

5 Apresentação e Discussão dos Resultados

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados nesta dissertação. Informações sobre o procedimento e execução dos ensaios, aqui mencionados, são obtidas no capítulo 04.

Deve-se observar no que se segue que, conforme observações de campo, a amostra 03 é a que apresenta um grau mais elevado de intemperização, seguida respectivamente pelas amostras 04 e 02 (esta última encontra-se visualmente menos intemperizada). Dessa forma, nas tabelas e gráficos apresentados neste capítulo os resultados estão por ordem de intemperização, isto é, iniciando da amostra mais alterada até a menos alterada.

5.1. Caracterização física

5.1.1. Análise granulométrica

As Figura 5-1 e Figura 5-2 apresentam as curvas granulométricas das três amostras de solo, com o ensaio de sedimentação realizado com e sem defloculante: hexametáfosfato de sódio e água destilada, respectivamente. Através do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), os resultados dos ensaios granulométricos (considerando a sedimentação com defloculante) juntamente com a determinação dos limites de Atterberg indicaram o seguinte:

- Amostra 02 – areia siltosa (SM);
- Amostra 03 – silte com areia de baixa plasticidade (ML);
- Amostra 04 – silte arenoso de alta plasticidade (MH).

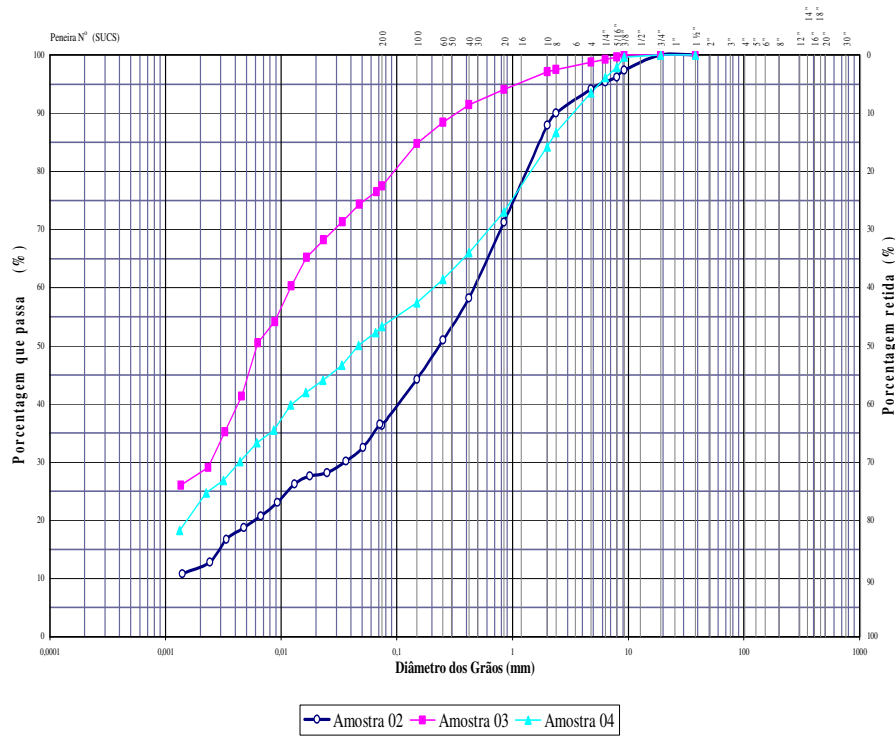


Figura 5-1 – Curvas granulométricas com defloculante (Hexametáfosfato de sódio).

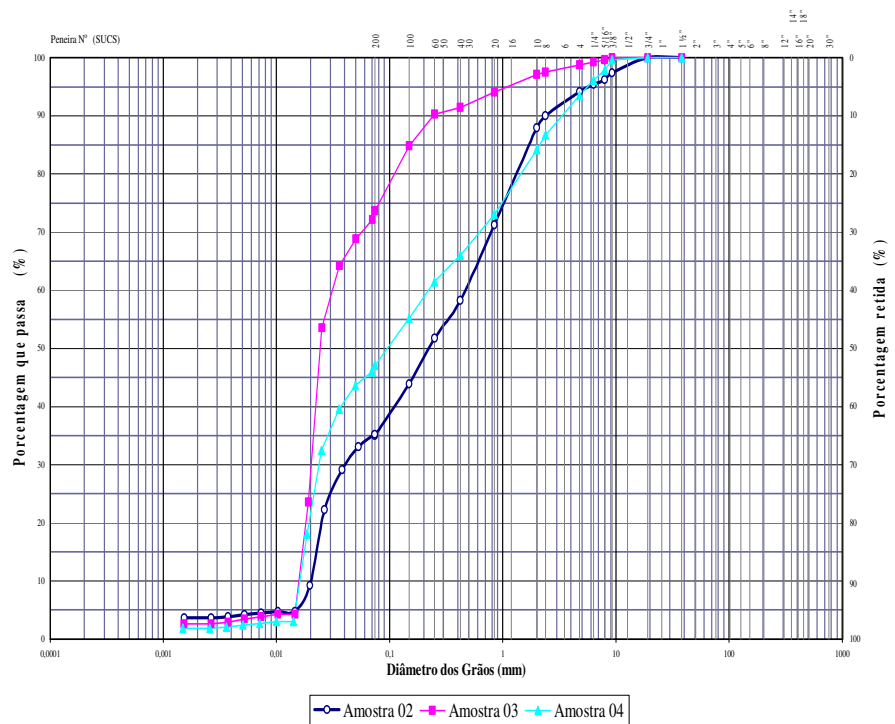


Figura 5-2 – Curvas granulométricas sem defloculante (Água destilada).

Analisando as curvas granulométricas verifica-se que a amostra 03 apresenta uma porcentagem de finos superior a 70%, já na amostra 04 o valor é superior a 50% de finos e a amostra 02 demonstra uma menor quantidade, pouco mais que 30%. A amostra 03 apresenta uma concentração de silte bem superior às demais amostras, tanto no ensaio com defloculante (hexametáfosfato de sódio) quanto no ensaio sem defloculante (água destilada). Este fato pode ser explicado devido a influência do intemperismo químico que forma produtos de alteração de fração fina resultante da alteração dos feldspatos ou feldspatóides em climas tropicais. A relação entre cada amostra de solo e sua respectiva quantidade de finos, é apresentada na Figura 5-3.

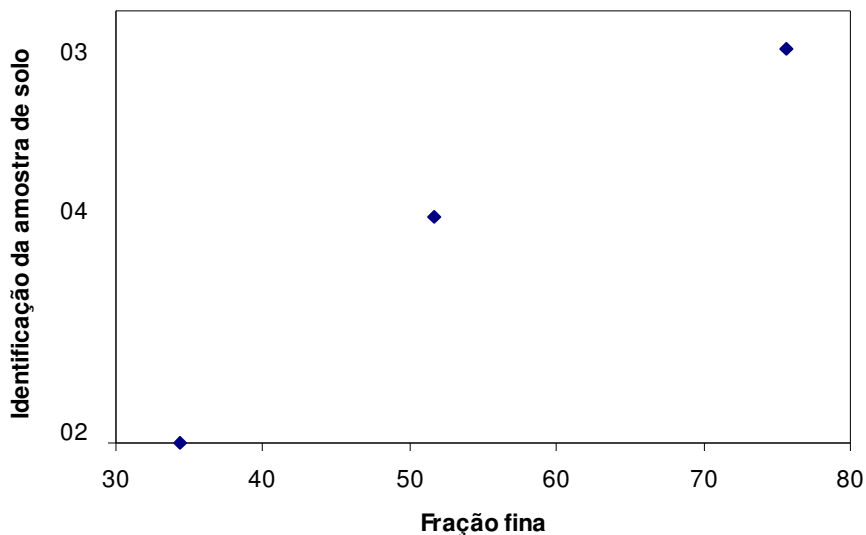


Figura 5-3 – Fração fina das amostras de solo.

Comparando os resultados obtidos nas amostras de solo, onde os ensaios foram realizados com e sem defloculante nota-se que, para os seus estados naturais (ensaios de sedimentação sem defloculante), as amostras apresentaram-se flocladas. Isso ocorreu, provavelmente, devido à aglutinação das partículas, já que não houve a ação do defloculante para dispersá-las.

De acordo com as Tabela 5-1 e Tabela 5-2, observa-se que para os resultados do limite de liquidez (LL) a amostra que apresenta maior valor é a 04, seguida pelas amostras 03 e 02 respectivamente. Já o limite de plasticidade apresenta-se maior para a amostra 03, seguida pelas amostras 04 e 02 nesta ordem.

Amostra	W _{nat} (%)	G _s	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Análise granulométrica			
						Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
03	35,45	2,62	47,19	38,99	8,19	2,90	21,30	47,70	28,00
04	15,69	2,75	51,82	36,63	15,19	15,80	32,60	28,60	23,00
02	14,29	2,68	44,86	34,91	9,96	12,10	53,60	22,30	12,00

Tabela 5-1 – Resultados dos ensaios de caracterização com defloculante (Hexametáfosfato de sódio).

Amostra	W _{nat} (%)	G _s	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Análise granulométrica			
						Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
03	25,36	2,62	47,19	38,99	8,19	2,90	13,20	81,20	2,60
04	13,96	2,75	51,82	36,63	15,19	15,80	29,70	52,70	1,90
02	8,33	2,58	44,86	34,91	9,96	12,10	43,60	40,60	3,70

Tabela 5-2 – Resultados dos ensaios de caracterização sem defloculante (Água destilada).

Com os valores obtidos dos limites de liquidez (LL, %) e plasticidade (LP, %), Tabela 5-1 e Tabela 5-2, foram calculados os índices de plasticidade de cada amostra de solo e então determinado o índice de atividade proposto por Skempton. Através do gráfico abaixo, que representa o índice de atividade das argilas, Figura 5-4, é possível observar que a fração fina da amostra 02 possui atividade normal enquanto as amostras 03 e 04 apresentaram-se como inativas. Isso condiz com os resultados de análises mineralógicas, apresentadas posteriormente neste capítulo, que indicam que as amostras são compostas essencialmente por caulinita, argilomineral que apresenta uma baixa atividade.

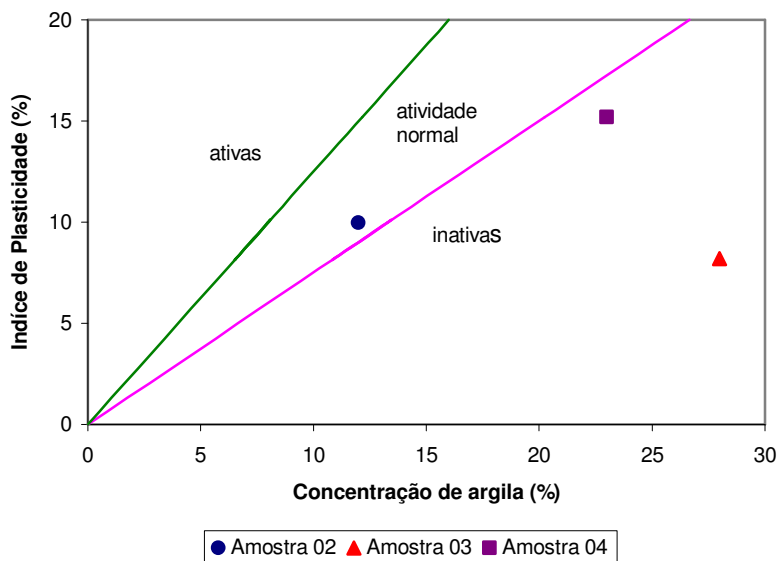


Figura 5-4 – Atividade das três amostras de solo.

Conforme descrito no capítulo 4, por correlação, foram determinados os índices físicos calculados com dados provenientes dos ensaios de curva característica de sucção e compressão diametral, realizados em amostras indeformadas obtidas nos blocos de solo. Na Tabela 5-3 estão os valores máximo, mínimo e médio dos índices do solo em seu estado natural.

Amostra	Valor	G_s	γ_n (kN/m^3)	γ_d (kN/m^3)	Índice de vazios (e)	Porosidade (n)	Grau de Saturação (S)
03	Máx.	-	15,70	11,59	1,22	0,55	0,76
	Mín.	-	11,09	8,19	2,14	0,68	0,43
	Méd.	2,62	13,40	9,89	1,60	0,62	0,58
04	Máx.	-	19,62	16,96	0,59	0,37	0,73
	Mín.	-	14,91	12,89	1,09	0,52	0,39
	Méd.	2,75	17,27	14,93	0,81	0,45	0,53
02	Máx.	-	19,62	17,17	0,53	0,35	0,72
	Mín.	-	15,11	13,22	0,99	0,50	0,39
	Méd.	2,68	17,37	15,20	0,73	0,42	0,52

Tabela 5-3 – Índices físicos obtidos por correlação.

O valor da densidade relativa dos grãos de um solo depende de sua composição mineralógica. A Tabela 5-4 indica os valores de densidade relativa

Mineral	G_s
Quartzo	2,70
Muscovita	2,66-2,73
Caulinita	2,65-2,92
Ilita	2,80-2,83
Esmectita	2,45
Gibsita	4,38
Goethita	5,30
Hematita	4,31-5,61
Magnetita	4,41-5,61

Tabela 5-4 – Densidade relativa dos grãos de alguns minerais (adaptado de Deer *et al.*, 1981).

dos grãos de alguns minerais.

Dos dados da Tabela 5-3, observa-se que os valores da densidade relativa dos grãos estão dentro da faixa de valores de G_s da caulinita, que se apresenta nas três amostras de solo, conforme análises mineralógicas que serão demonstradas posteriormente. Nas Figura 5-5 a Figura 5-7 são apresentados os gráficos que relacionam os dados indicados na Tabela 5-3.

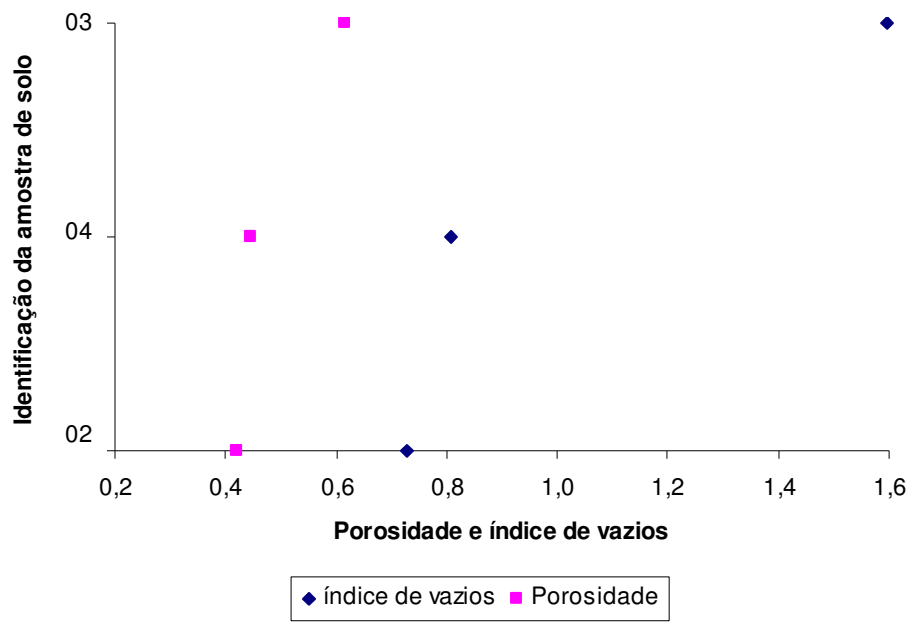


Figura 5-5 – Índice de vazios e porosidade de cada amostra de solo.

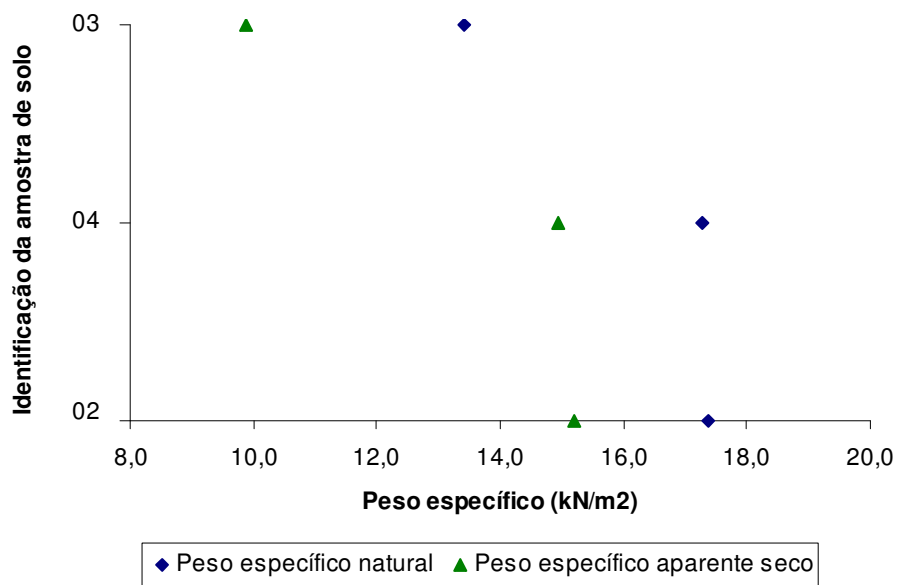


Figura 5-6 – Peso específico natural e peso específico aparente seco de cada amostra de solo.

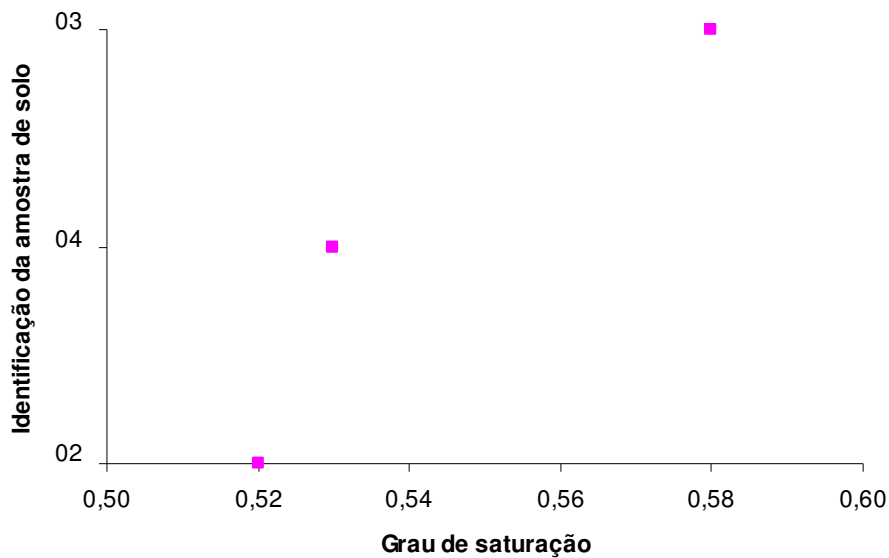


Figura 5-7 – Grau de saturação de cada amostra de solo.

5.2. Porosimetria de mercúrio

A metodologia de análise de poros utilizada nesse trabalho foi a mesma adotada por Oliveira (2006). Isso se deve ao fato de não existir uma terminologia universal para a classificação do tamanho dos poros do solo. Dessa forma, cada pesquisador utiliza um critério de classificação de acordo com sua área de atuação.

A classificação dos espaços porosos utilizada pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) aplica o seguinte critério:

Macroporos – poros com diâmetro superior a 0,5 μm ;

Mesoporos – poros com diâmetro entre 0,2 μm e 0,5 μm ;

Microporos – poros com diâmetro inferior a 0,2 μm .

Já Delage *et al.* (1996), classifica os poros da seguinte forma:

Grandes – poros com diâmetro superior a 50 μm ;

Médios – poros com diâmetro entre 0,5 e 50 μm ;

Pequenos – poros com diâmetro inferior a 0,5 μm .

Martinez (2003), ao analisar o comportamento de três solos lateríticos da Formação Barreiras, estado da Paraíba, observou que as duas classificações que haviam sido propostas anteriormente não se mostraram adequadas para o estudo de poros daqueles solos, dessa forma, a autora propôs uma outra classificação, apresentada a seguir:

Macroporos – poros com diâmetro superior a $4\ \mu\text{m}$;

Mesoporos – poros com diâmetro inferior a $4\ \mu\text{m}$.

Por outro lado, Brewer (1976), classificou os poros adotando o seguinte:

Macroporos – poros com diâmetro superior a $75\ \mu\text{m}$;

Mesoporos – poros com diâmetro entre $30\ \mu\text{m}$ e $75\ \mu\text{m}$;

Microporos – poros com diâmetro entre $5\ \mu\text{m}$ e $30\ \mu\text{m}$;

Ultramicroporos – poros com diâmetro entre $0,1\ \mu\text{m}$ e $5\ \mu\text{m}$;

Criptoros – poros com diâmetro menor que $0,1\ \mu\text{m}$.

A seguir, Figura 5-8, são apresentadas as curvas obtidas da interpretação dos resultados dos ensaios de porosimetria de mercúrio realizados nas amostras de solo 02, 03 e 04.

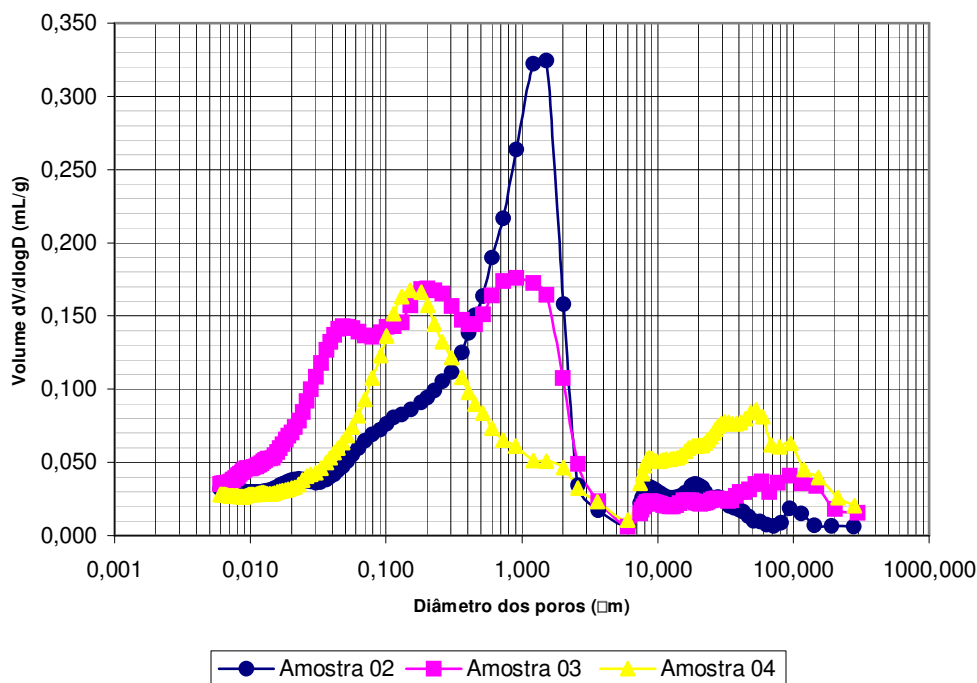


Figura 5-8 – Curvas obtidas pelo ensaio de porosimetria de mercúrio.

Observa-se que as curvas se comportam de forma diferente para as três amostras de solo. De acordo com Moncada (2008), os picos presentes nessas curvas representam concentração de poros de um diâmetro específico. Com base nessa citação pode-se observar que as curvas correspondentes às amostras 03 e 04 apresentam uma concentração de poros de diâmetros distintos, o mesmo não ocorre com a amostra 02 que indica somente um pico referindo-se a um diâmetro, representativo, específico, isto é, a curva representa uma forma unimodal. Esse comportamento das amostras de solo também foi

observado nas curvas características de sucção que apresentaram para a amostra 03 três pontos de inflexão indicando uma distribuição de poros concentrados em três diâmetros distintos. A amostra 04 demonstrou uma distribuição bi-modal de poros. Já a amostra 02 apresentou curva com apenas um ponto de inflexão indicando distribuição mono-modal.

Com relação às classificações apresentadas anteriormente, a que se mostrou mais adequada às curvas obtidas pelo ensaio foi a proposta por Brewer (1976), Figura 5-9. Esse critério proporciona uma melhor abrangência no comportamento das três amostras de solo. Nota-se que a amostra 03 possui diâmetros representativos nos seguintes valores: 0,05 μm ; 0,2 μm e 0,9 μm . Já a amostra 04 indica poros com diâmetros correspondentes a 0,15 μm e 53,34 μm e na amostra 02 os poros possuem diâmetro equivalente a 1,51 μm .

Observa-se que as amostras de solo apresentam-se, em sua maioria, com diâmetros muito pequenos (ultramicroporos). Essa característica da estrutura do solo também foi observada na análise de lâminas micromorfológicas que será discutida posteriormente.

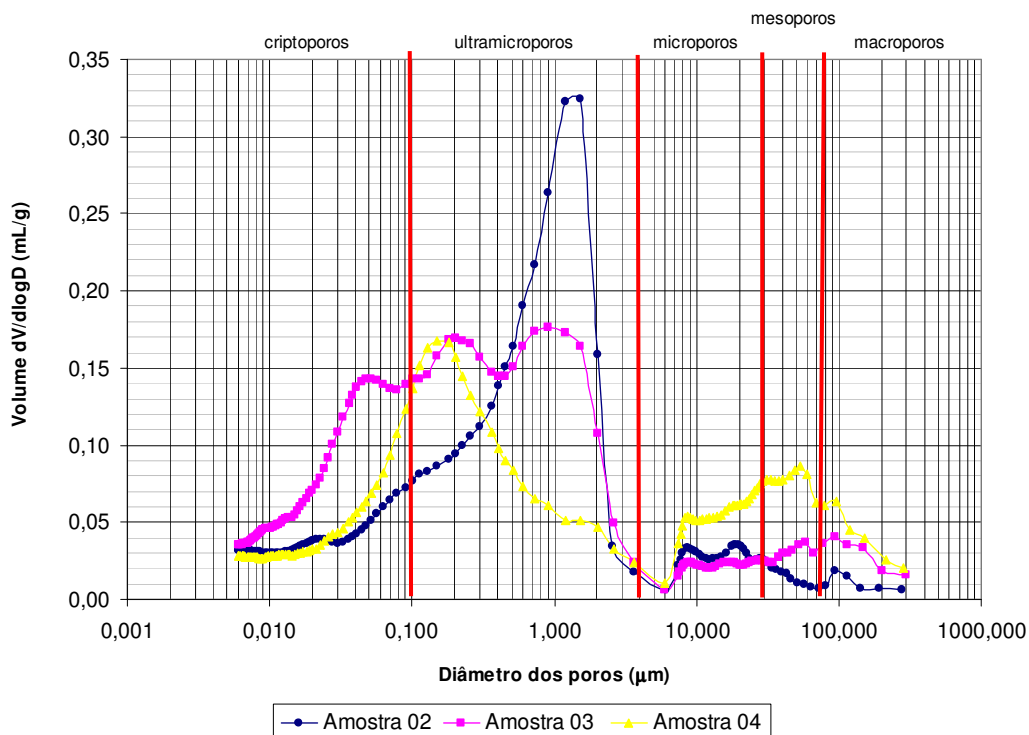


Figura 5-9 – Curvas obtidas através do ensaio de porosimetria de mercúrio – classificação por Brewer (1976).

São apresentados, Tabela 5-5, os valores correspondentes à porosidade total das amostras, adquiridos no ensaio de porosimetria de mercúrio. Esses resultados foram obtidos através do produto do volume total de mercúrio (injetado na amostra por grama de solo) pelo peso específico seco do solo (obtido nesse ensaio). De acordo com esses valores a amostra 03 indica uma porosidade maior que as outras amostras. Esses resultados são compatíveis com os observados nos índices físicos, obtidos por correlação. Apesar dos valores das amostras 02 e 04 diferirem nos dois ensaios, elas apresentam valores bem semelhantes entre si. Porém, pode-se observar que a tendência apresentada é a mesma, indicando tanto no ensaio em questão quanto nos índices obtidos por correlação que a amostra 03 apresenta uma concentração maior de poros.

Amostra	Porosidade total (%)
03	49
04	43
02	45

Tabela 5-5 – Porosidade obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio.

Oliveira (2006) analisando o comportamento de um perfil de intemperismo, originado de um granito-gnaiss na região de Curitiba, formado por cinco camadas distintas, encontrou uma boa correlação entre os índices de vazios dessas camadas de solo. Esses índices aumentaram com o aumento da profundidade com exceção do solo mais intemperizado. A autora indicou que essa faixa de índice de vazios, inferior aos de camadas mais profundas, poderia ser decorrente da migração de partículas sólidas lixiviadas pelo solo maduro.

Os resultados obtidos no presente trabalho indicam a amostra 03 com um grau de alteração superior as demais amostras de solo.

5.3. Caracterização química

5.3.1. Análise química total

A Tabela 5-6, a seguir, apresenta os resultados obtidos na análise química total realizada nas amostras de solo e rocha, conforme mencionado no capítulo anterior. Nessa tabela também são apresentados dados referentes a amostra de

rocha alcalina, sienito, extraídos de Valença (1980), onde as amostras correspondentes foram denominadas como I, II e III.

Amostra	Concentração de índices químicos (%)								PF (%)	Total (%)	Elementos Traços
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	ZrO ₂	SO ₃	CaO			
03	27,84	54,05	7,32	0,31	2,22	0,27	-	-	7,44	99,45	Na, Mg, P, Ca, Nb, Mn, Rb, Sr, Y, Ba
04	23,18	63,08	2,64	0,39	2,77	0,13	-	-	7,27	99,46	Mg, P, S, Ca, Nb, Rb, Sr, Y
02	26,36	57,75	6,82	0,64	1,31	0,21	-	-	6,56	99,65	Na, Mg, P, S, Ca, Nb, Cr, Rb, Sr, Ba
III	19,77	54,94	9,15	1,36	2,53	0,04	-	3,48	1,71	92,98	Ba, Sr, Rb, Nb, Zr, Y
II	19,14	57,40	8,58	0,09	2,38	0,07	-	2,48	1,33	91,47	Ba, Sr, Rb, Nb, Zr, Y
I	18,98	58,61	8,10	1,08	2,19	0,06	-	2,13	1,35	92,50	Ba, Sr, Rb, Nb, Zr, Y
01	4,52	75,45	2,84	-	0,65	-	0,31	12,59	3,34	99,70	Na, Mg, P, Ti, Cr, Mn, Co, Rb, Sr, Zr
06	4,40	90,98	1,38	-	1,16	-	1,03	-	0,30	99,25	Zr, Zn, Rb, Sr, Nb, Ga
05	3,65	91,63	1,17	-	1,15	-	0,97	0,44	0,20	99,21	Zr, Zn, Rb, Sr, Nb, Ga

Tabela 5-6 – Concentração de índices químicos.

Como citado no capítulo 3, ao analisar os resultados obtidos dos fragmentos de rocha coletados, observou-se que esses fragmentos não eram provenientes de rocha alcalina principalmente devido à alta concentração de sílica. Dessa forma, foram utilizados para a correlação solo/rocha, nesta dissertação, os valores extraídos de Valença (1980).

Quanto maior a concentração da alumina e lixiviação da sílica maior é o processo de intemperização do solo. Analisando a Tabela 5-6, amostras de solo (2, 3 e 4) e de rocha (I, II e III), verifica-se que a concentração de alumina e lixiviação da sílica, para as três amostras de solo, indica a amostra 03 com os maiores valores. Com relação ao índice de perda ao fogo, de acordo com Oliveira (2006), esse índice está diretamente relacionado com o grau de

intemperismo de um solo, pois ele aumenta em função do maior grau de alteração do material. Com base nessa citação, observa-se que a amostra 03 apresenta o maior valor do índice de perda ao fogo, seguida pelas amostras 04 e 02 respectivamente.

5.3.2. Análise química parcial

A análise química parcial foi realizada em amostras de solo por meio do ataque sulfúrico e do complexo sortivo. O ataque sulfúrico decompõe somente os minerais secundários (argilominerais, oxi-hidróxido de Fe e Al), já o complexo sortivo determina os cátions trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+} , Na^{2+}), isto é, adsorvidos ao argilomineral. Nas Tabela 5-7 e Tabela 5-8 são apresentados os resultados das análises.

Amostra	Ataque sulfúrico (g/kg)				SiO ₂ / Al ₂ O ₃ (Ki)	SiO ₂ / (Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃) (Kr)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂		
03	161	186	30	2,00	1,47	1,34
04	216	197	35	1,70	1,86	1,67
02	157	156	18	1,40	1,71	1,59

Tabela 5-7 – Análise química parcial – ataque sulfúrico.

Amostra	Complexo sortivo (cmol _c /kg)				Valor S (soma)	Al ³⁺	H ⁺	Valor T (soma)	Superfície Específica SE
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ²⁺	Na ²⁺					
03	0,20	3,20	0,43	0,19	4,00	0,90	1,20	6,10	47,61
04	0,10	1,60	0,10	0,11	1,90	7,10	1,60	10,60	82,73
02	0,20	1,80	0,46	0,59	3,00	0,70	1,50	5,20	40,58

Tabela 5-8 – Análise química parcial – complexo sortivo.

Os valores das relações moleculares Ki e Kr, segundo Lopes (2006), são utilizados como indicadores do grau de intemperismo, pois o solo será mais intemperizado quanto menores forem esses resultados. Antonello (1983), ao estudar a gênese de perfis alcalinos no Maciço do Itatiaia, observou que os resultados desses índices químicos aumentaram da parte superficial para os horizontes subjacentes nos quatro perfis estudados. Ela notou também que houve um acúmulo de óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro no horizonte B desses perfis.

De acordo com a Tabela 5-7, nota-se que a amostra de solo que indica maior grau de intemperização, isto é, a que possui os menores valores de Ki e Kr

é a amostra 03 correspondendo a 1,47 e 1,34 respectivamente. Em seguida, apresentam-se as amostras 02 e 04 nesta ordem. Na Figura 5-10 pode-se verificar a variação desses índices (Ki e Kr) nas amostras de solo 02, 03 e 04.

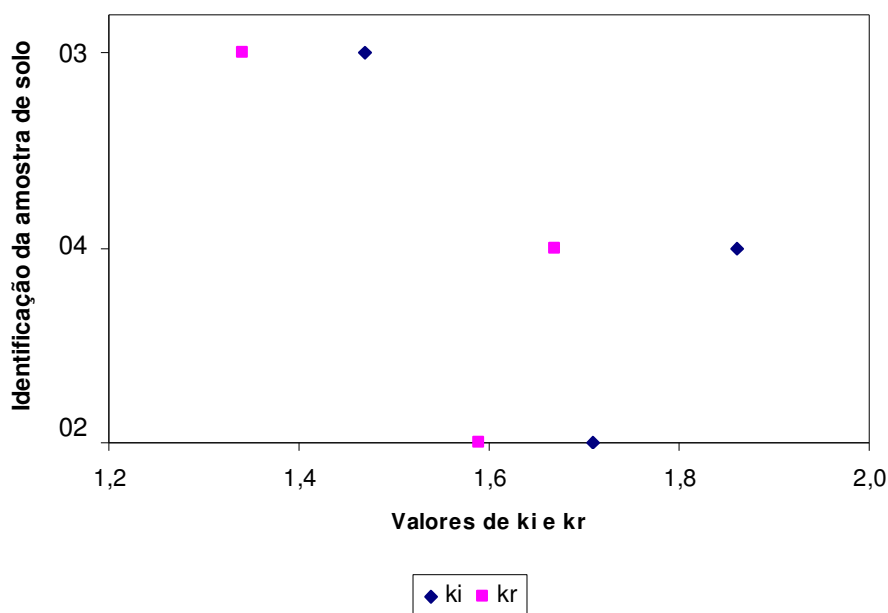


Figura 5-10 – Variação de Ki e Kr.

Analisando a Tabela 5-8, demonstrada anteriormente, observa-se que a amostra 04 apresenta uma concentração de Al^{3+} trocáveis bem superior as demais amostras de solo. Como os resultados obtidos nos ensaios estão diretamente relacionados com o local de amostragem, de acordo com Antunes (2008), o que pode ter ocorrido é que no local onde foi extraída a amostra 04 pode existir algum elemento que apresente uma maior concentração Al^{3+} trocáveis. Antonello (1983) verificou que os teores de Al^{3+} trocáveis diminuíram com a profundidade para os quatro perfis de origem alcalina estudados por ela, isto é, as camadas mais profundas apresentaram menor quantidade de Al^{3+} trocáveis. Ao observar os resultados das amostras de solo em estudo nesta dissertação, nota-se que a amostra que possui menor concentração de Al^{3+} trocáveis é a amostra 02.

Com relação aos valores de superfície específica, obtidos através da soma de bases (S), conforme equação (5-1), e concentrações de Al^{3+} e H^+ (T), de acordo com a equação (5-2), é possível determinar o nível de atividade do solo expresso pela equação (5-3), pois quanto maior a superfície específica mais ativo é o argilomineral.

$$S = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}) \quad (5-1)$$

$$T = (S + Al^{3+} + H^{+}) \quad (5-2)$$

$$S.E = 7,8043 \times T \quad (5-3)$$

A área de superfície específica está diretamente relacionada ao tamanho e forma do grão, que por sua vez está associado à mineralogia do solo. As cargas de superfície ocorrem normalmente devido à substituição isomórfica. Assim, os solos argilosos apresentam alta atividade devido à superfície específica elevada e à ocorrência de substituição isomórfica no reticulado cristalino. Nesses solos a superfície do mineral encontra-se recoberta por uma solução eletrolítica de água e a interação mineral-mineral se dá por meio desta camada de hidratação. Já nos solos arenosos a interação entre as partículas é predominantemente de natureza gravitacional, enquanto a interação entre as partículas por meio da água, é de natureza predominantemente capilar.

A capacidade de troca catiônica é maior quanto maior for à fração fina do solo, ou seja, ela aumenta juntamente com o grau de intemperismo. Esse comportamento pode ser observado nas amostras ensaiadas com exceção da amostra 04, que apresenta um valor de T bem superior aos resultados das demais amostras, justamente devido à alta concentração de Al^{3+} trocáveis já mencionado anteriormente.

5.3.3. Matéria orgânica, pH e condutividade elétrica

Além das análises químicas citadas anteriormente foram determinados o pH, o teor de matéria orgânica e a condutividade elétrica das três amostras de solo. A Tabela 5-9 apresenta os valores obtidos através desses ensaios.

Amostra	pH			Matéria orgânica em mufla a 400° C	Matéria orgânica Embrapa (%)	Condutividade elétrica (mS/cm)
	Água	KCl 1N	Δ pH *			
03	5,40	4,10	-1,30	0,43	-	0,18
04	4,60	3,80	-0,80	0,41	-	0,13
02	4,80	3,50	-1,30	0,36	-	0,52

* Δ pH = pH (KCl) – pH (água)

Tabela 5-9 – pH, matéria orgânica e condutividade elétrica.

Com relação ao teor de matéria orgânica, identificou-se através do ensaio realizado na mufla que a amostra 03 apresenta o maior teor, seguida respectivamente pelas amostras 04 e 02. Essa variação da matéria orgânica nas

amostras de solo pode ser verificada na Figura 5-11. Já a análise realizada pela EMBRAPA não indicou presença de matéria orgânica no solo. Oliveira (2006) verificou pouca diferença para os diferentes tipos de solo no teor de matéria orgânica pela metodologia da EMBRAPA. No entanto, a determinação da matéria orgânica a partir da mufla apresentou teores que decresceram com o aumento da profundidade.

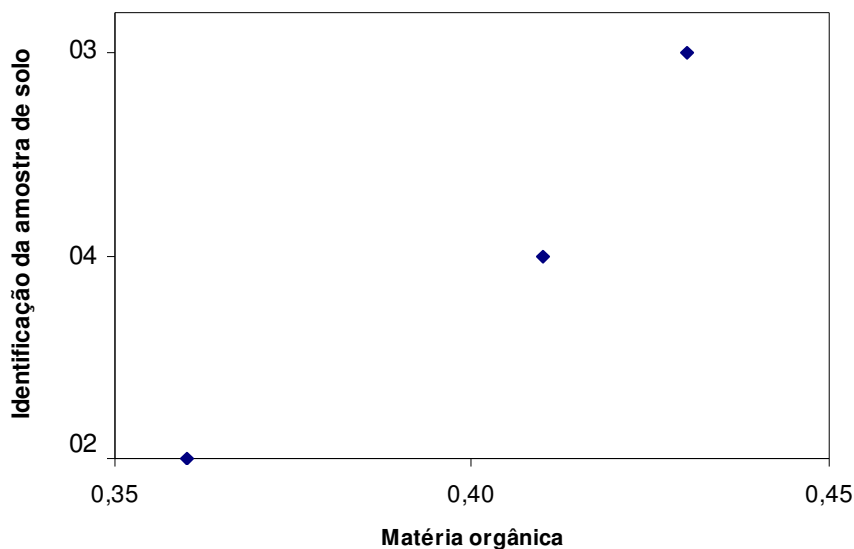


Figura 5-11 – Variação do teor de matéria orgânica.

De acordo com Antunes (2008), os valores das porcentagens de matéria orgânica obtidos pela mufla quando relacionados com os resultados encontrados pela EMBRAPA, podem ser explicados com base em alguns compostos minerais (hidróxidos cristalinos e amorfos) que iniciam o processo de perda d'água a uma temperatura de 300°C, dessa forma a porcentagem de matéria orgânica determinada com esse procedimento não é somente resultado do seu teor, já que a mesma é obtida a partir da diferença de massa do material quando submetido a uma temperatura de 400°C.

Segundo Santos (1975), a matéria orgânica tem muita influência na capacidade de troca catiônica uma vez que 100g de matéria orgânica apresenta uma capacidade de troca de cátions 150 a 200meq que são resultados semelhantes aos obtidos com uma esmectita ou vermiculita. Essa afirmação pode indicar a baixa capacidade de troca catiônica do material uma vez que possui teores de matéria orgânica muito baixos.

A determinação do pH em água (H₂O) e em cloreto de potássio (KCl) estabelece o índice de acidez do solo. De acordo com os resultados obtidos, os solos das amostras estudadas são ácidos, pois os valores encontrados para o pH tanto em água quanto em cloreto de potássio são inferiores a 7 como pode ser visto na Figura 5-12.

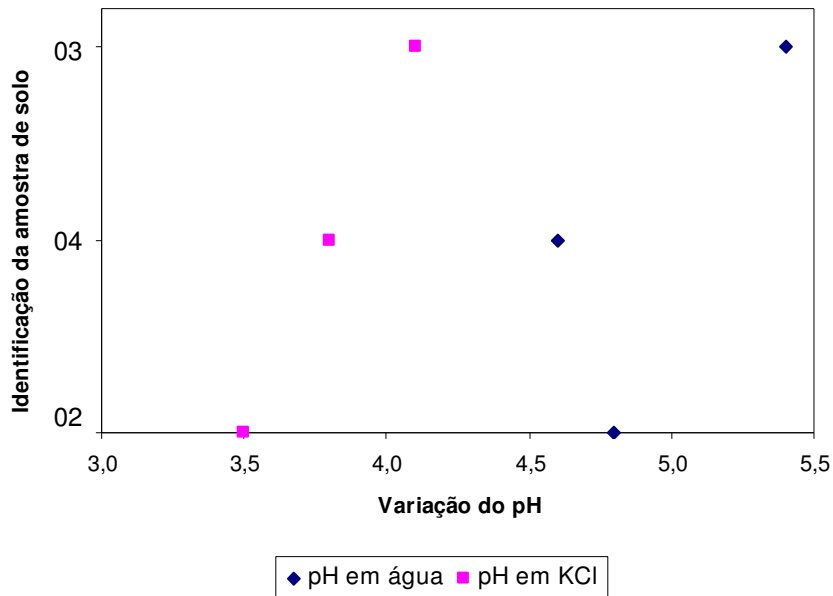


Figura 5-12 – Variação de pH.

Os valores de pH em água e em KCl 1N variam de 3,5 a 5,4 para as três amostras de solo. Para os quatro perfis de rocha alcalina estudados por Antonello (1983) esses resultados variaram de 4,0 a 5,3. Esses valores são compatíveis com os obtidos nesse estudo.

A diferença entre o pH em KCl e o pH em água determina o Δ pH, que indica a capacidade do solo de reter cátions ou ânions conforme a variação do pH. Os resultados positivos do Δ pH revelam a capacidade de retenção de ânions enquanto os negativos indicam a capacidade de reter cátions (Agnelli e Albiero, 1997). Dessa forma, nota-se que nas amostras estudadas predomina a retenção de cátions, pois os valores de Δ pH são negativos.

A condutividade elétrica, já discutida por Rahimi *et al.* (1999), Nadler e Frenkel (1980), Carvalho (2006), entre outros, indica o poder de condução de um solo. Nadler e Frenkel (1980) afirmam que o solo pode conduzir corrente através da água intersticial, que contém eletrólitos dissolvidos, e por meio de cátions trocáveis que se localizam próximo as superfícies carregadas das partículas de solo e são eletricamente móveis. Segundo Fernandes (2002), a condutividade

elétrica é dependente dos detalhes finos da microestrutura do solo sendo então, primariamente, dependente da porosidade. Na análise da porosidade obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio a amostra que apresenta menor porosidade é a amostra 02, que corresponde a menor condutividade elétrica encontrada nas amostras de solo ensaiadas.

5.4. Caracterização mineralógica

5.4.1. Observação em lupa binocular

Com base em observações realizadas através da lupa binocular foram identificados os minerais presentes em cada amostra de solo que serão apresentados a seguir.

A amostra 02, Figura 5-13, é composta por material branco, possivelmente produto da alteração dos feldspatos, e muito resistente quando pressionado com o auxílio do estilete. Alguns grãos ainda indicam vestígios dos feldspatos. O material apresenta fragmentos subarredondados e poucos grãos amarronzados, isto é, coloridos pelo hidróxido de ferro.



Figura 5-13 – Amostra 02 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.

A amostra 03, Figura 5-14, também apresenta fragmentos subarredondados brancos e amarronzados, coloridos pelo hidróxido de ferro, que constituem a maior parte dos grãos. Esses grãos são menos resistentes que a amostra anterior quando pressionados com o auxílio do estilete. Ainda é possível encontrar vestígios de feldspatos em alguns fragmentos brancos.



Figura 5-14 – Amostra 03 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.

A amostra 04, Figura 5-15, é formada por fragmentos brancos e amarronzados, manchados por hidróxido de manganês. Esse material apresenta fragmentos semelhantes ao *chert* (tipo de rocha cujo constituinte principal é a sílica) de alta resistência. Raros fragmentos de geodo, cavidade arredondada preenchida por minerais, também foram encontrados, assim como o quartzo facetado.



Figura 5-15 – Amostra 04 – Pedregulho e areias grossa, média e fina.

De acordo com as características apresentadas e observadas em cada amostra de solo e com base em suas imagens, a amostra 02 é a que apresenta fragmentos com alta resistência quando submetidos à pressão do estilete, enquanto a amostra 03 indica uma maior quantidade, que as demais amostras de solo, de fragmentos coloridos por hidróxido de ferro.

5.4.2. Difração de raios-X

A partir dos difratogramas obtidos por meio da difração de raios-X (método do pó), foram detectados os minerais presentes nas amostras de solo, Figura 5-16 a Figura 5-21. Nos difratogramas os picos bem definidos e simétricos indicam o mineral com estrutura bem cristalizada. Já os picos abaulados representam a pouca cristalização dos minerais.

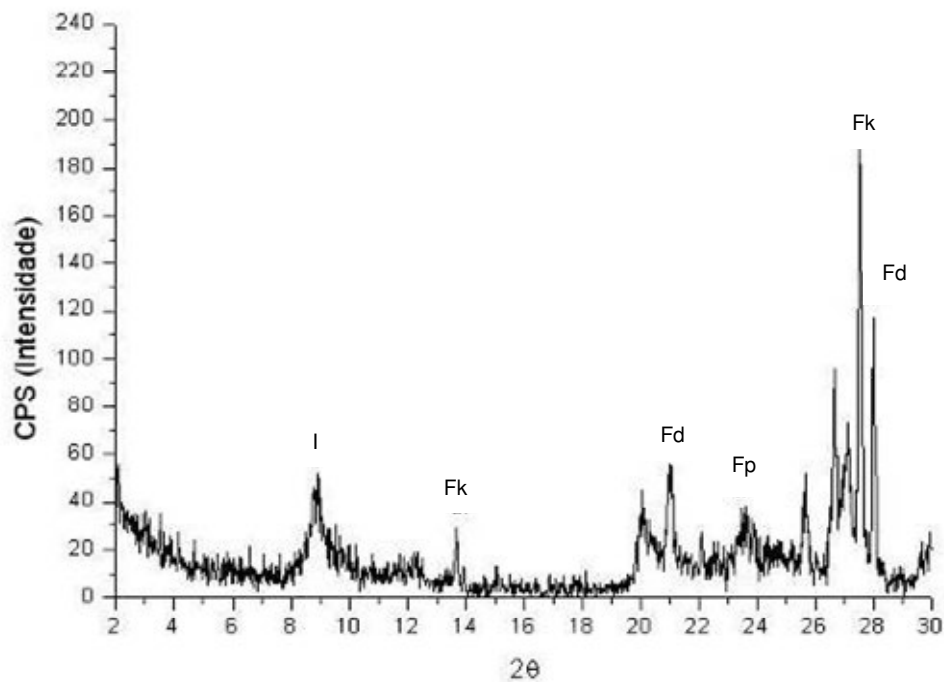


Figura 5-16 – Difratograma da amostra 02 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difratômetro de marca Siemens, Modelo D-5000.

I – ilita; Fk – Feldspato potássico; Fd – Feldspatóide; Fp – Feldspato plagioclásio.

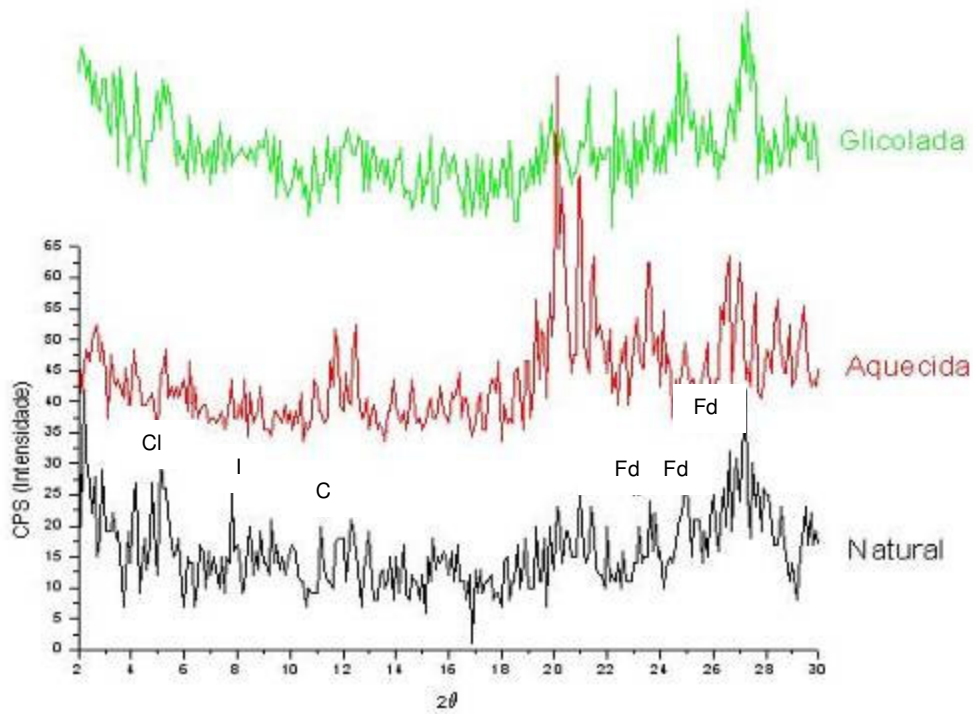


Figura 5-17 – Difratoograma da amostra 02 – fração argila, apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difratorômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. I – illita; C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico; Fd – Feldspatóide.

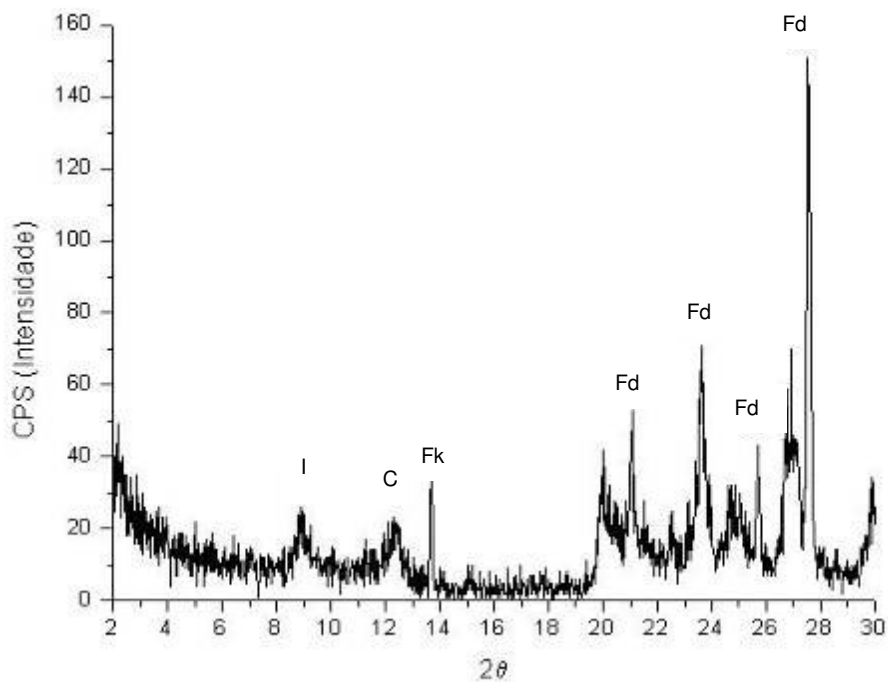


Figura 5-18 – Difratoograma da amostra 03 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difratorômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. I – illita; C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico; Fd – Feldspatóide.

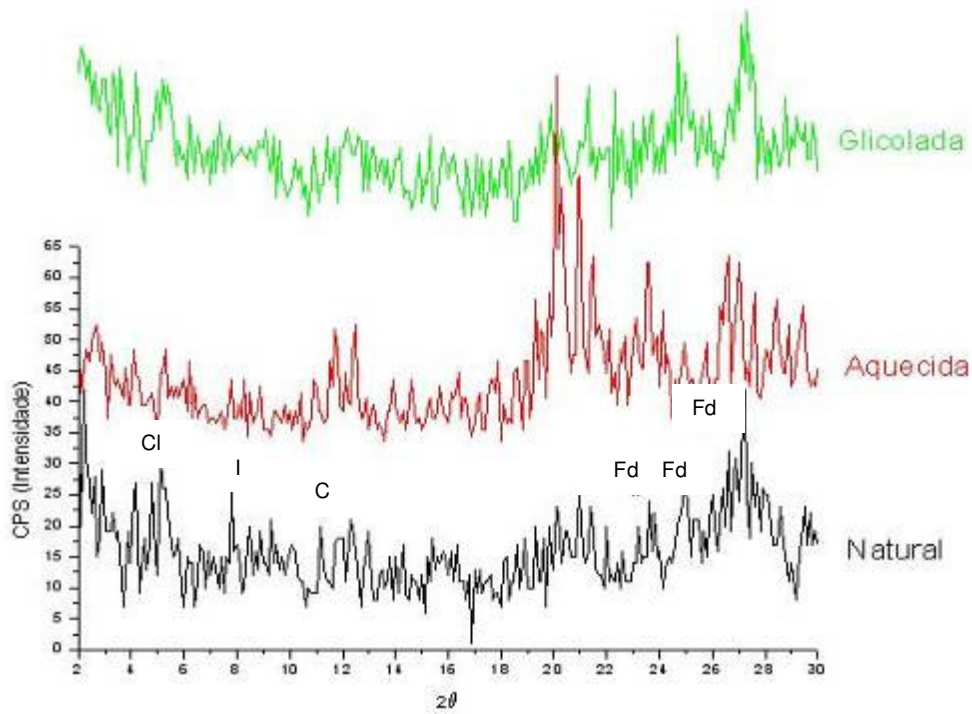


Figura 5-19 – Difratoograma da amostra 03 fração argila. Apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difratorômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. Cl – Clorita; I – Ilita; C – Caulinita; Fd – Feldspatóide.

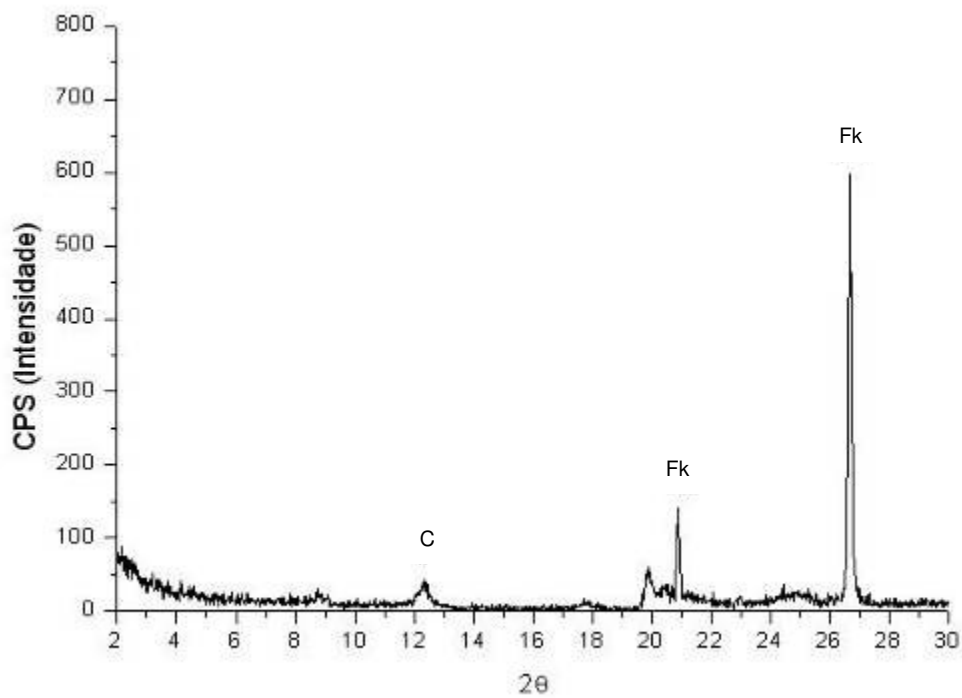


Figura 5-20 – Difratoograma da amostra 04 (método do pó) – areia fina, silte e argila, sem tratamento. Ensaio realizado no Difratorômetro de marca Siemens, Modelo D-5000 C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico.

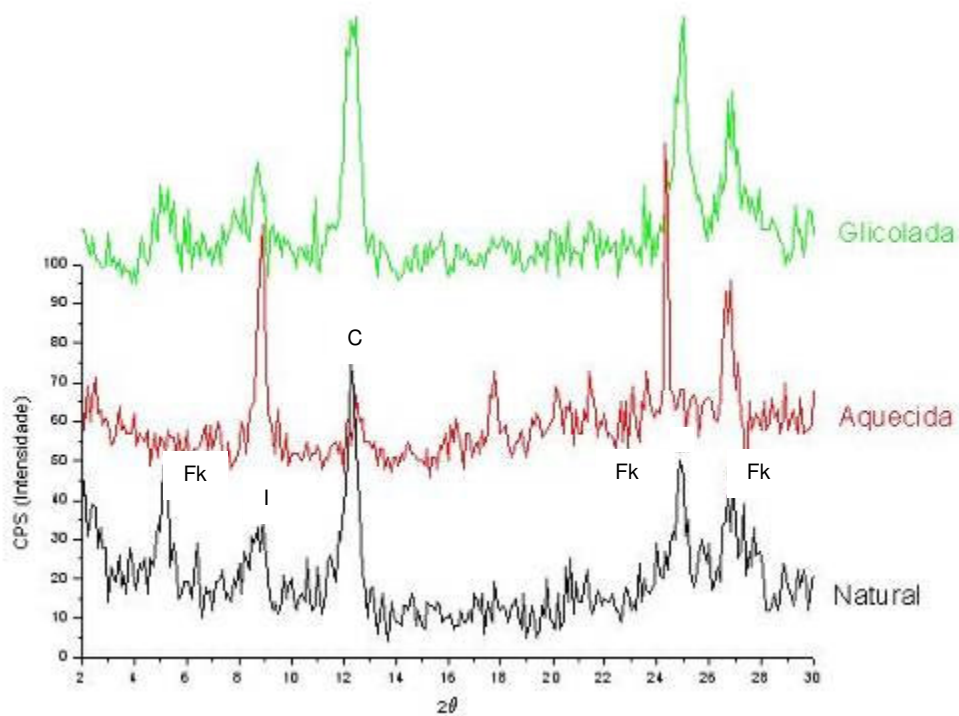


Figura 5-21 – Difratoograma da amostra 04 – fração argila. Apresentada na forma natural, aquecida e glicolada. Ensaio realizado no Difratorômetro de marca Siemens, Modelo D-5000. I – ilita; C – Caulinita; Fk – Feldspato potássico.

Os minerais identificados por difração de raios-X (método do pó) em cada amostra de solo são apresentados na Tabela 5-10, a seguir.

Amostra	Descrição dos minerais
03	clorita, ilita, caulinita, feldspatóide, feldspato potássico
04	ilita, caulinita, feldspato potássico
02	clorita, ilita, caulinita, feldspato potássico, feldspatóide

Tabela 5-10 – Minerais identificados na difração de raios-X.

Com base nos difratogramas nota-se que as amostras de solo apresentam uma mineralogia muito semelhante. Onde os minerais neoformados são essencialmente a caulinita, ilita e clorita.

5.4.3. MEV – Microscópio eletrônico de varredura

A seguir, são apresentadas algumas imagens e gráficos resultantes da microscopia eletrônica de varredura realizada nesse trabalho.

As análises de microscopia eletrônica de varredura indicaram que a amostra 02 é constituída essencialmente por caulinita. Os grãos de caulinita apresentam-se pseudo-hexagonais e podem ser vistos na Figura 5-22 constituindo o plasma.

Na amostra 03 a análise de microscopia eletrônica de varredura também indicou a constituição do plasma formado por caulinita, como pode ser verificado na Figura 5-23.

Nas análises realizadas na amostra 04, além da presença de caulinita em alguns EDS foram observados também picos característicos de potássio que estão associados aos feldspatos constituintes da rocha, Figura 5-24. Esses feldspatos se encontram parcialmente alterados.

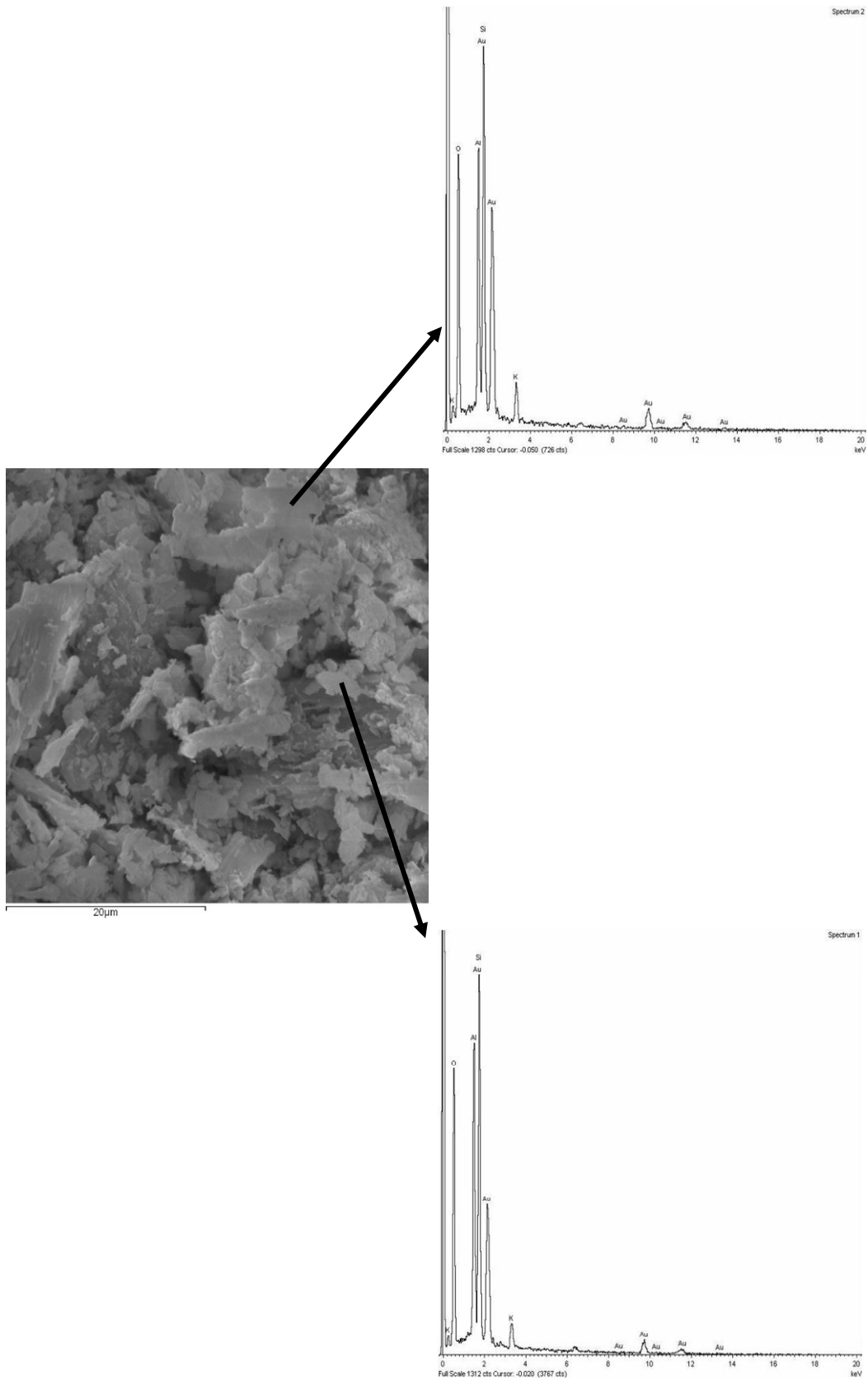


Figura 5-22 – Imagem da amostra 02 e EDS dos pontos analisados.

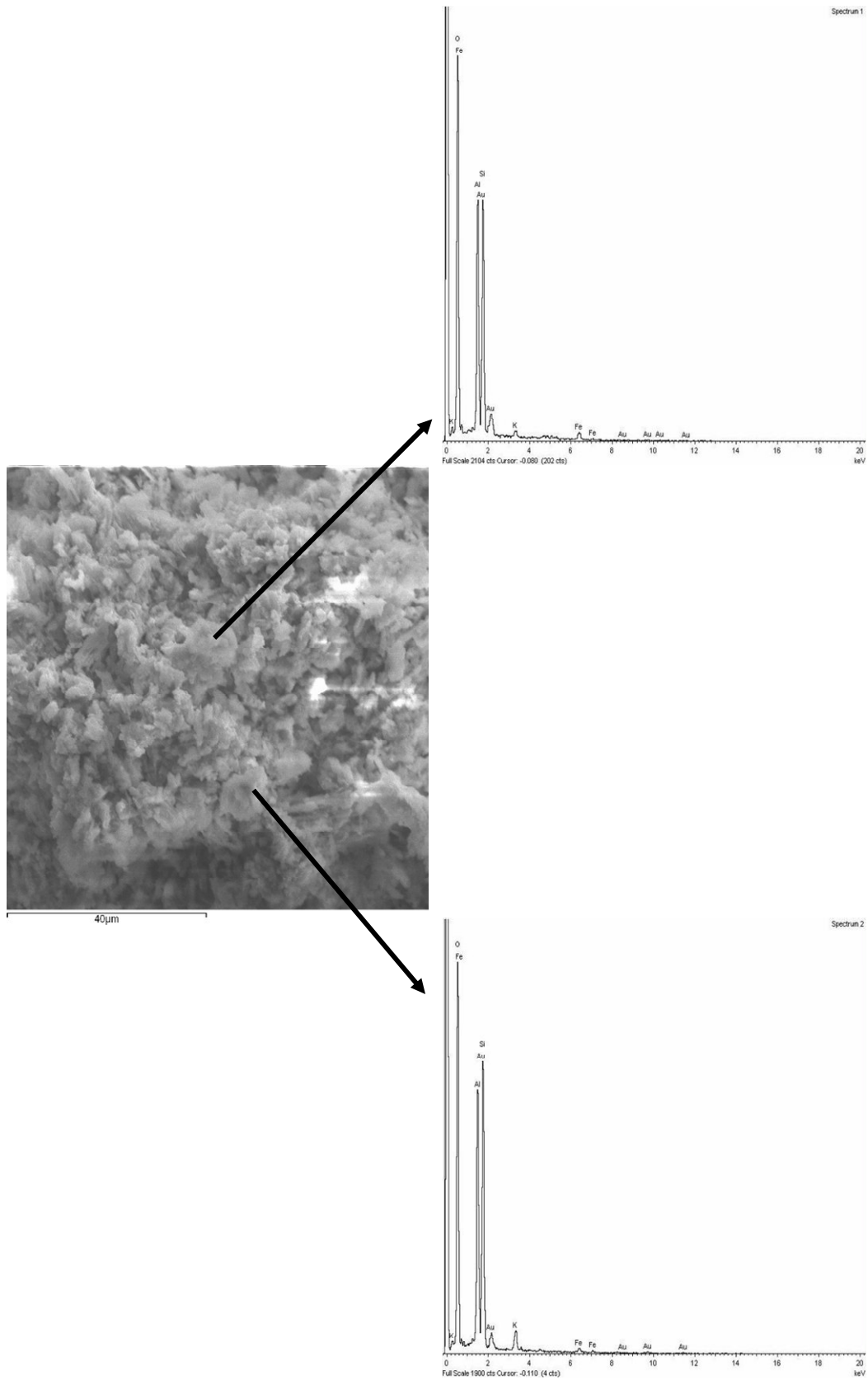


Figura 5-23 – Imagem da amostra 03 e EDS dos pontos analisados.

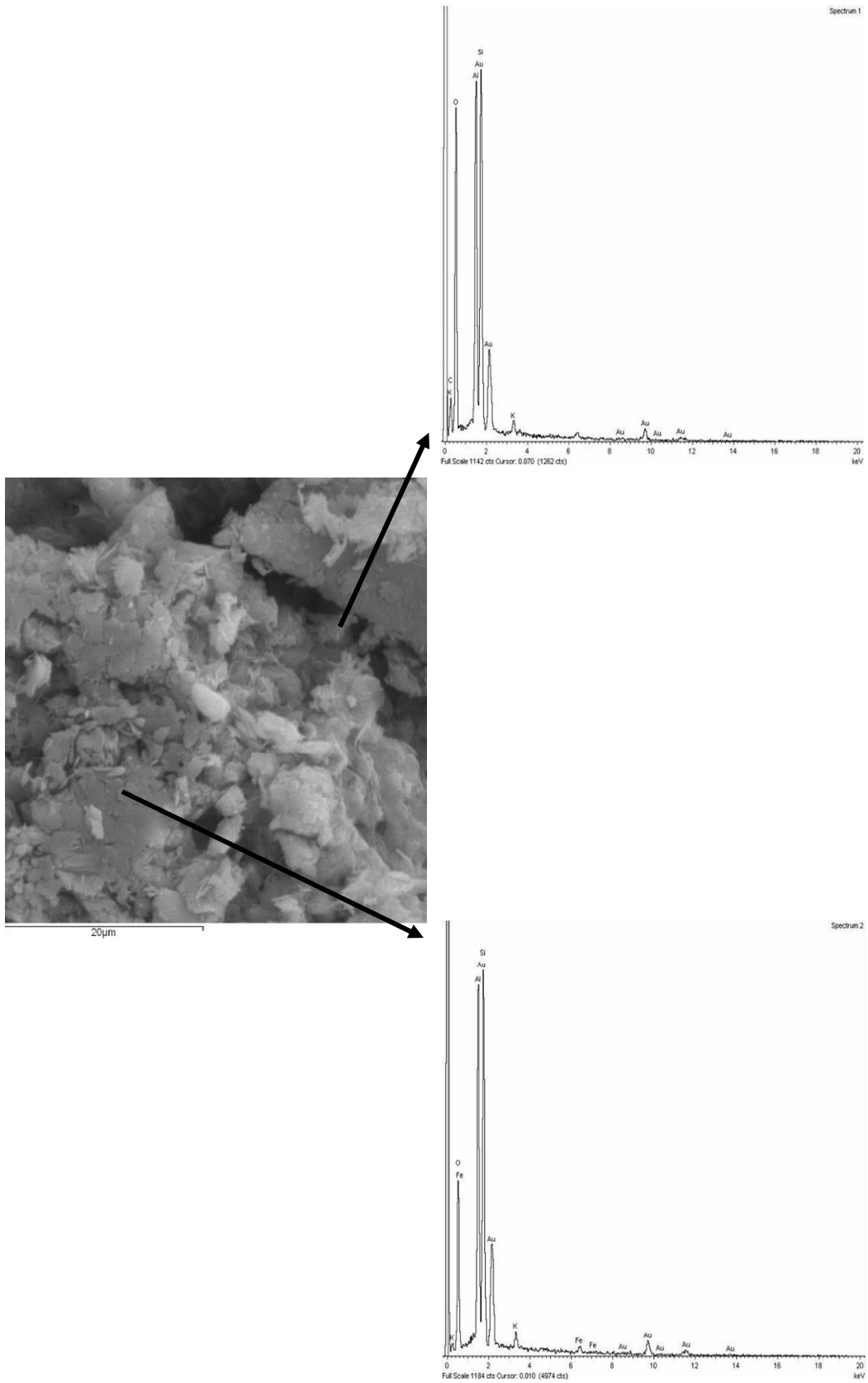


Figura 5-24 – Imagem da amostra 04 e EDS dos pontos analisados.

5.4.4. Micromorfologia

Através das análises das lâminas delgadas micromorfológicas, foi possível determinar os constituintes das amostras de solo evidenciando-os com os outros estudos realizados. Dessa forma, foram constatados os componentes mineralógicos do material que são citados a seguir, conforme a descrição de cada amostra.

Na amostra 02 os feldspatos apresentam-se alterados, mas ainda é possível observar grãos provenientes da rocha original parcialmente preservados, Figura 5-25, tais como: microclina e sanidina. Os feldspatos foram praticamente removidos, a microclina apresenta-se quase toda alterada, sendo o plagioclásio o mais alterado. Ocorre o pseudomorfismo, isto é, o grão apresenta a forma externa original, mas seu interior é composto por material neoformado. O Plasma que envolve os grãos está parcialmente impregnado de hidróxido de ferro, Figura 5-26, e disperso no plasma ocorrem pequenos grãos de minerais opacos. Não foi possível determinar com precisão quais eram esses minerais opacos. Foi observada, uma grande concentração de microporos e alguns poros intergranulares associados à alteração dos minerais primários. Constatou-se também a presença de caulinita e illita. Os feldspatóides estão em avançado grau de alteração, Figura 5-27. Os grãos presentes estão bem definidos (euédrico), mas completamente caulinitizados, Figura 5-28.

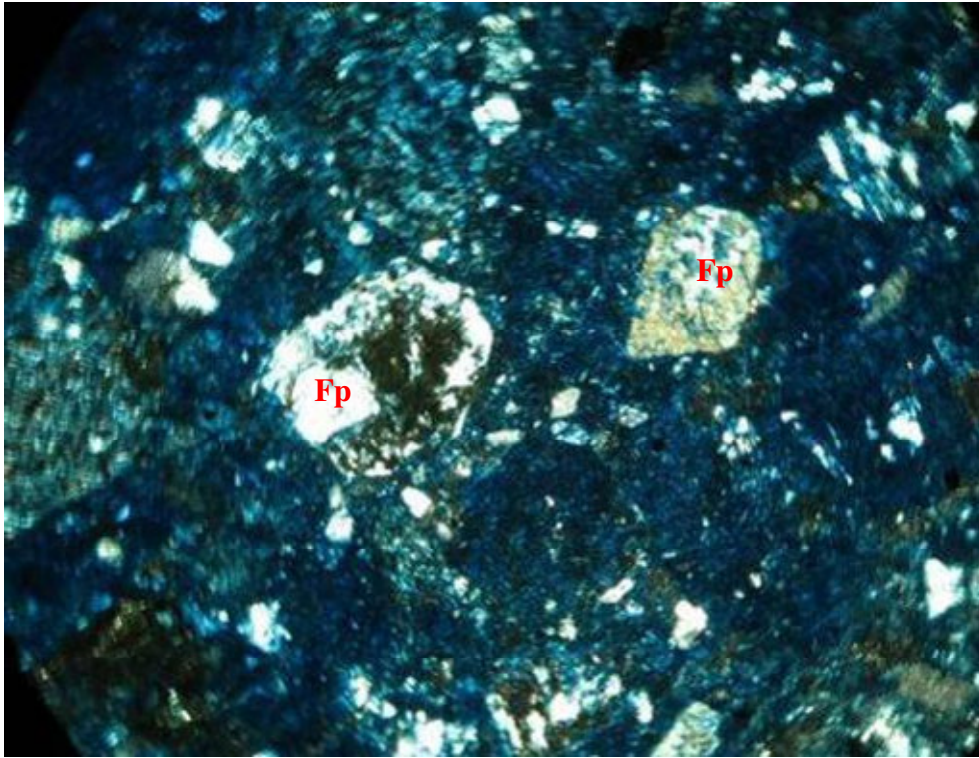


Figura 5-25 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grãos parcialmente preservados. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fp – Feldspato.

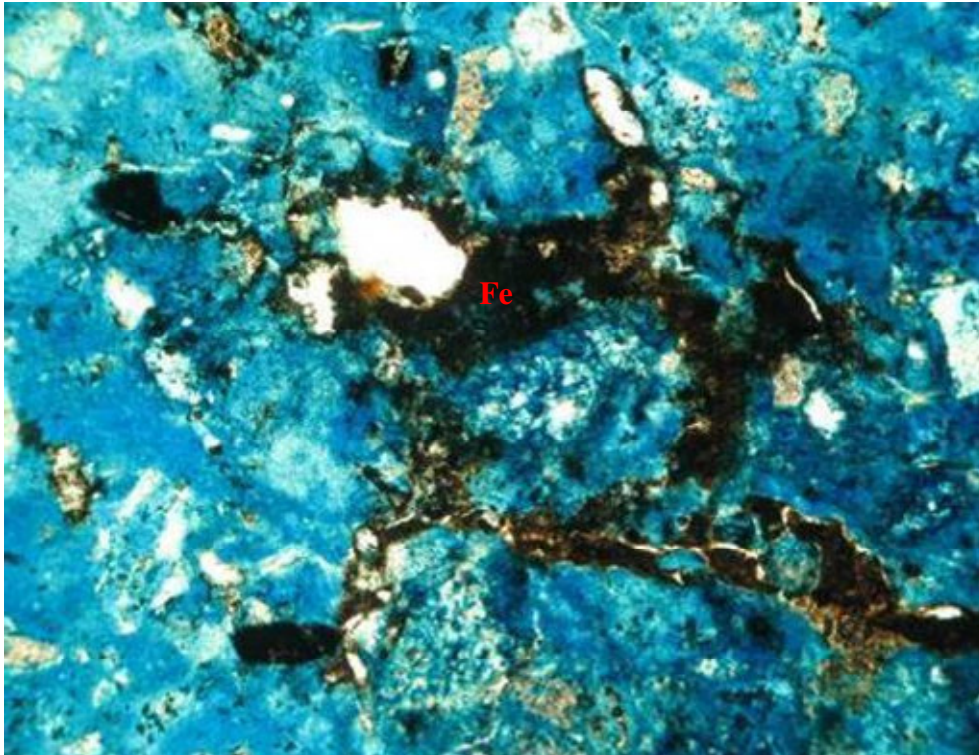


Figura 5-26 – Fotomicrografia da amostra 02 - Impregnação de hidróxido de ferro. Aumento de 5 vezes. Luz plana. Fe – Hidróxido de Ferro.

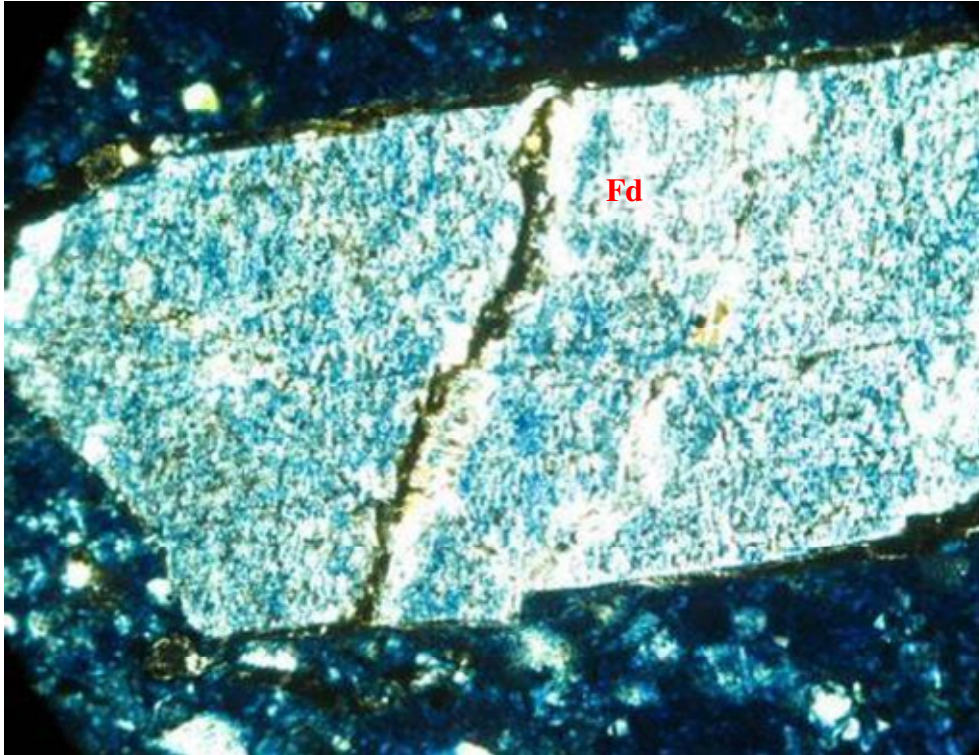


Figura 5-27 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grão de feldspatóide parcialmente alterado. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fd – Feldspatóide.

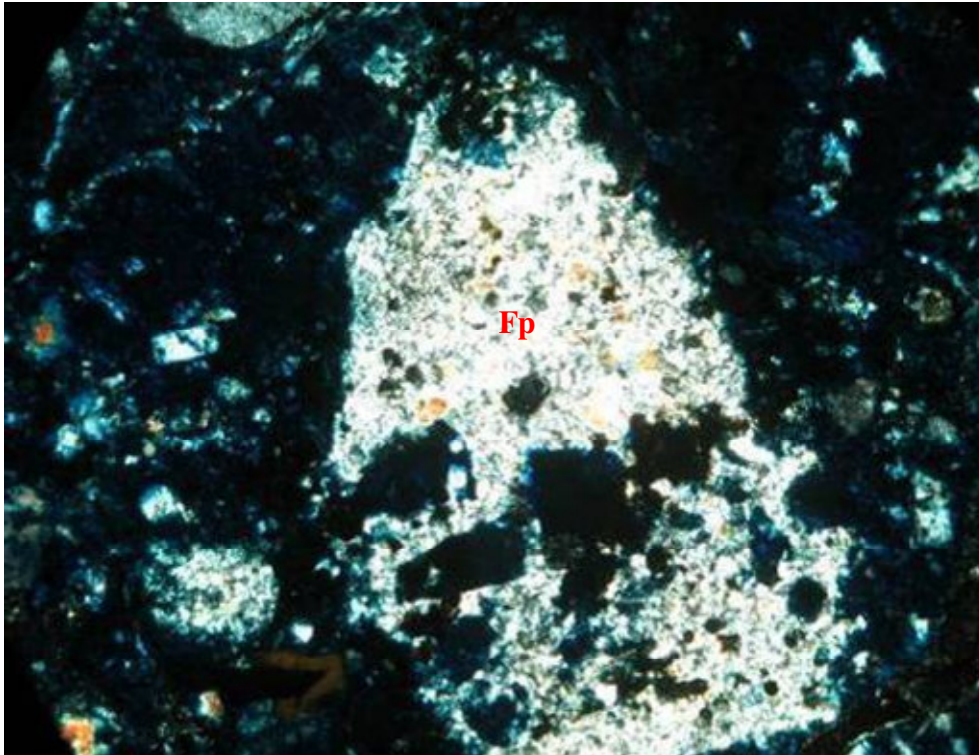


Figura 5-28 – Fotomicrografia da amostra 02 - Grão caulinitizado. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fp – Feldspato.

As observações das lâminas delgadas indicaram que a amostra 03 é composta praticamente de plasma, isto é, material fino constituído pela fração argila. O plasma apresentou impregnação parcial do hidróxido de ferro e alta porosidade formada por microporos, Figura 5-29. Foi possível também observar o pseudomorfismo dos minerais onde os grãos de pirita foram completamente alterados mantendo sua forma externa, Figura 5-30. Os feldspatóides foram todos alterados, Figura 5-31, e não foi possível identificar o grão original devido ao elevado grau de alteração (intemperismo químico). A presença de mica alterada, possivelmente clorita e illita, também foi observada.



Figura 5-29 – Fotomicrografia da amostra 03 – Plasma com hidróxido de ferro e alta quantidade de poros. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fe – Hidróxido de ferro.

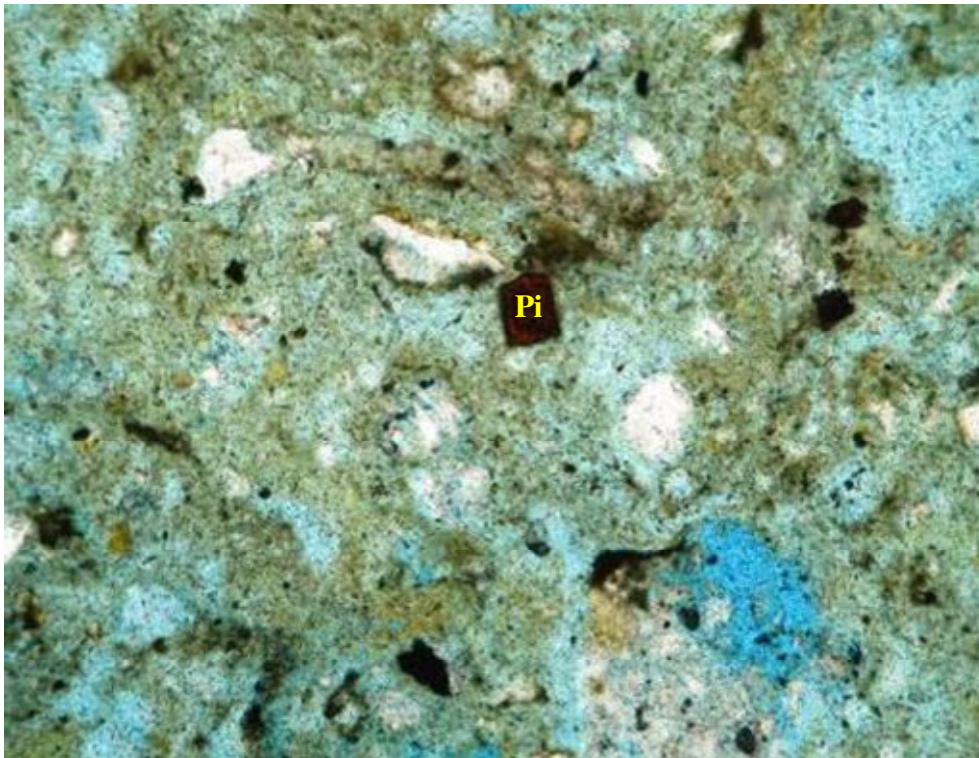


Figura 5-30 – Fotomicrografia da amostra 03 – Grão de pirita alterado. Aumento de 10 vezes. Luz plana. Pi – Pirita.

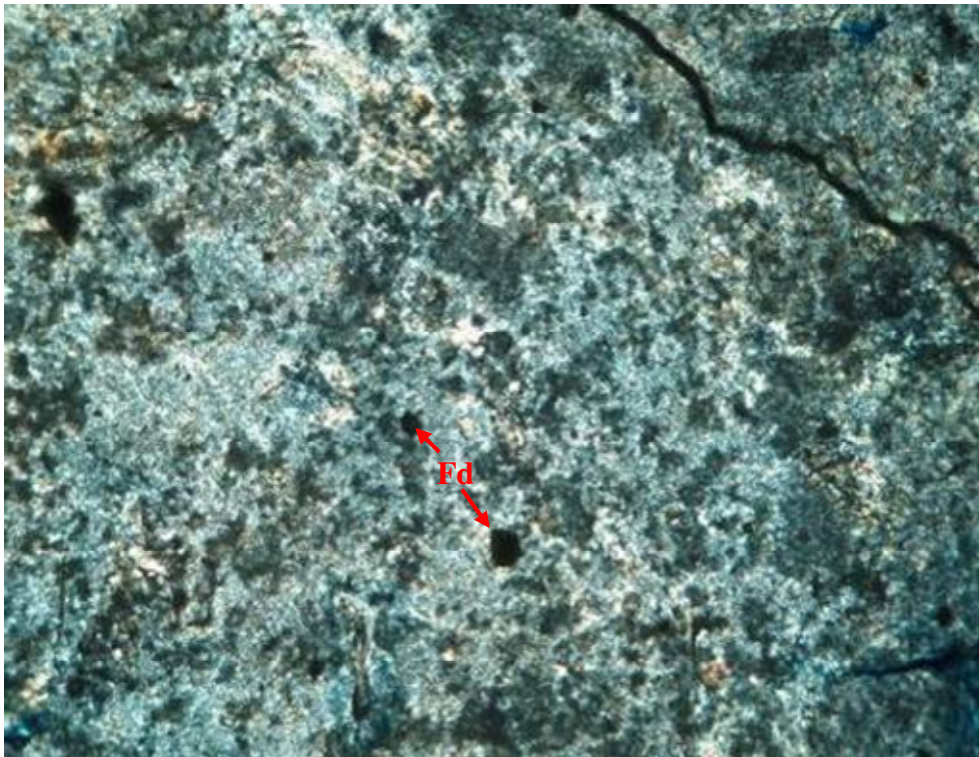


Figura 5-31 – Fotomicrografia da amostra 03 – Feldspatóides alterados. Aumento de 5 vezes. Nicóis cruzados. Fd – Feldspatóide.

Nas observações das lâminas delgadas da amostra 04, observou-se que ela apresenta grãos mais intemperizados que a amostra 02 e mais conservados que a amostra 03. O mesmo ocorre com a concentração de microporos presente no plasma, Figura 5-32, que se mostra maior que a amostra 02 e menor que a amostra 03. As lâminas também indicaram a presença de mineral secundário, possivelmente ilita, Figura 5-33, e feldspatóides parcialmente alterados. Minerais opacos, Figura 5-34, que não puderam ser determinados com precisão, e mica parcialmente alterada, Figura 5-35, também foram observados. Essa amostra apresentou uma concentração de quartzo.

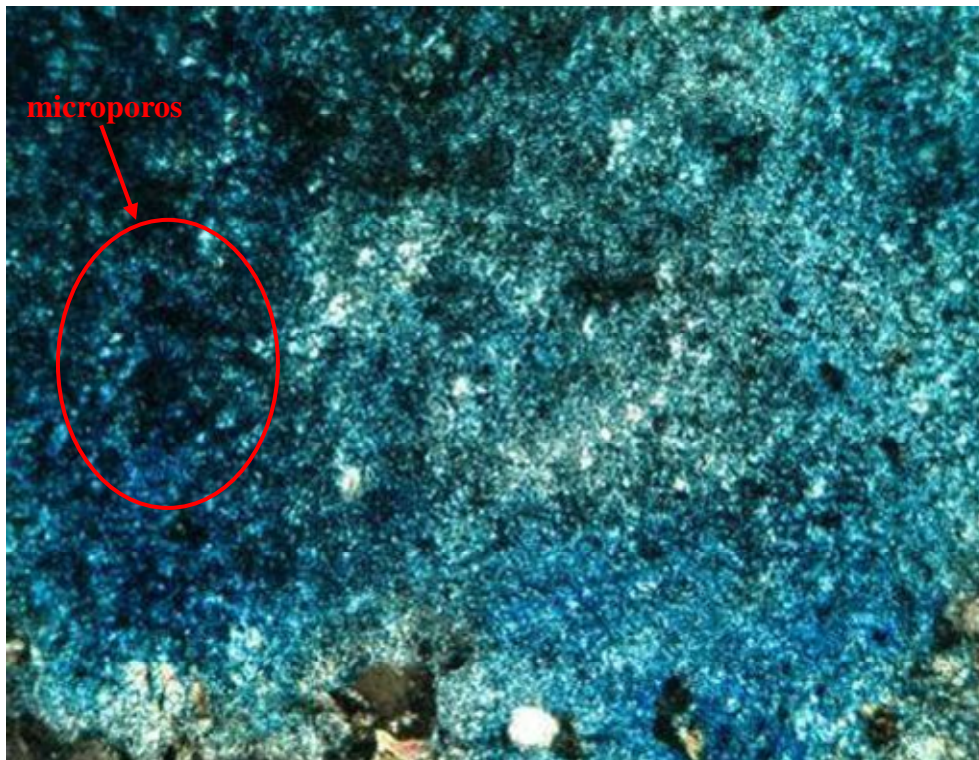


Figura 5-32 – Fotomicrografia da amostra 04 – Microporos presentes no plasma. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados.

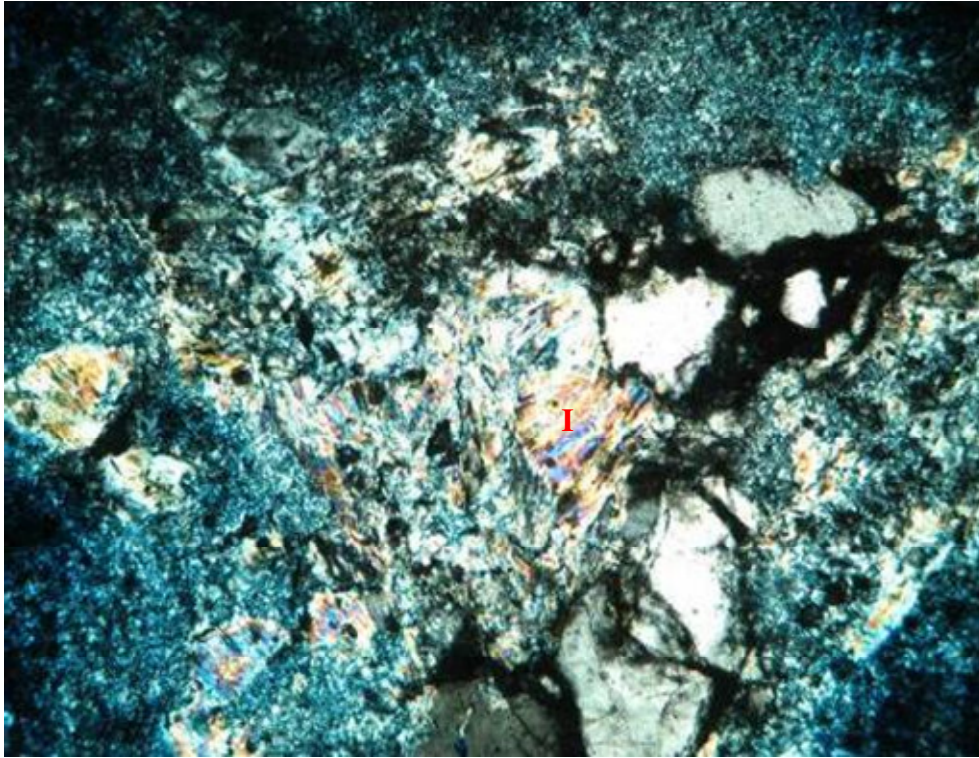


Figura 5-33 – Fotomicrografia da amostra 04 – Mineral secundário, possivelmente illita. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados. I – illita.



Figura 5-34 – Fotomicrografia da amostra 04 – Presença de minerais opacos. Aumento de 10 vezes. Luz plana.

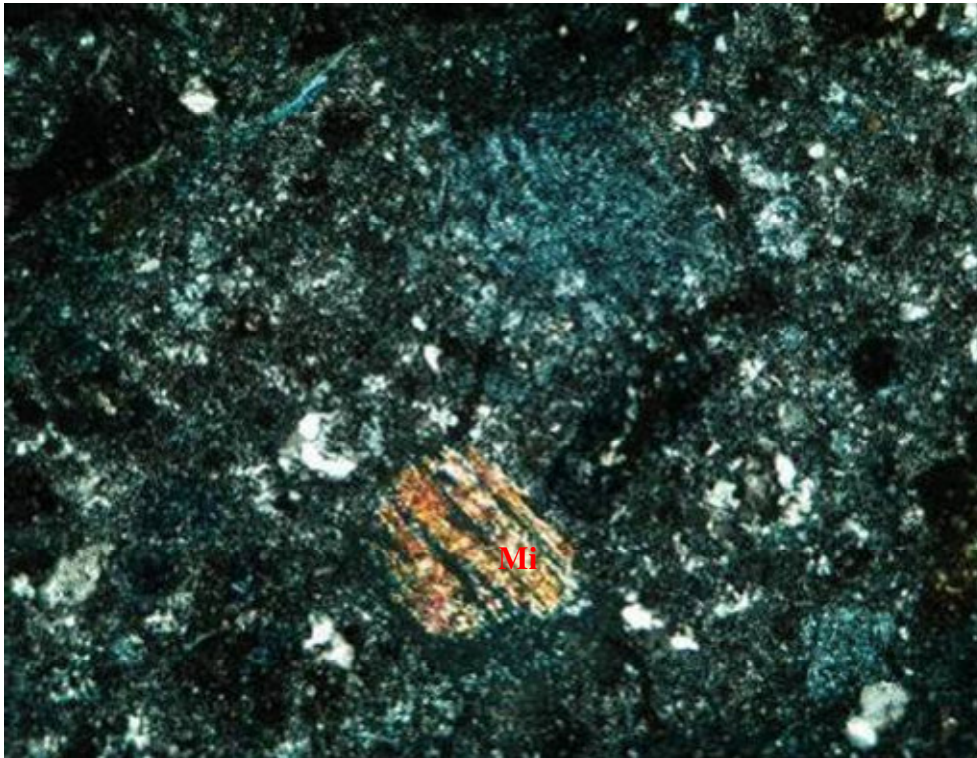


Figura 5-35 – Fotomicrografia da amostra 04 – Mica parcialmente alterada. Aumento de 10 vezes. Nicóis cruzados. Mi – Mica.

A Tabela 5-11 apresenta a freqüência dos constituintes presentes na lâmina de cada amostra de solo. Segundo Castro (2002), a freqüência indicada em porcentagem está relacionada à abundância de determinada fração no campo visual observado. Esses valores foram determinados através da contagem de pontos, micromorfologicamente determinados como: esqueleto, plasma e poro.

Amostra	Frequência (% da área da lâmina)		
	Esqueleto	Plasma	Poros
03	21,87	43,13	35,00
04	24,23	42,40	33,37
02	37,08	31,65	31,27

Tabela 5-11 – Frequência - porcentagem da área da lâmina.

Constituído por minerais primários, o esqueleto é formado por partículas maiores que $2\mu\text{m}$, isto é, frações silte e areia. Em alguns casos certas feições pedológicas podem apresentar-se em abundância e também se comportar como esqueleto.

O plasma é composto por partículas menores que $2\mu\text{m}$, ou seja, fração argila. Ele pode conter óxidos, hidróxidos, sais, minerais argílicos e matéria

orgânica. As partículas do plasma em geral não podem ser identificadas unicamente por microscopia óptica, portanto depende também de análises por meio da microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X, entre outros.

Os volumes de “vazios” constituem os poros, que são orifícios ou aberturas que atuam de diferentes formas, com capacidade de retenção e/ou percolação de líquidos (soluções), passagem de ar (gases), animais, raízes, etc. Os poros podem ter diversas origens, formas e dimensões.

As porcentagens de esqueleto, plasma e poro, apresentadas na Tabela 5-11, indicam a amostra 03 com maior concentração de poros. O mesmo acontece para a concentração de plasma, apontando a amostra 03 como a mais alterada. Já a porcentagem de esqueleto revela a amostra 02 com o menor grau de alteração, isso por que ela se apresenta com maior freqüência de esqueleto em relação às outras amostras de solo. A amostra 04 apresenta-se intermediária entre as amostras 02 e 03.

5.4.5. Curva característica de sucção

As curvas características aqui apresentadas foram obtidas através do método do papel filtro. Todo o procedimento adotado para execução desse ensaio foi descrito no capítulo 4. A seguir, são apresentadas as curvas em função da umidade volumétrica das três amostras de solo nas Figura 5-36 a Figura 5-38.

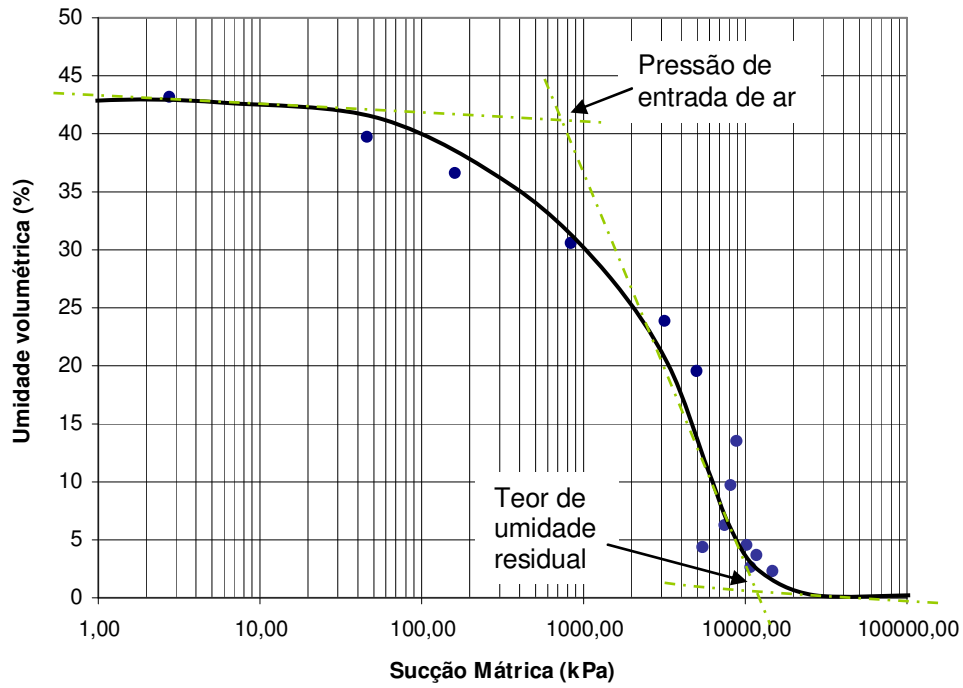


Figura 5-36 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.

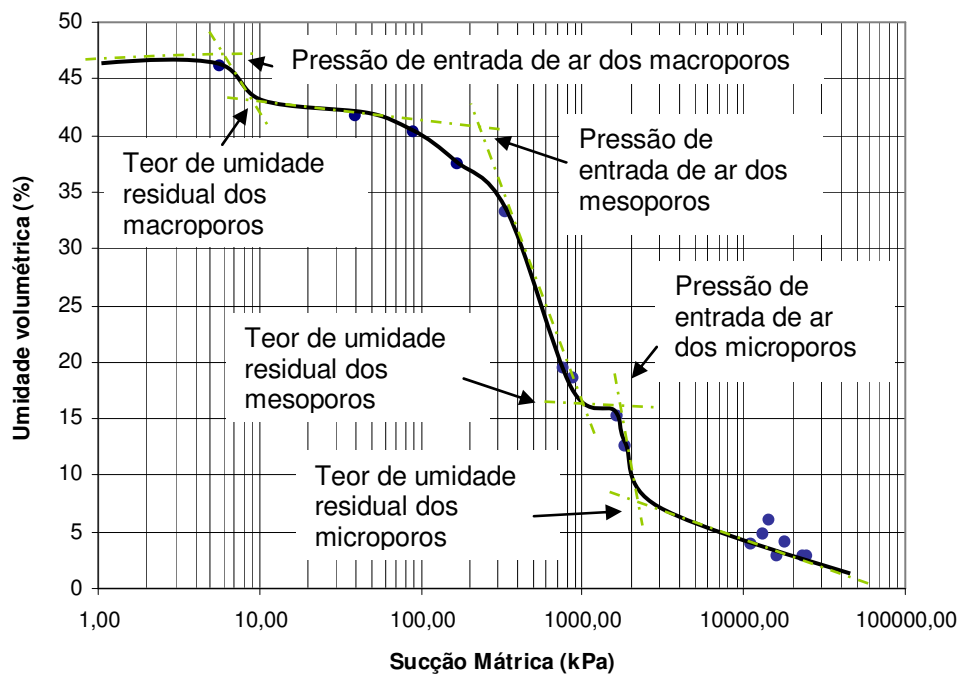


Figura 5-37 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.

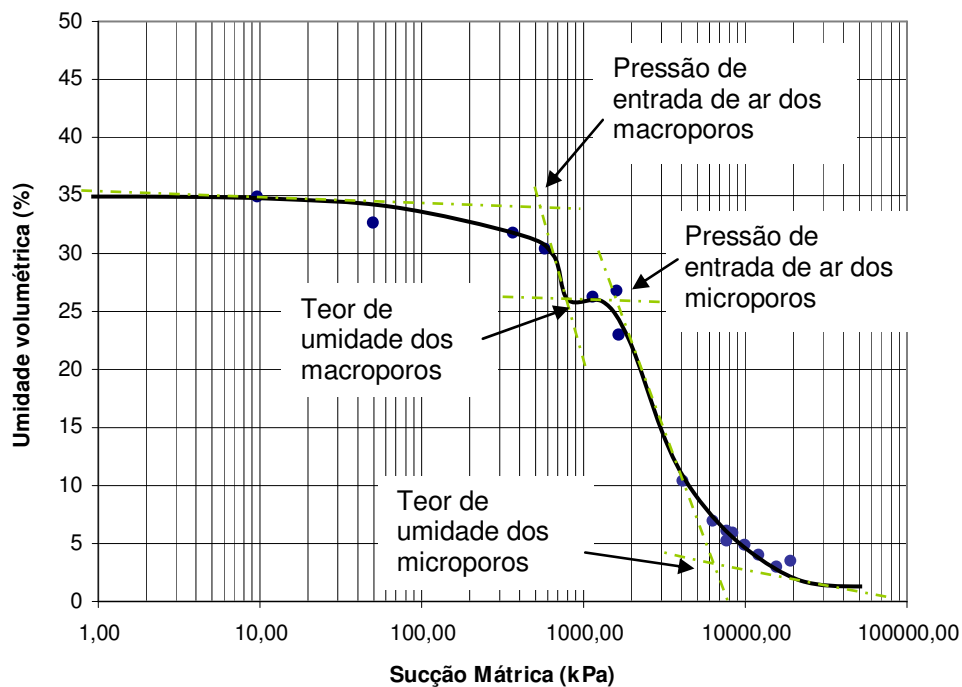


Figura 5-38 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função da umidade volumétrica.

De acordo com as curvas nota-se que a amostra 03 apresentou dois patamares, isto é, três pontos de inflexão indicando uma distribuição de poros em três locais distintos. Já a amostra 04 representa uma curva que exibiu apenas um patamar, indicando uma distribuição bi-modal dos poros. Com relação à curva referente à amostra 02, a mesma apresentou somente um ponto de inflexão apontando uma distribuição uni-modal. A Tabela 5-12 apresenta os valores de entrada de ar (Ψ_b) e o teor de umidade residual (θ_r) relativos a cada amostra de solo. De acordo com Fredlund e Xing (1994), o valor de entrada de ar de um solo é o valor da sucção mátrica que corresponde a quando o ar começa a entrar nos maiores poros do solo. Já o teor de umidade residual é o valor que corresponde a quando uma grande mudança na sucção é requerida para remover mais água do solo. Esses valores foram obtidos, nesse trabalho, por meio de retas tangentes as curvas.

Para as amostras 03 e 04, devido a presença de patamares que indicaram distribuição tri e bi-modal dos poros, foram determinados valores de entrada de ar diferentes, assim como os valores de umidade residual. Portanto, esses parâmetros foram identificados da seguinte maneira: os valores correspondentes a entrada de ar e umidade residual foram denominados por: (Ψ_{ba}) e (θ_{ra}) para os

valores referentes aos macroporos, (Ψ_{be}) e (θ_{re}) para os que se referem aos mesoporos e, (Ψ_{bi}) e (θ_{ri}) para os microporos. Na amostra 02, os parâmetros utilizados foram os mencionado anteriormente (Ψ_b) e (θ_r) para a entrada de ar e umidade residual, respectivamente. Destaca-se que a terminologia adotada como macroporos, mesoporos e microporos indicada aqui não possui relação direta com as classificações apresentadas para a caracterização de poros no ensaio de porosimetria de mercúrio.

Amostra 03						Amostra 04				Amostra 02	
Ψ_{ba} (kPa)	θ_{ra} (%)	Ψ_{be} (kPa)	θ_{re} (%)	Ψ_{bi} (kPa)	θ_{ri} (%)	Ψ_{ba} (kPa)	θ_{ra} (%)	Ψ_{bi} (kPa)	θ_{ri} (%)	Ψ_b (kPa)	θ_r (%)
6,2	43	240	16	1800	7,8	560	26,1	1600	3,8	740	1,8

Tabela 5-12 – Valores de entrada de ar e umidade residual das três amostras de solo.

Com base nas curvas, relacionando a distribuição de macroporos, nota-se que o valor de entrada de ar da amostra 03 é muito inferior ao da amostra 04 e o teor de umidade volumétrica, pelo contrário, se apresenta maior. Com relação à distribuição de microporos, a amostra 04 apresenta um valor de entrada de ar inferior à amostra 03 assim como o teor de umidade residual, que também se mostra menor. A amostra 02 indica uma pressão de entrada de ar, bem como o valor de umidade residual, intermediários entre as demais amostras (03 e 04).

Observa-se que nos intervalos entre 9 e 30 kPa e 800 e 1300 kPa, que a amostra 03 apresentou uma perda de umidade brusca, quando relacionada as demais amostras de solo. O mesmo foi indicado na curva da amostra 04 que apresentou queda de umidade mais abrupta, quando relacionada às outras amostras, no intervalo de sucção entre 550 kPa e 1500 KPa. Já para o intervalo entre 1300 kPa e 10000 kPa a perda de umidade na amostra 02 se mostrou mais rápida que na amostra 04.

A seguir, Figura 5-39 a Figura 5-41, são apresentadas as curvas de sucção obtidas através de resultados provenientes do ensaio de porosimetria de mercúrio. Rahardjo e Toll (2001) ao estudarem a relação entre a porosimetria de mercúrio e a curva característica de sucção de um solo residual não saturado, produziram duas curvas: uma em função dos resultados obtidos no ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio e outra produzida em função dos valores adquiridos no ensaio de sucção através de placas de pressão. Eles observaram que essas curvas possuem uma boa correlação e sugerem que, os resultados

obtidos no ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio de um solo podem ser utilizados para estimar a sua curva característica.

Analisando as Figura 5-39 a Figura 5-41, nota-se que das três amostras observadas a que apresentou uma melhor correlação foi amostra 03. A amostra 04 apresentou uma inclinação semelhante nas duas curvas, apesar do deslocamento entre elas. Já a amostra 02 foi a que demonstrou maior discrepância entre as curvas. Esse comportamento, presente na amostra 02, pode ter sido originado no ensaio de porosimetria de mercúrio devido a perturbações provocadas pela pressão no momento da intrusão do mercúrio.

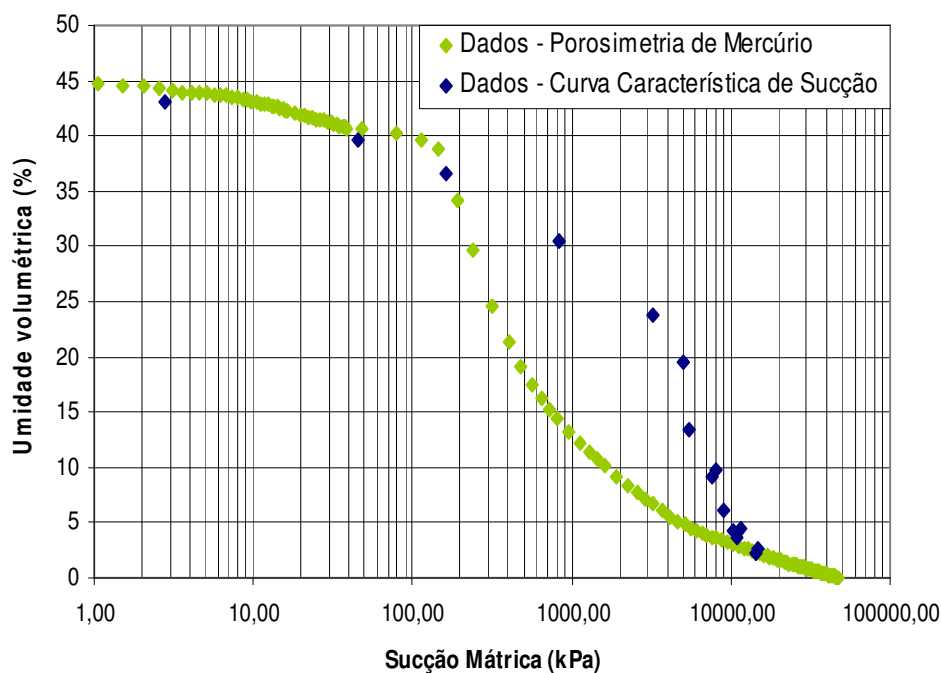


Figura 5-39 – Amostra 02 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.

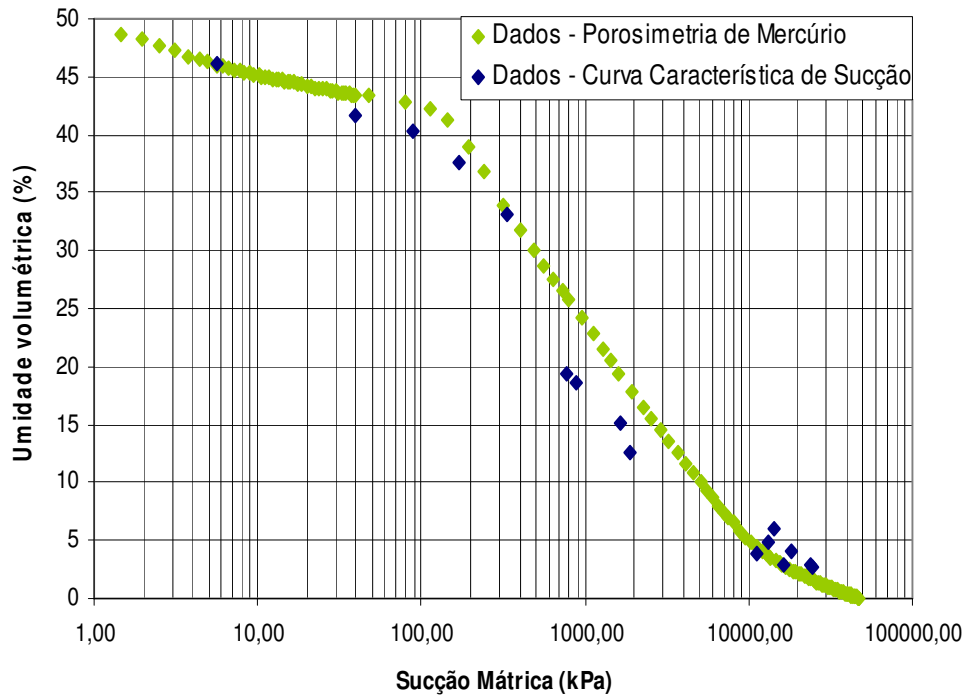


Figura 5-40 – Amostra 03 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.

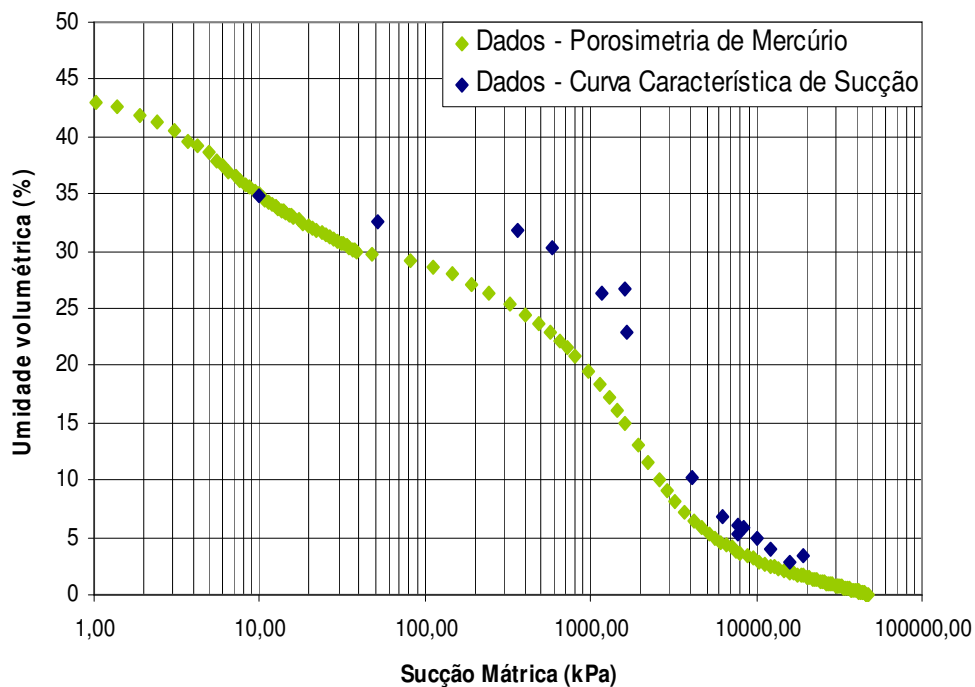


Figura 5-41 – Amostra 04 - Comparação entre a curva característica de sucção e a curva característica obtida pelo ensaio de porosimetria de mercúrio em função da umidade volumétrica.

São mostradas, a seguir, pelo método do papel filtro, outras formas de se apresentar as curvas características de sucção. As Figura 5-42 a Figura 5-44 apresentam-se em função do grau de saturação e as Figura 5-45 a Figura 5-47, apresentam-se em função do teor de umidade gravimétrica.

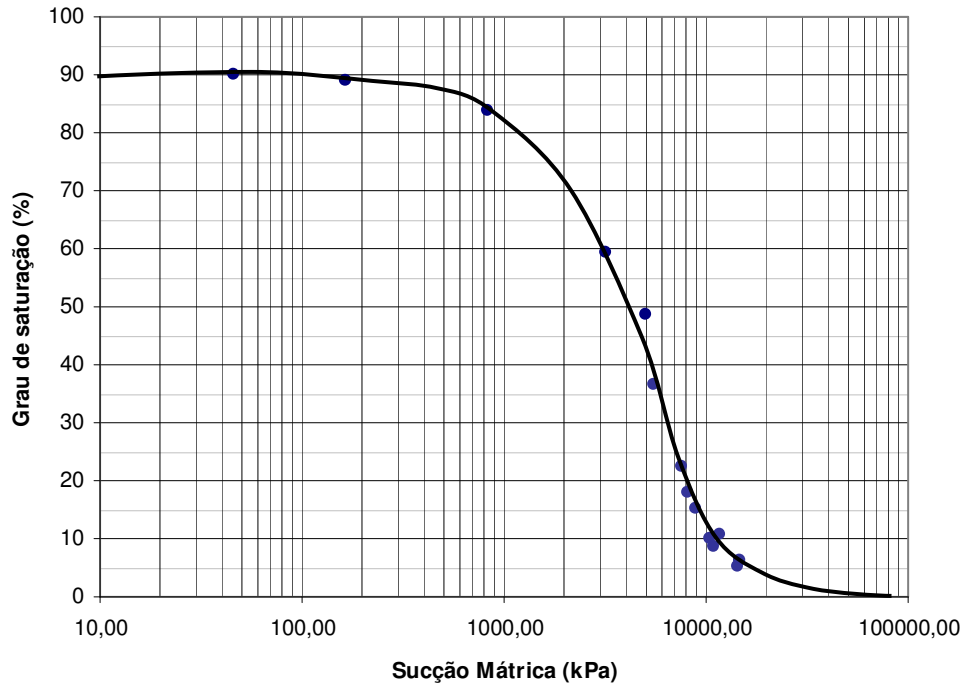


Figura 5-42 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.

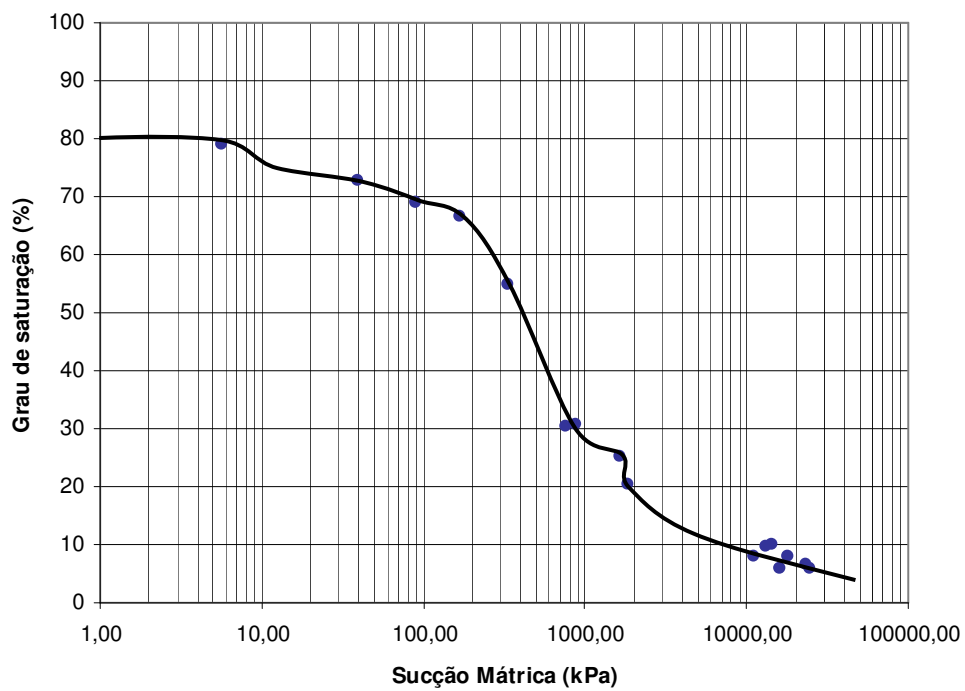


Figura 5-43 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.

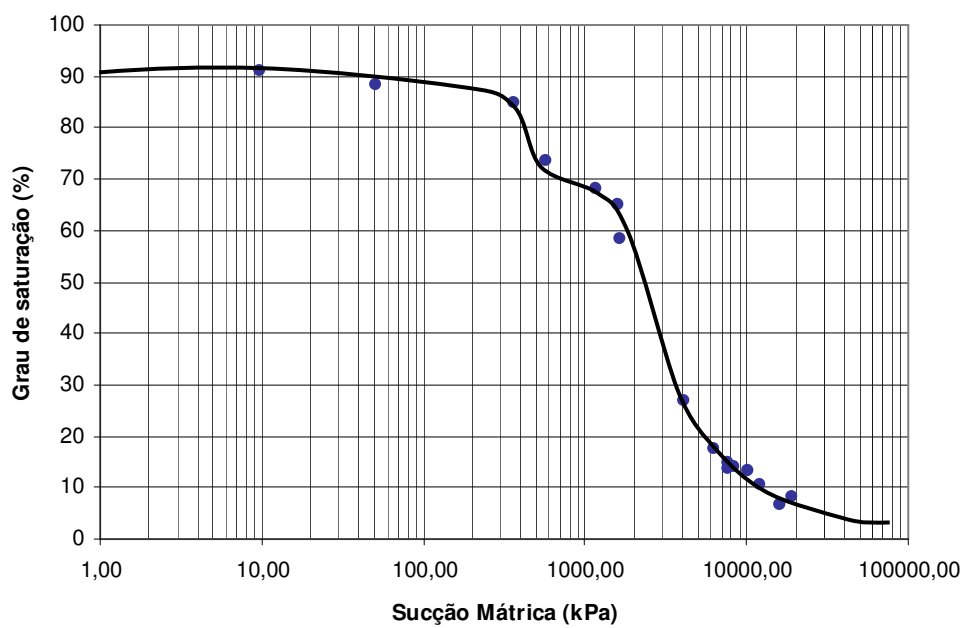


Figura 5-44 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função do grau de saturação.

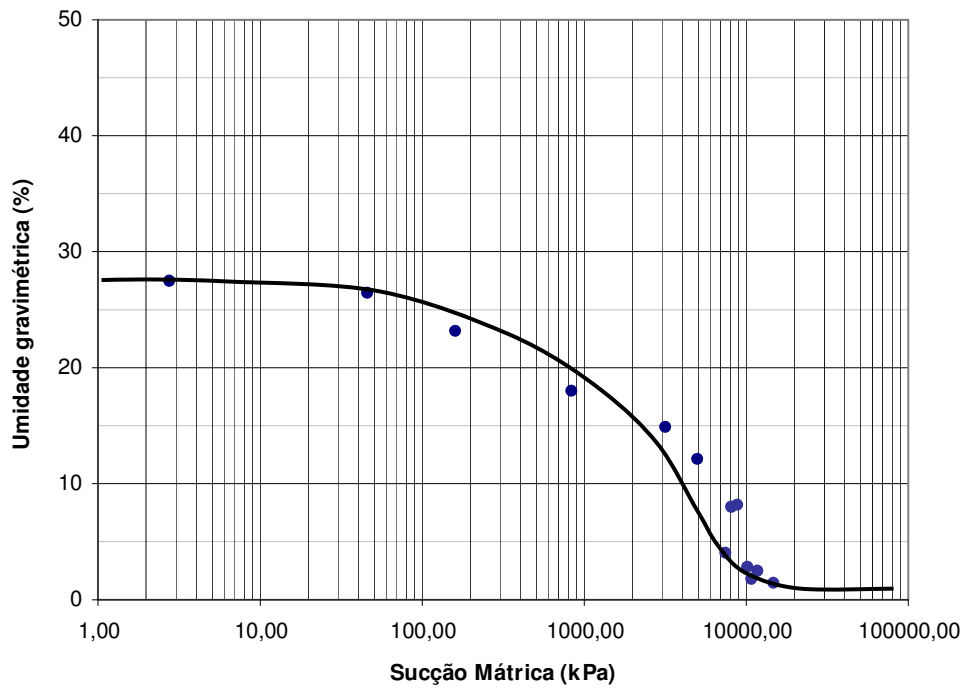


Figura 5-45 – Amostra 02 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.

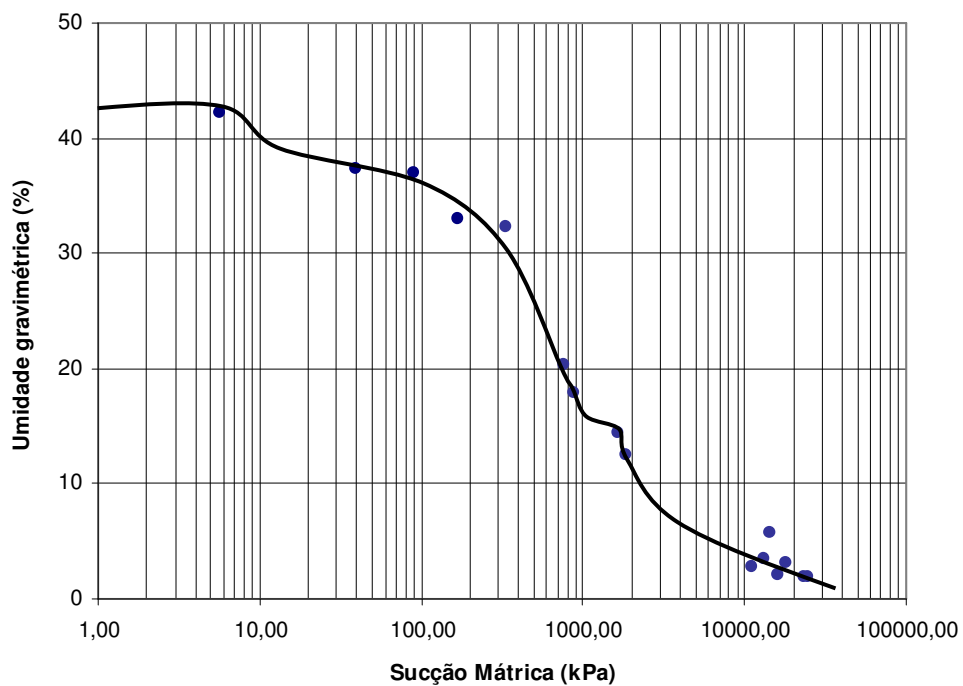


Figura 5-46 – Amostra 03 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.

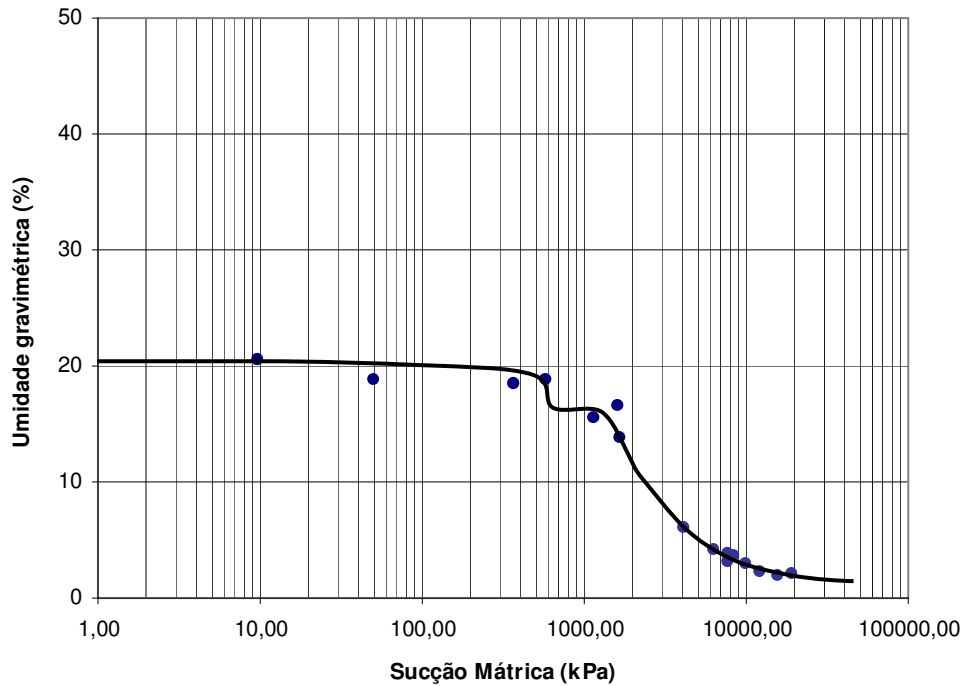


Figura 5-47 – Amostra 04 - Curva característica de sucção em função da umidade gravimétrica.

5.4.6. Compressão diametral

Nesse ensaio, apesar da grande dispersão dos pontos, notou-se, em algumas amostras, que os solos ensaiados com menor teor de umidade apresentaram picos mais acentuados na curva força x deslocamento, Figura 5-48. Já as amostras ensaiadas em maior teor de umidade não apresentaram picos na deformação, Figura 5-49.

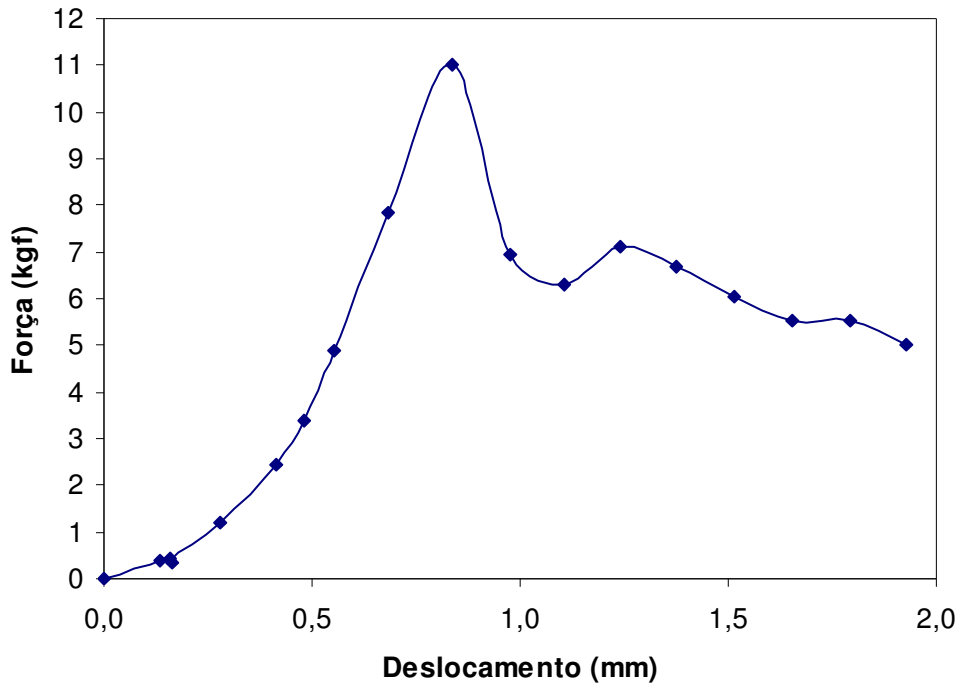


Figura 5-48 – Ensaio de compressão diametral em solo com menor teor de umidade. Amostra 02.

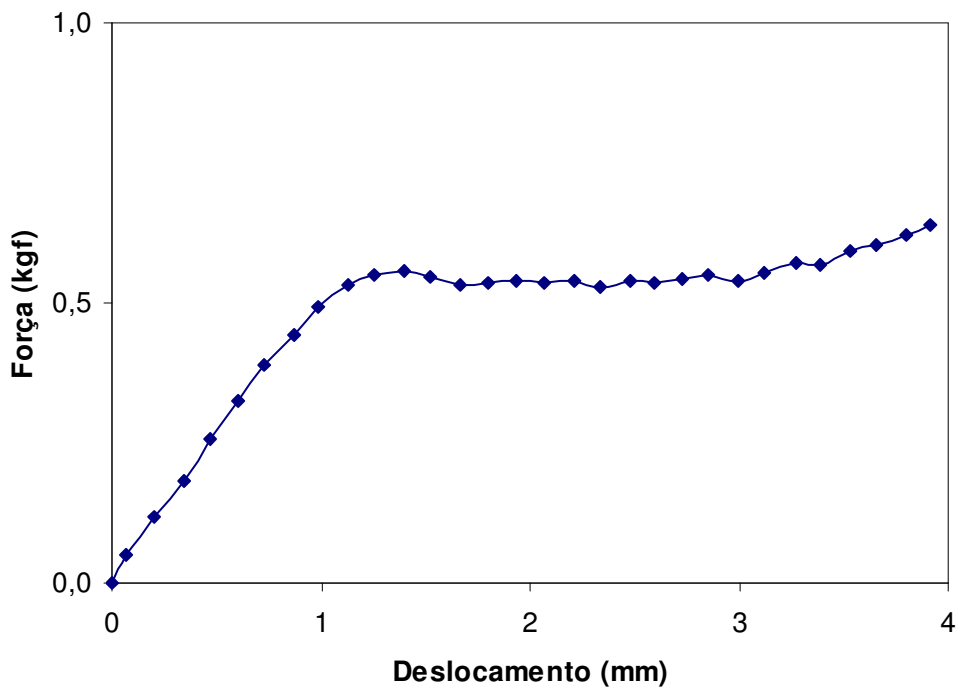


Figura 5-49 – Ensaio de compressão diametral em solo com maior teor de umidade. Amostra 03.

Nas Figura 5-50 a Figura 5-53, são apresentadas as etapas correspondentes ao ensaio de compressão diametral, tomando-se como exemplo a amostra 02.



Figura 5-50 – Início do ensaio. Amostra 02.

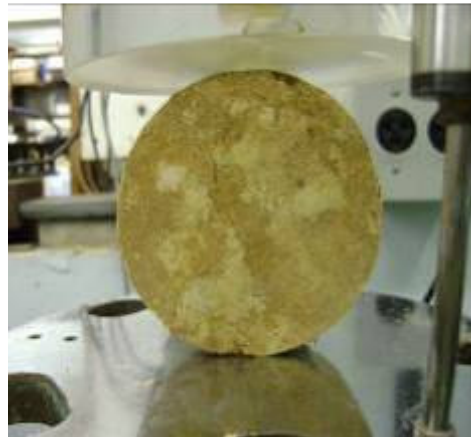


Figura 5-51 – Início da formação da trinca de tração. Amostra 02.



Figura 5-52 – Aumento da formação da trinca com o avanço das deformações. Amostra 02.



Figura 5-53 – Ruptura total da amostra de solo. Amostra 02.

As amostras de solo apresentaram pontos bem dispersivos, essa disposição pode ter ocorrido devido a grande heterogeneidade do material, que apresentou uma densidade de fissuras significativas, influenciando então no comportamento das amostras sobre a influência da força aplicada. Tomando-se como exemplo a amostra 04, esse comportamento pode ser observado nas Figura 5-54 a Figura 5-57.

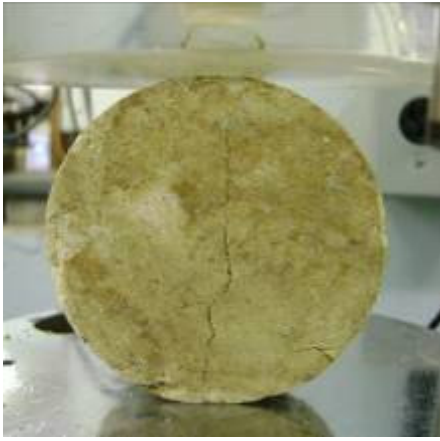


Figura 5-54 – Início da formação da trinca. Amostra 04.



Figura 5-55 – Abertura da trinca com a aplicação da força. Amostra 04.

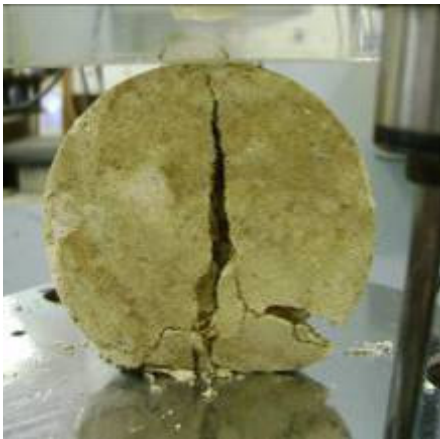


Figura 5-56 – Maior abertura da trinca com o avanço da deformação. Amostra 04.



Figura 5-57 – Ruptura parcial do corpo de prova – apresentação da heterogeneidade. Amostra 04.

As Figura 5-58 a Figura 5-60 apresentam a disposição dos pontos para as três amostras de solo.

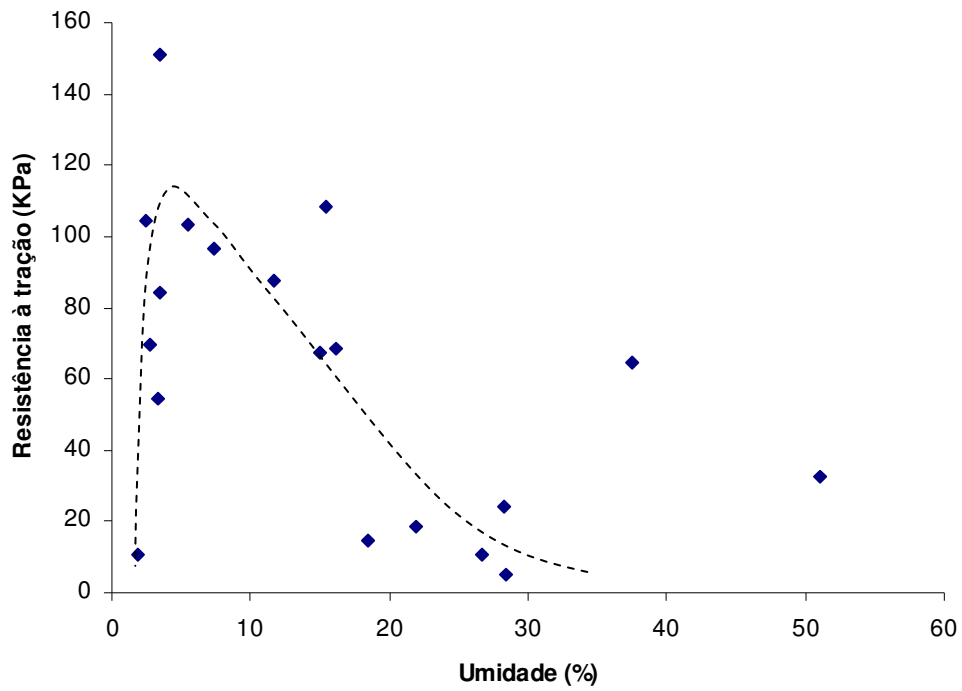


Figura 5-58 – Amostra 02 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.

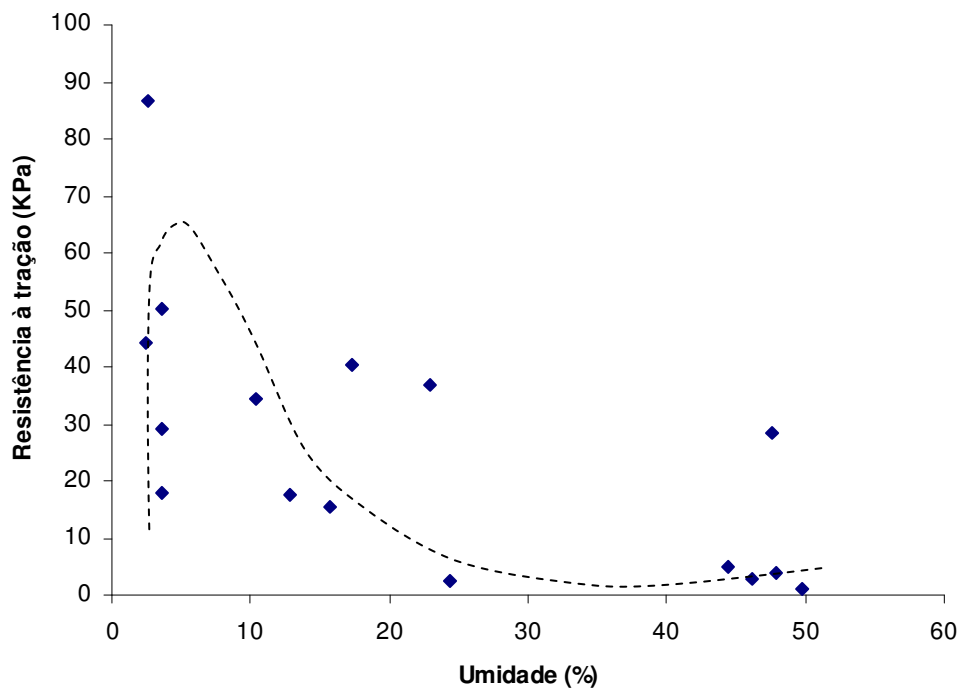


Figura 5-59 – Amostra 03 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.

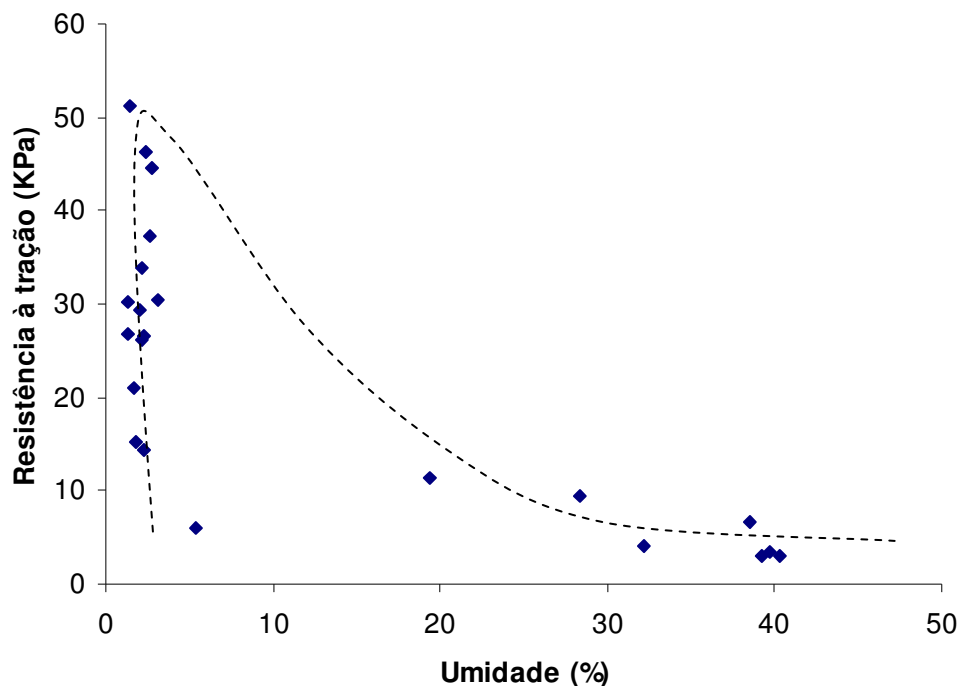
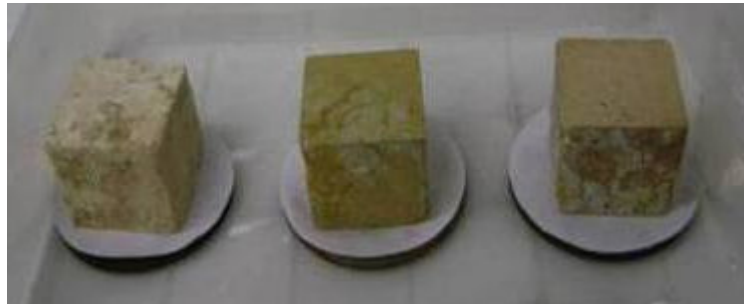


Figura 5-60 – Amostra 04 - Relação da resistência à tração com o teor de umidade gravimétrica.

Dessa forma, pode-se notar então que a sucção possui influência como componente da resistência à tração, já que, de uma forma geral, as amostras de solo apresentam resistências maiores com a diminuição do teor de umidade, assim como, teores de umidade maiores refletem menores resistências.

5.4.7. Desagregabilidade

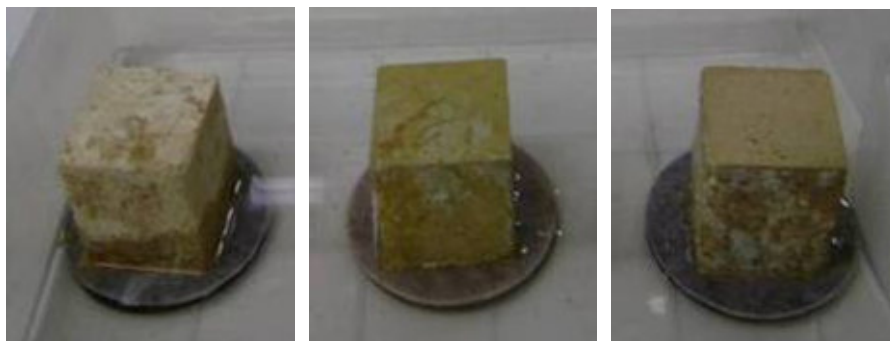
Para a realização desse ensaio os corpos de prova de forma cúbica, com dimensões de 6,0 cm de lado, correspondentes às amostras de solo 02, 03 e 04 foram colocados dentro de uma bandeja, Figura 5-61. Em cada bandeja foi disposto um corpo de prova de cada amostra de solo sobre uma pedra porosa saturada coberta por um papel filtro, sendo que, em uma bandeja houve adição progressiva de água até a completa imersão das amostras, e em outra, houve imersão total dos corpos de prova.



Amostra 02 Amostra 03 Amostra 04

Figura 5-61 – Preparação das amostras para a realização do ensaio.

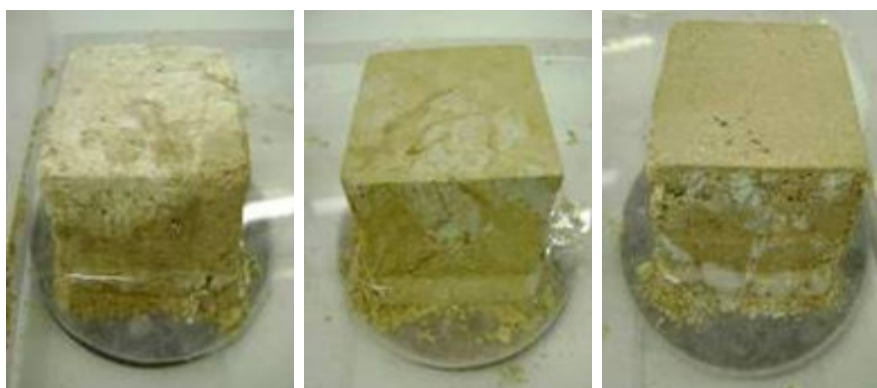
Na primeira bandeja, os corpos de prova foram submetidos à ação da água com nível correspondente a altura de suas bases, por um período de 30 minutos, Figura 5-62.



Amostra 02 Amostra 03 Amostra 04

Figura 5-62 – Amostras no início do ensaio de desagregabilidade por imersão progressiva – água na altura da base dos corpos de prova.

Em seguida o nível d'água foi elevado até atingir 1/3 da altura total das amostras, onde foi mantido por 15 minutos, Figura 5-63.



Amostra 02 Amostra 03 Amostra 04

Figura 5-63 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 1/3 da altura dos corpos de prova.

A seguir, as amostras foram imersas por mais 1/3 da altura total, de forma que 2/3 da altura estivessem submersos e assim foram mantidas por mais 15 minutos, Figura 5-64.

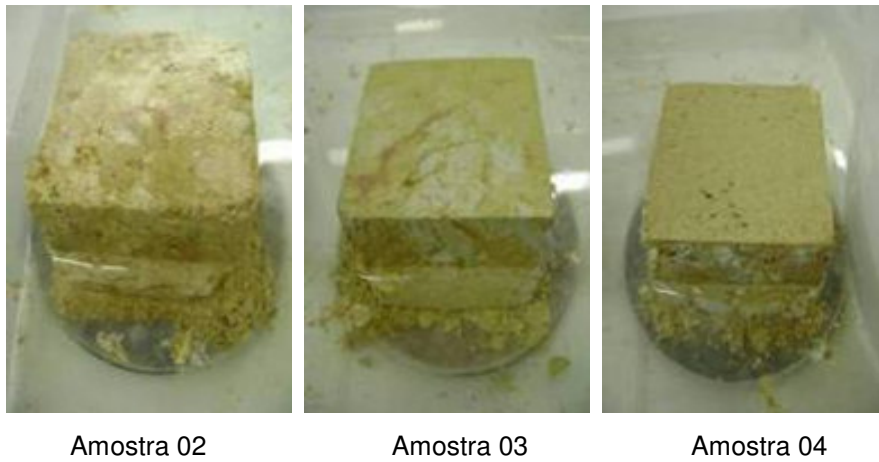


Figura 5-64 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 2/3 da altura dos corpos de prova.

Por último, o nível d'água foi aumentado de mais 1/3 totalizando 3/3 da altura da amostra, isto é, imersão total da mesma. Os corpos de prova ficaram submetidos a essas condições até 24 horas após o início do ensaio, Figura 5-65.

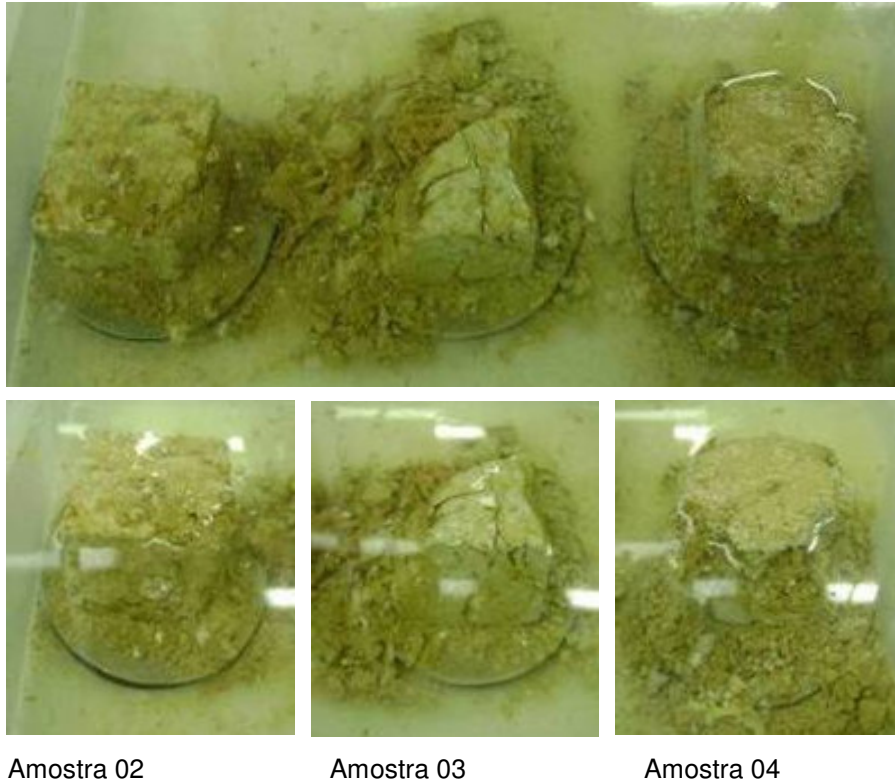
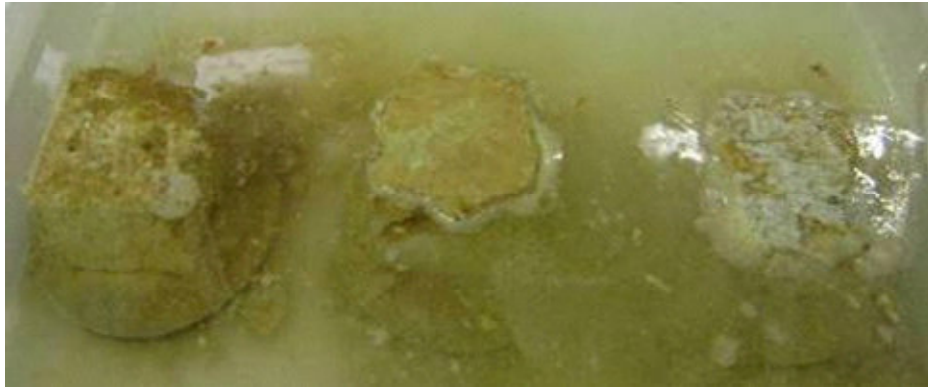


Figura 5-65 – Amostras no ensaio de imersão progressiva – água a 3/3 da altura dos corpos de prova, ou seja, imersão total da amostra, após 24 horas.

Na segunda badeja, as três amostras foram submersas totalmente por um período de 24 horas, também dispostas sobre pedras porosas cobertas por papel filtro. A seguir, Figura 5-66 a Figura 5-70, são apresentadas as amostras no momento imediatamente após o início do ensaio, 15, 30 e 60 minutos e 24 horas após a imersão total dos corpos de prova.



Amostra 02



Amostra 03



Amostra 04

Figura 5-66 – Amostras no ensaio de imersão total – imediatamente após a inundação.



Amostra 02



Amostra 03



Amostra 04

Figura 5-67 – Amostras no ensaio de imersão total – 15 minutos após a inundação.



Amostra 02

Amostra 03

Amostra 04

Figura 5-68 – Amostras no ensaio de imersão total – 30 minutos após a inundação.



Amostra 02

Amostra 03

Amostra 04

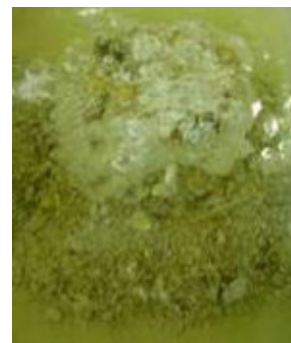
Figura 5-69 - Amostras no ensaio de imersão total – 1 hora após a inundação.



Amostra 02



Amostra 03



Amostra 04

Figura 5-70 – Amostras no ensaio de imersão total – 24 horas após a inundação.

Imediatamente após o início do ensaio, isto é, água ainda na base, a capilaridade se fez mais presente na amostra 02 que começou a desmanchar lentamente enquanto as amostras 03 e 04 desmanchavam-se um pouco mais rápido. Com o passar do tempo a amostra 03 foi a que apresentou maior desagregabilidade, seguida pela amostra 04 e por último a amostra 02. Após 1 hora de ensaio, ou seja, corpos de prova inundados por completo, uma parte superior (lado direito) da amostra 04 caiu. Decorridas às 24 horas do início do ensaio, a amostra que se apresentou mais desagregada e com maior número de fissuras foi a amostra 03, seguida pelas amostras 04 e 02 respectivamente. O material desagregado da amostra 03 apresentou-se em forma de pequenas lascas, enquanto o da amostra 04 possuía forma de torrões. Pode-se dizer, no final do ensaio, que a amostra 02 apresentava-se intacta em torno de 97%, a amostra 03 cerca de 87% e amostra 04 por volta de 93%.

Já no ensaio de imersão total, imediatamente após a inundação as amostras 02 e 04 começaram a desagregar-se mais rapidamente que a amostra 03. Após certo período de tempo a amostra 03 apresentou muitas fissuras e começou a fragmentar-se mais intensamente que as amostras 02 e 04. Parte superior esquerda (atrás) da amostra 03 caiu após 30 minutos de ensaio. Com o passar do tempo a amostra 04 desagregou bastante, mas não mais que a amostra 03, já a amostra 02 foi a menos fragmentada. Esse comportamento permaneceu até o final desse ensaio, isto é, percorridas as 24 horas.

Ao manusear os corpos de prova para retirá-los da bandeja, foi observado que a amostra 02 estava bem firme e ao pressioná-la com os dedos não houve desagregação. A amostra 03, já saiu da bandeja bem fragmentada e a amostra 04 sobre a pressão dos dedos desagregou. Esse comportamento ocorreu tanto para a desmontagem do ensaio de imersão progressiva quanto para o de imersão total.

Com base no comportamento dos corpos de prova apresentados no decorrer dos ensaios de imersão progressiva e imersão total observou-se que a amostra 03 apresentou maior grau de erodibilidade, seguida pela amostra 04 e por último a amostra 02, que apresentou maior resistência sob a influência da água, mostrando-se menos erodível. Nota-se que a amostra que indicou maior grau de erodibilidade foi a que demonstrou um maior teor de argila. Oliveira (2006) e Brant (2005) ao realizarem esse ensaio com solos provenientes de rochas gnáissicas e rochas ígneas, respectivamente, também observaram que as amostras que possuíam maior porcentagem de argila foram as que se apresentaram mais erodíveis.