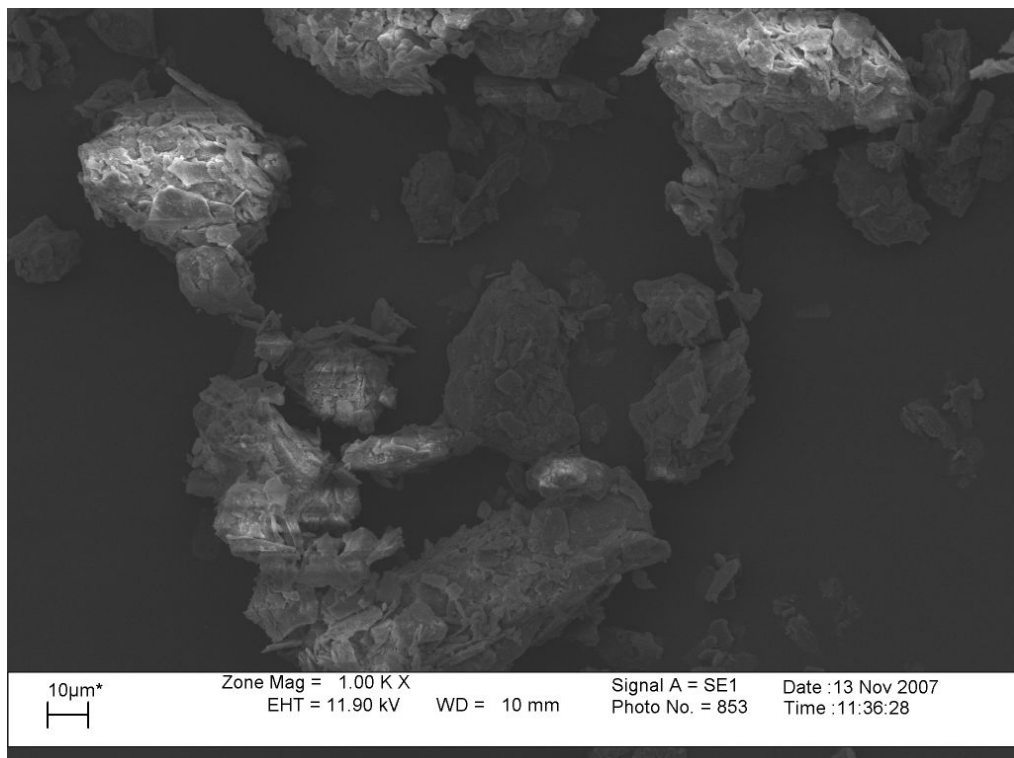
**Figura 4.31** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 2.000 vezes – CMT 2A.



**Figura 4.32** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – CMT 2B.



**Figura 4.33** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – CMT 2C.



**Figura 4.34** - Foto por microscopia eletrônica com ampliação de 1.000 vezes – CMT 2D.