

4 Resultados e Discussões

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados os resultados e análises dos ensaios descritos no capítulo anterior. Esses ensaios tiveram por objetivo uma melhor compreensão do comportamento dos materiais em estudo.

4.2 Ensaio Físicos

4.2.1 Análise Granulométrica

As curvas granulométricas dos solos estudados na pesquisa foram determinadas considerando os procedimentos da NBR 7181/1984 e foram realizados no Laboratório de Solos do IME.

Os três solos apresentaram curvas granulométricas bem parecidas, ou seja, porcentagem de materiais passantes nas peneiras com valores próximos. Esse resultado pode ser explicado devido ao fato dos materiais pertencerem a um mesmo perfil geotécnico, porém os materiais apresentam-se em profundidades diferentes e possuem a mesma rocha-mãe como origem geológica.

A Tabela 4-1 e a Figura 4-1 apresentam os resultados dos ensaios de análise granulométrica para os solos do presente estudo.

Tabela 4-1 - Resultados das análises granulométricas do presente estudo

Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia			Pedregulho (%)
			Fina (%)	Média (%)	Grossa (%)	
Solo Preto	0,66	42,87	8,26	24,93	22,29	0,99
Solo Amarelo	7,65	43,62	6,23	25,58	16,70	0,22
Solo Vermelho	0,70	50,50	7,41	24,95	16,07	0,38

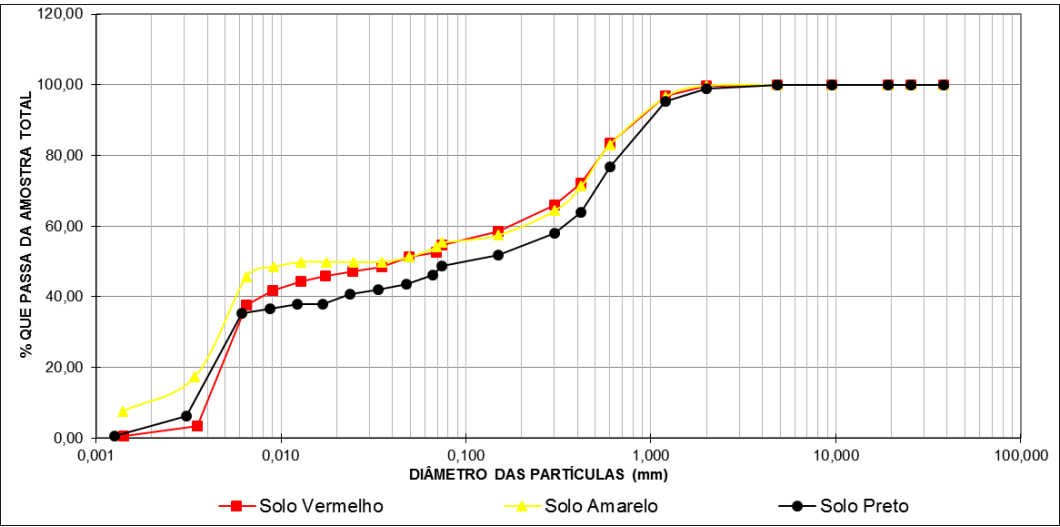


Figura 4-1 - Resultados das análises granulométricas do presente estudo

4.2.2
Massa Específica Real dos Grãos

Os resultados obtidos para massa específica real dos grãos encontram-se listados na Tabela 4-2.

Tabela 4-2 - Resultados dos ensaios de densidade real dos grãos do presente estudo

Material	Densidade Real dos Grãos
Solo Preto	2,483
Solo Amarelo	2,452
Solo Vermelho	2,542

4.2.3
Limites de Atterberg

Os resultados de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade dos solos são apresentados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 - Resultados dos ensaios de limites de Atterberg do presente estudo

	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Solo Preto	47	29	18
Solo Amarelo	53	35	18
Solo Vermelho	59	44	16

4.2.4 Classificação dos Solos

4.2.4.1 Classificação SUCS

De acordo com a classificação do Sistema Unificado de Classificação dos Solos – SUCS, os solos do presente estudo se enquadram na classificação MH-Silte. Podem ser considerados com pequena a média rigidez, com nenhuma ou lenta dilatância e resistência a seco de pequena a média.

4.2.4.2 Classificação HRB

De acordo com a classificação da *Highway Research Board* – HRB, ou sistema rodoviário de classificação, proposto originalmente no Estados Unidos da América, os solos do presente estudo se enquadram na classificação A-7-5 (solo amarelo e vermelho) e A-7-6 (solo preto). Segundo Nogami e Villibor (1985), quando convenientemente compactados, os solos classificados em A-7-6 e A-7-5, podem ser ótimos para subleito se forem lateríticos.

4.2.4.3 Classificação MCT

Apresentam-se os gráficos com resultados da classificação MCT para os três solos do presente estudo (Figura 4-2, Figura 4-3 e Figura 4-4). Os três solos foram classificados como Lateríticos Argilosos.

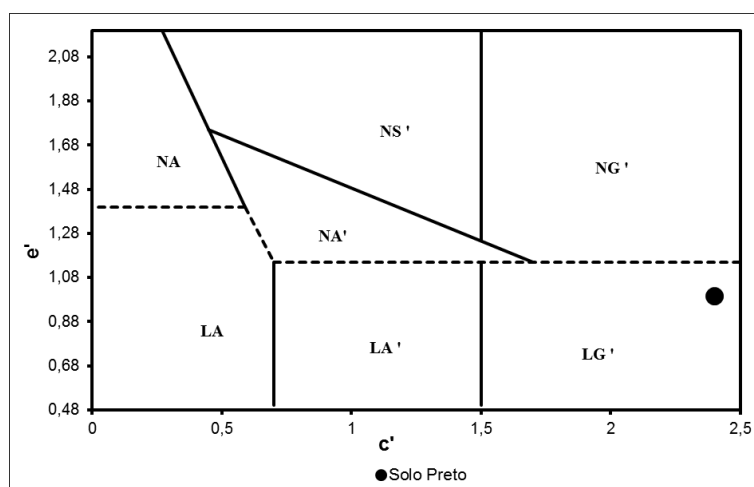


Figura 4-2 - Classificação MCT para o solo preto estudado

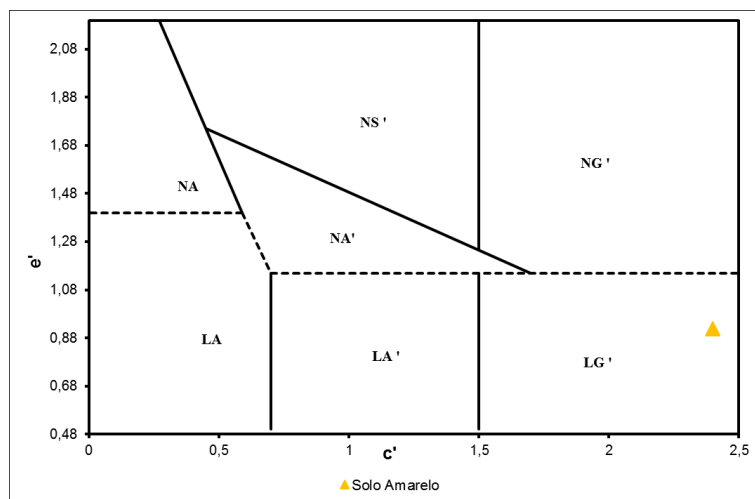


Figura 4-3 - Classificação MCT para o solo amarelo estudado

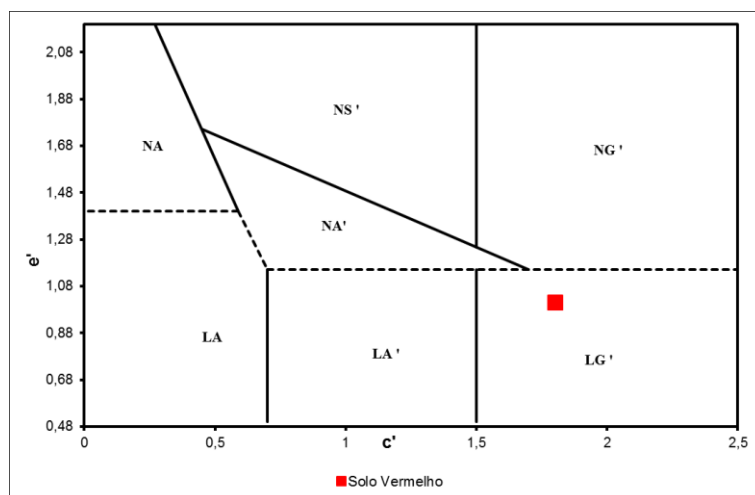


Figura 4-4 - Classificação MCT para o solo vermelho estudado

4.3 Ensaios Químicos

4.3.1 Composição Química

Foram realizados ensaios químicos nas amostras dos três solos estudados, tanto no estado puro quanto no estado tratado com a enzima PZ na dosagem 1:20, por ter apresentado melhores resultados nos ensaios mecânicos.

Nos três solos estudados, há um predomínio dos elementos Alumínio (Al), Silício (Si) e Ferro (Fe), compondo aproximadamente 97% das amostras analisadas. Os outros elementos encontrados foram: Titânio (Ti), Enxofre (S), Zircônio (Zr), Vanádio (V), Potássio (K), Manganês (Mn), Irídio (Ir), Cobre (Cu) e Zinco (Zn).

Nas amostras tratadas com enzima PZ, procurou observar se houve mudanças nos elementos com relação ao solo no estado puro, porém os resultados não foram significativos, ficando todos dentro da margem de erro do ensaio que é de 3%.

Os gráficos apresentam os resultados de composição dos elementos químicos dos solos estudados na presente pesquisa tanto no solo puro quanto no solo tratado com enzima PZ (Figura 4-5, Figura 4-6 e Figura 4-7).

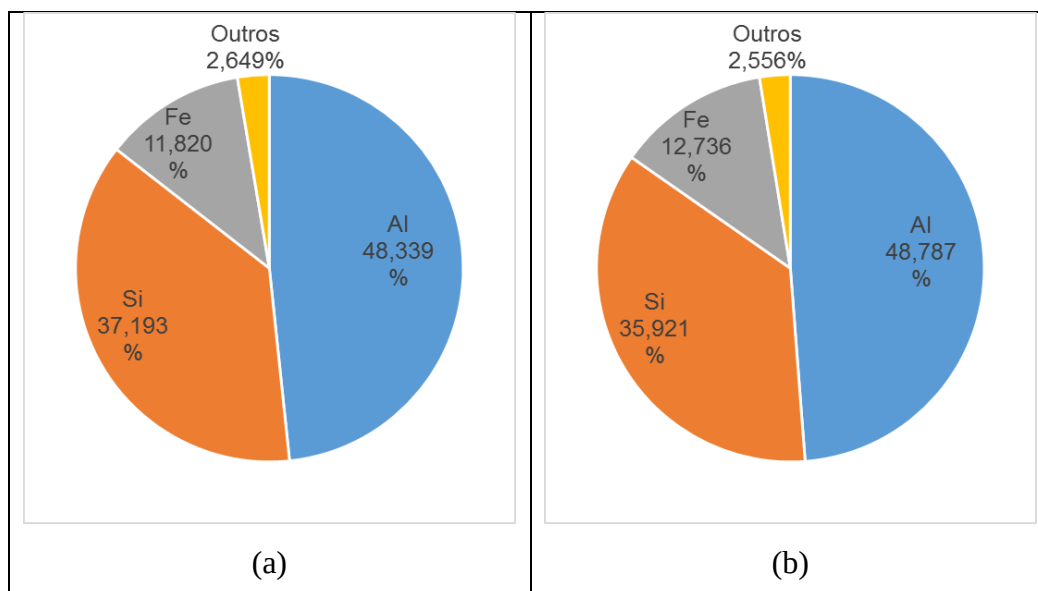


Figura 4-5 - Composição dos elementos químicos do solo preto do presente estudo
(a) solo preto puro (b) solo preto tratado com enzima PZ 1:20

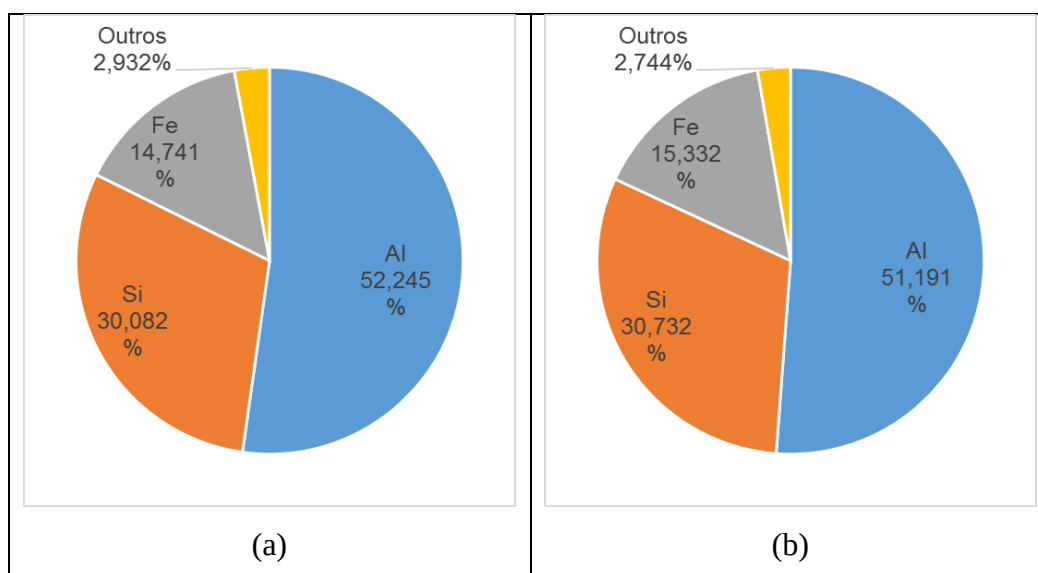


Figura 4-6 - Composição dos elementos químicos do solo amarelo do presente estudo
(a) solo amarelo puro (b) solo amarelo tratado com enzima PZ 1:20

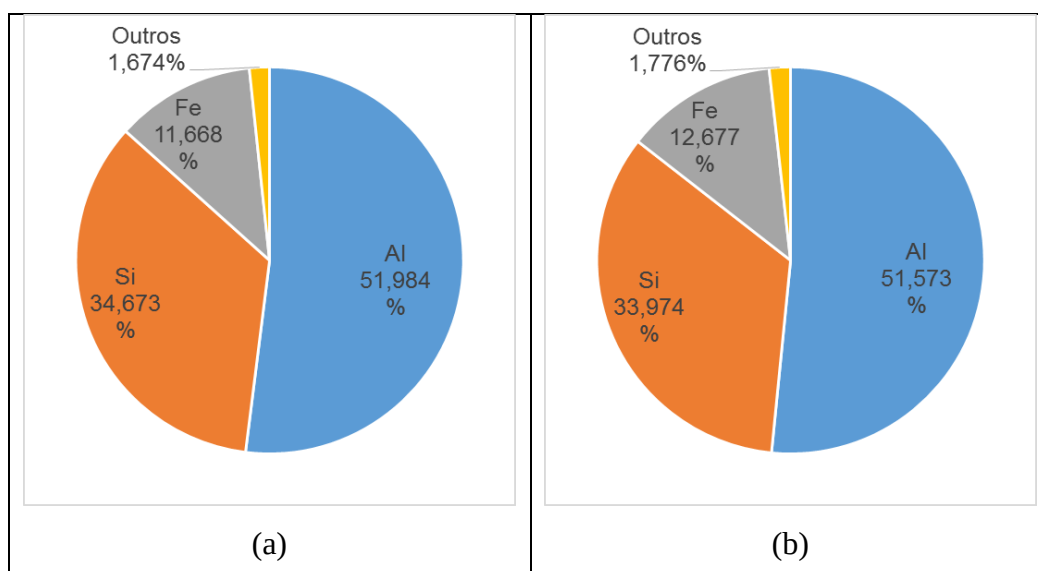


Figura 4-7 - Composição dos elementos químicos do solo vermelho do presente estudo
(a) solo vermelho puro (b) solo vermelho tratado com enzima PZ 1:20

Também foram realizadas análises químicas da composição dos óxidos presentes nos solos. Houve um predomínio de Óxido de Alumínio (Alumina- Al_2O_3), Dióxido de Silício (Sílica- SiO_2) e Óxido de Ferro (Hematita- Fe_2O_3), os dois primeiros respondendo por mais de 90% da composição. Os resultados são apresentados nos gráficos para o solo no estado puro e tratado com enzima PZ (Figura 4-8, Figura 4-9 e Figura 4-10).

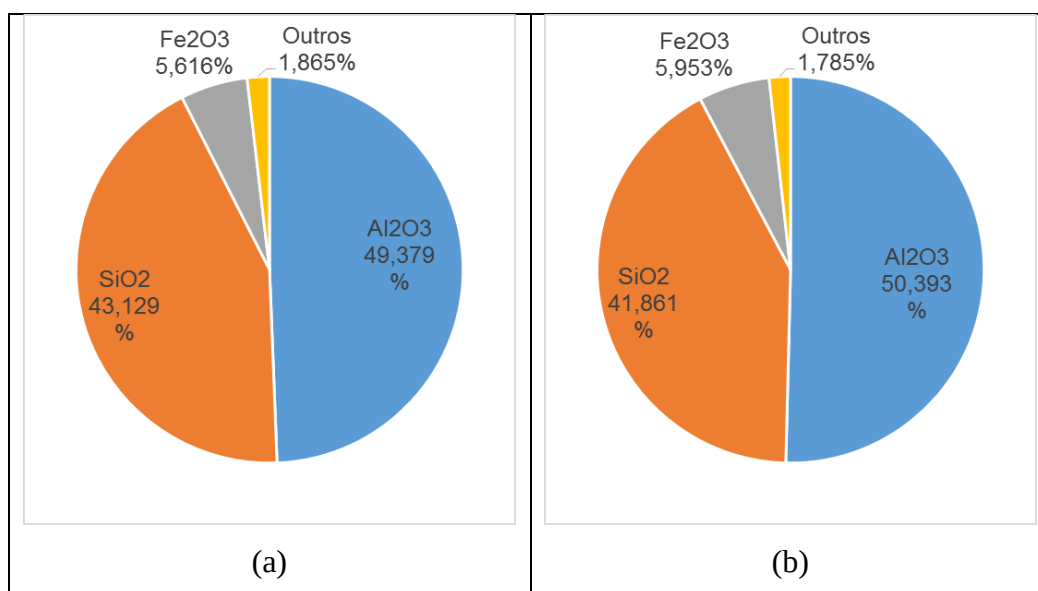


Figura 4-8 - Composição dos óxidos do solo preto do presente estudo
(a) solo preto puro (b) solo preto tratado com enzima PZ 1:20

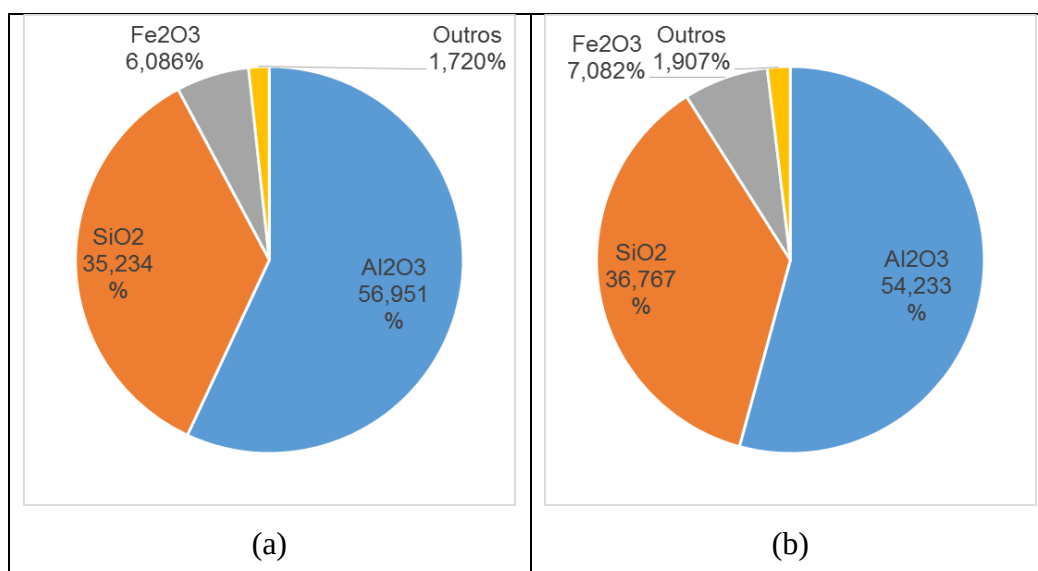


Figura 4-9 - Composição dos óxidos do solo amarelo do presente estudo
(a) solo amarelo puro (b) solo amarelo tratado com enzima PZ 1:20

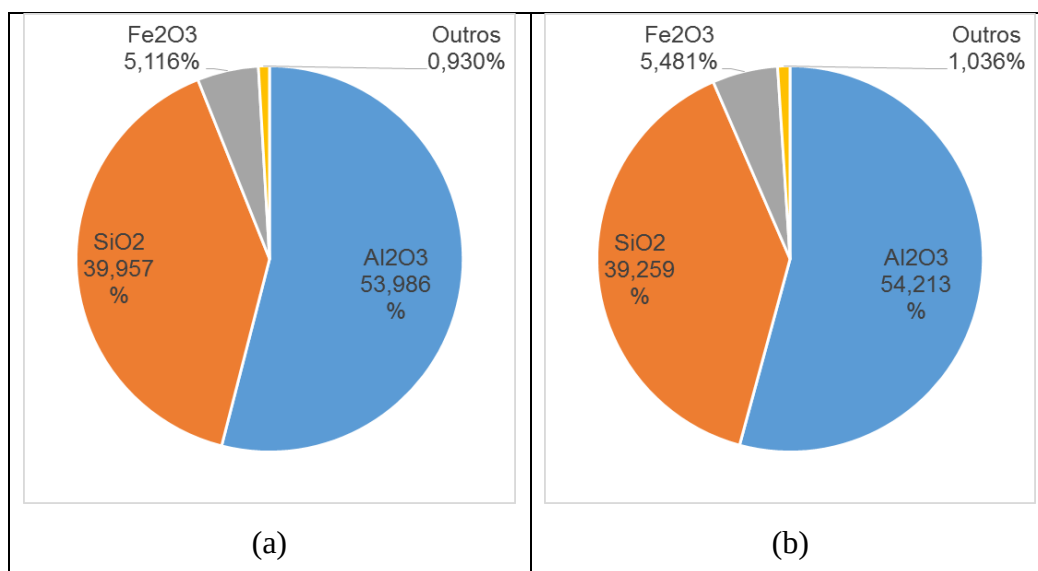


Figura 4-10 - Composição dos óxidos do solo vermelho do presente estudo
(a) solo vermelho puro (b) solo vermelho tratado com enzima PZ 1:20

Os outros óxidos encontrados foram: Dióxido de Titânio (TiO₂), Trióxido de Enxofre (Óxido Sulfúrico-SO₃), Óxido de Potássio (K₂O), Dióxido de Zircônio (ZrO₂), Pentóxido de Vanádio (Anidrido Vanádico-V₂O₅), Óxido de Manganês (MnO), Trióxido de Iridio (ZrO₂), Óxido de Cobre (CuO) e Óxido de Zinco (ZnO).

Também não houve mudanças significativas nas análises com óxidos quando compara-se o solo tratado ao solo puro, ou seja, não há reações químicas que criem novos elementos ou modifiquem os existentes nas amostras analisadas.

4.3.2

Teor de Matéria Orgânica

Os resultados dos teores de matéria orgânica dos solos estudados estão apresentados na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 - Teor de matéria orgânica dos solos do presente estudo

	Teor de Matéria Orgânica (%)
Solo Preto	3,05
Solo Amarelo	3,12
Solo Vermelho	1,45

Como era esperado, os solos mais superficiais, preto e amarelo, apresentaram teores de matéria orgânica maiores do que o solo vermelho, que ocorre em maior profundidade, isso pode ser explicado pelo fato dos solos estarem mais próximos à superfície.

4.4

Ensaio Mecânicos

4.4.1

Ensaio de Compactação

As curvas de compactação dos solos utilizados no presente estudo estão apresentadas na Figura 4-11 e os resultados de Umidade Ótima e Massa Específica Aparente Seca retirados das curvas de compactação e utilizados no presente estudo estão apresentados na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 - Resultados dos ensaios de compactação

	UMIDADE OTIMA (%)	MASSA ESPECIFICA APARENTE SECA (g/cm³)
Solo Preto	20,2	1,614
Solo Amarelo	19,8	1,666
Solo Vermelho	18,1	1,687

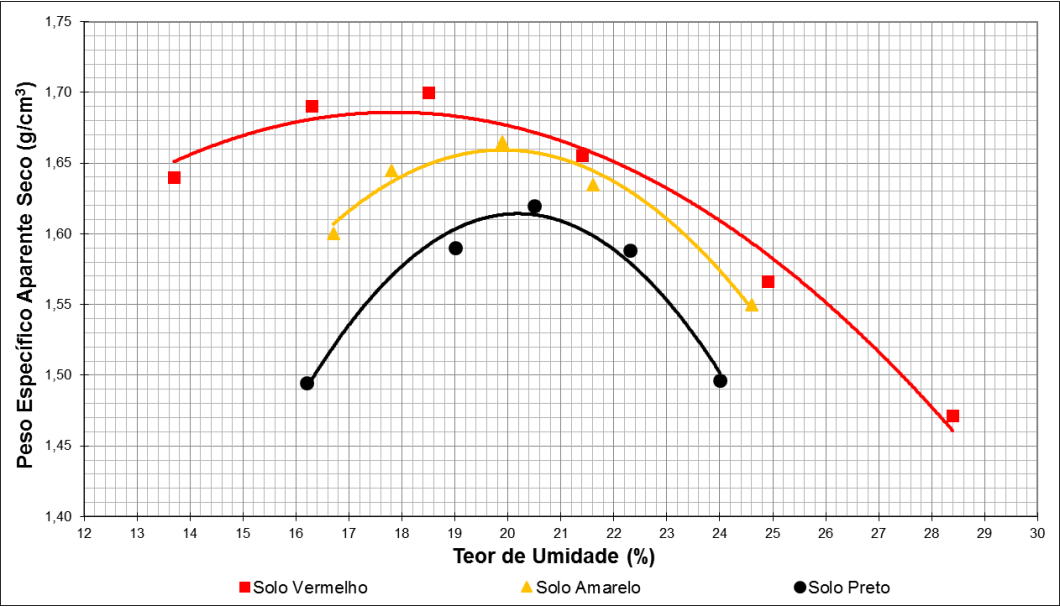


Figura 4-11 - Curvas de compactação dos solos deste estudo

4.4.2
Ensaio de Índice de Suporte Califórnia

Na Tabela 4-6 estão apresentados os valores obtidos no ensaio de Índice de Suporte Califórnia, e na Tabela 4-7 a expansão do corpo de prova de cada solo após quatro dias de imersão.

Tabela 4-6 - Resultados de ISC para os solos estudados

	ISC (%)
Solo Preto	4,3
Solo Amarelo	5,0
Solo Vermelho	7,9

Tabela 4-7 - Resultados de expansão aos 4 dias de imersão

	Expansão (%)
Solo Preto	0,0088
Solo Amarelo	0,0079
Solo Vermelho	0,0562

Na Figura 4-12 está apresentado o resultado do ensaio de ISC nos solos estudados.

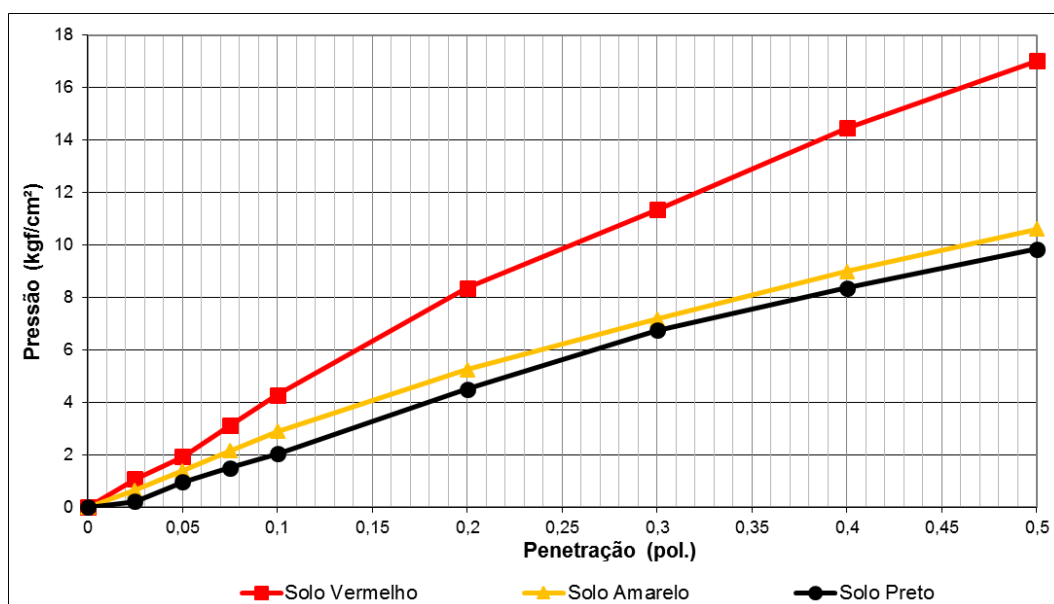


Figura 4-12 - Representação gráfica dos resultados de ISC dos solos estudados

4.4.3

Ensaio LWT – Load Wheel Test

Os resultados dos ensaios realizados no simulador de tráfego LWT serão apresentados a seguir e divididos em diferentes análises. Todos os gráficos possuem, à sua esquerda, o primeiro resultado sendo o solo no estado puro para uma melhor visualização.

O valor de cada barra apresentada nos gráficos significa o número de passadas que o simulador de tráfego obteve até a ruptura, lembrando que a cada 1000 passadas a carga é aumentada de acordo com a Tabela 3-5.

Todos os corpos de prova foram curados ao ar livre, com um tempo de cura de sete dias. Com exceção daqueles onde o objetivo foi verificar se o tempo de cura influenciava no resultado da ruptura.

Os gráficos estão organizados com os três melhores valores de ruptura encontrados dispostos do menor para o maior. Apesar de apresentar apenas os três melhores resultados, foram feitos mais corpos de prova para cada mistura.

4.4.3.1

Resultados Utilizando a Enzima EMC

A Figura 4-13 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima EMC para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40).

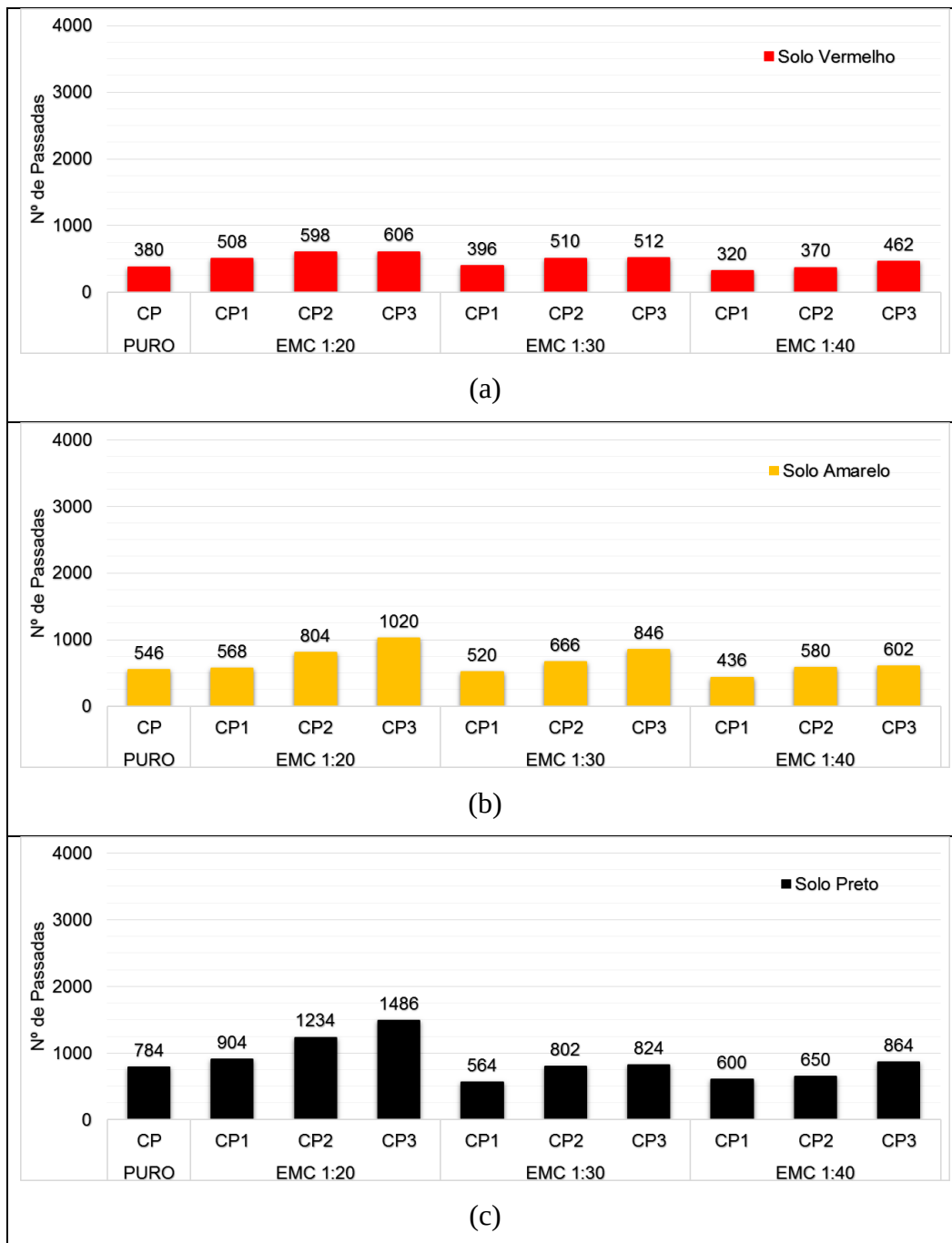


Figura 4-13 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima EMC
(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

Observa-se que a enzima EMC melhorou os três tipos de solos, apresentando em média valores acima da ruptura do solo puro, com valores de 380, 546 e 784 passadas, respectivamente, para os três solos.

O solo preto apresentou um melhor desempenho, onde chegou a uma melhora de 89,5% quando atingiu um valor de 1486 passadas no CP3 com uma dosagem na proporção de 1:20.

Também houve 86,8% de melhora para o CP3 do solo amarelo e 59,5% de melhora no CP3 do solo vermelho, ambos com uma dosagem na proporção de 1:20.

O fato de os melhores resultados serem encontrados na proporção de 1:20 é explicado pela dosagem ser mais concentrada, ou seja, ter uma maior quantidade de enzimas do que as outras proporções, de 1:30 e 1:40.

Alguns resultados ficaram abaixo do próprio valor da ruptura no solo puro, isso pode ser explicado por alguma anormalidade do corpo de prova, seja no momento da sua fabricação, manuseio ou cura, pois um corpo de prova com as mesmas características apresentou valores mais elevados.

4.4.3.2

Resultados Utilizando a Enzima TZ

A Figura 4-14 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima TZ para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40).

Assim como observado para a enzima EMC, os corpos de prova com a enzima TZ apresentaram melhoras em comparação com o solo puro.

No solo vermelho houve uma melhora de 356% em relação ao solo puro, já no solo amarelo a melhora foi de 548% e no solo preto de 411%, todos na dosagem de 1:20.

Já na dosagem de 1:30, a utilizada pelos fabricantes, a melhora também foi significativa, sendo de 258% no solo vermelho, 454% no solo amarelo e 365% no solo preto.

Já na dosagem de 1:40 a melhora foi mais modesta, porém também significativa, acima de 70% nos três solos.

A mesma explicação vale para esse caso, onde a dosagem 1:20 apresenta-se melhor devido à utilização de uma dosagem de enzima maior do que nas outras proporções.

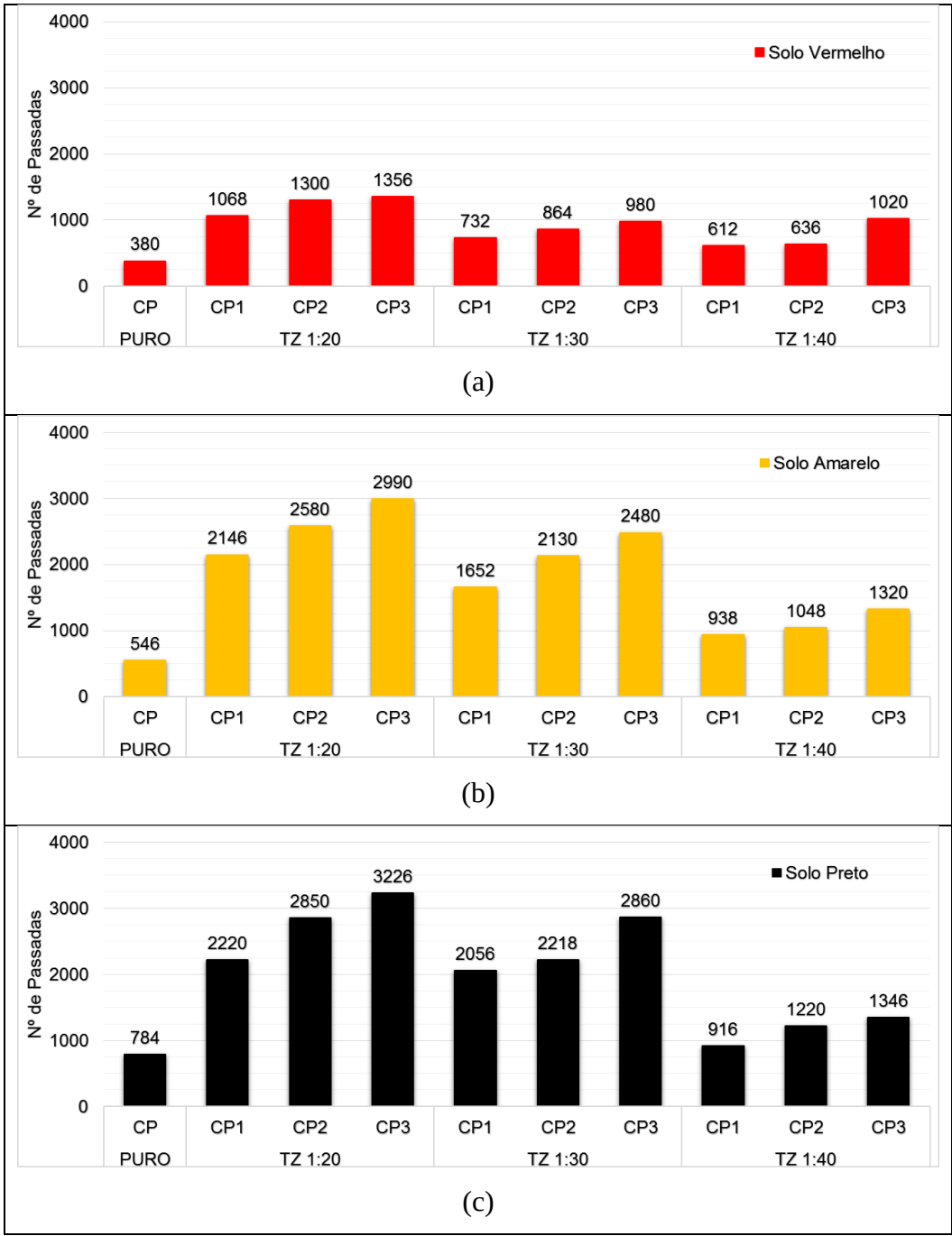


Figura 4-14 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima TZ
(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

4.4.3.3
Resultados Utilizando a Enzima PZ

A Figura 4-15 apresenta os resultados dos ensaios utilizando a enzima PZ para diferentes dosagens (puro, 1:20, 1:30 e 1:40).

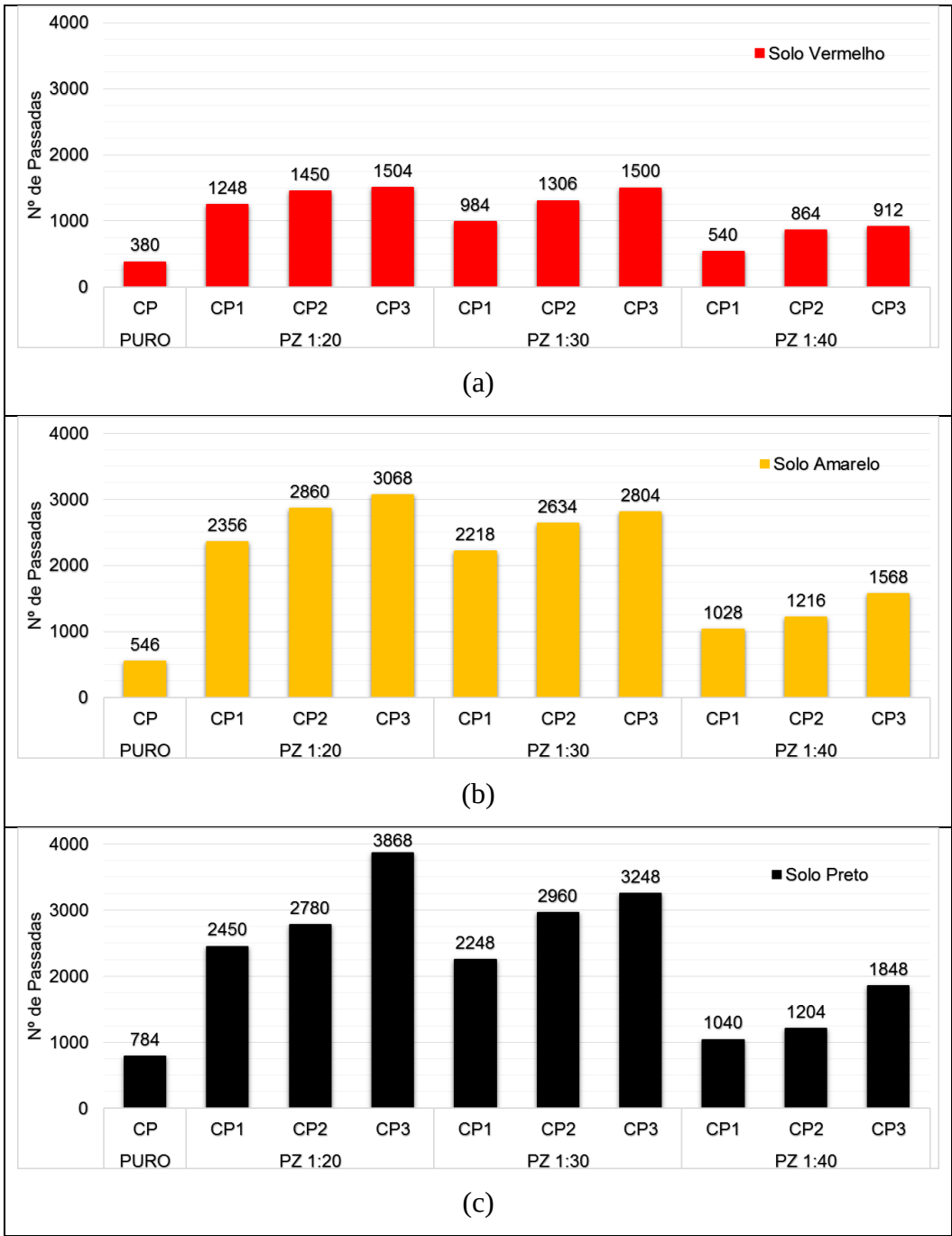


Figura 4-15 - Resultados ensaio LWT utilizando enzima PZ
(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

Observa-se que como nas outras duas enzimas, a PZ também apresentou melhoras significativas, porém apresenta os melhores resultados entre as três enzimas estudadas.

Na dosagem 1:20 houve uma melhora de quase 500% no CP3 do solo preto, atingindo quase que a capacidade máxima do equipamento, que são de 4000 passadas.

O solo amarelo também apresentou bons resultados nas dosagens 1:20 e 1:30, ultrapassando as 2500 passadas, o que significa também quase 500% melhor do que o solo no estado puro.

O solo vermelho apresentou melhoras, mas aquém das apresentadas pelo solo amarelo e preto, não ultrapassando as 1500 passadas, porém, significando quase 400% de melhoria em relação ao solo puro.

As dosagens 1:40, como já comentado, apresentaram os piores resultados, porém não menos significativos, isso pode ser explicado devido à menor quantidade de enzima na sua mistura.

4.4.3.4 Resultados Utilizando a Dosagem 1:40

Na Figura 4-16 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:40 (1 litro de enzima para 40m³ de solo) para os três tipos de enzimas estudados.

Na dosagem 1:40, a quantidade de enzimas na mistura é menor, talvez por isso atinjam menores valores de ruptura, quando comparado às outras dosagens.

No comparativo entre os resultados da dosagem 1:40, a enzima PZ apresentou um melhor resultado para os três solos, aumentando em até 250% os valores de ruptura em relação ao solo no estado puro.

O solo que apresentou os melhores resultados nessa dosagem foi o solo preto, suportando maior número de passadas, conseqüentemente mais cargas com valores maiores (1848 e 1346 passadas), quando comparado ao solo amarelo (1568 e 1320 passadas) e ao solo vermelho (1020 e 912 passadas).

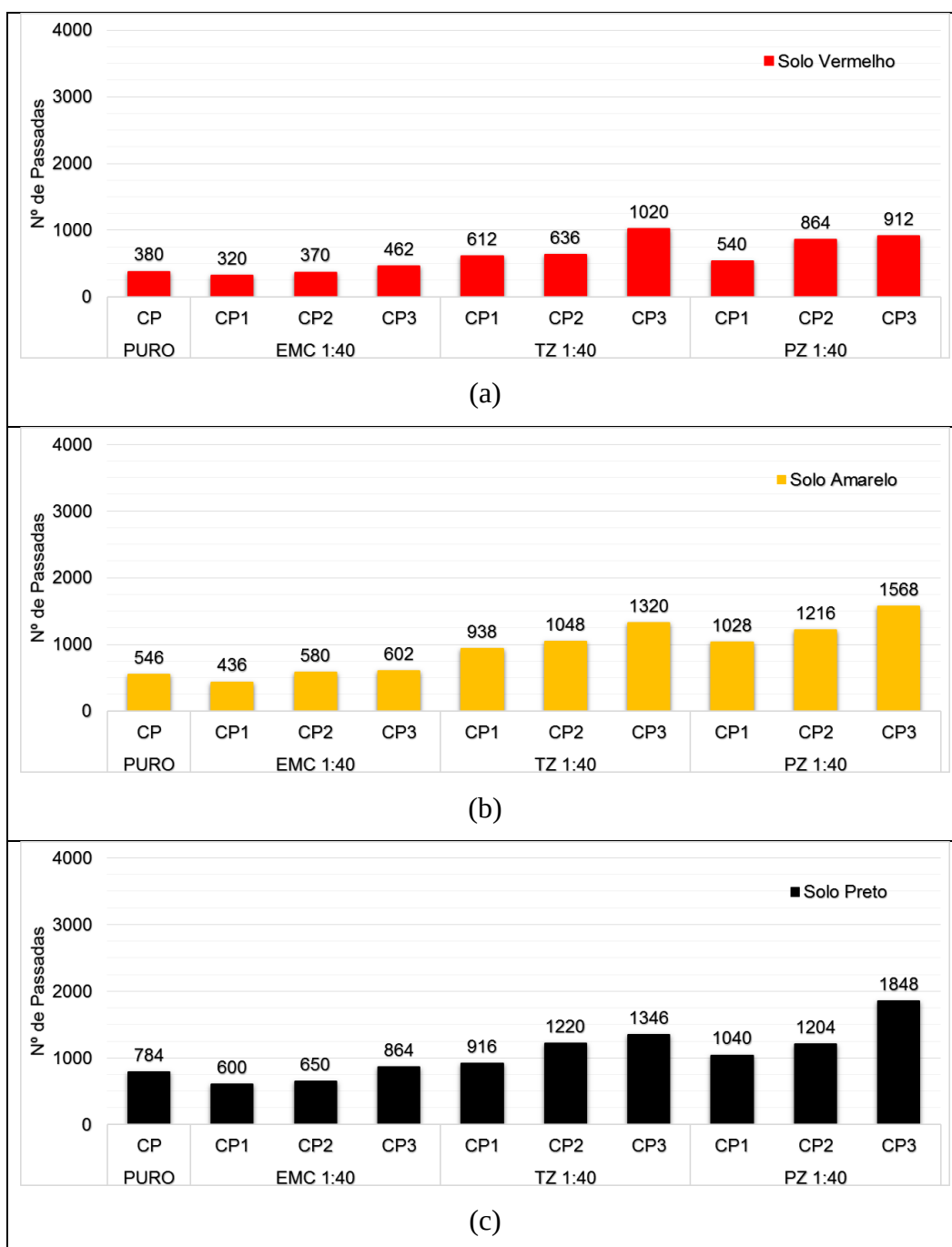


Figura 4-16 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:40

(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

4.4.3.5

Resultados Utilizando a Dosagem 1:30

Na Figura 4-17 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:30 (1 litro de enzima para 30m³ de solo) para os três tipos de enzimas estudados.

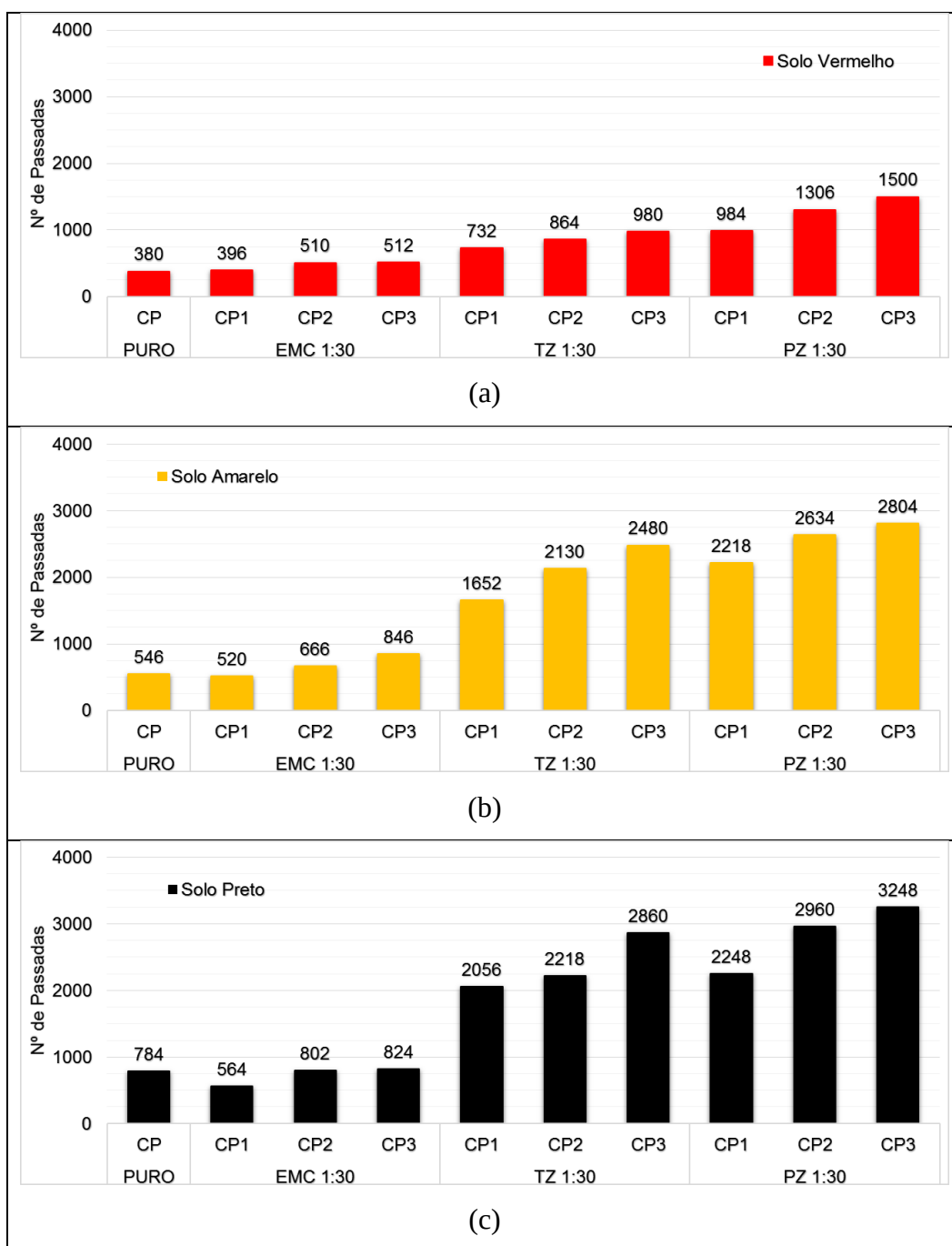


Figura 4-17 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:30

(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

A dosagem 1:30 é a utilizada pelos fabricantes e recomendada aos consumidores pelos mesmos.

De fato, os corpos de prova ensaiados nessa dosagem mostraram melhores resultados em relação à dosagem 1:40, tendo valores acima de 2000 passadas nos solos preto e amarelo, quando tratados com as enzimas TZ e PZ.

Já a enzima EMC não mostrou um desempenho favorável quando comparado às outras duas estudadas. Isso pode ocorrer por alguma diferença do produto, pois

as três enzimas são provenientes da mesma matéria prima, o melaço da cana-de-açúcar, porém cada fabricante tem os seus procedimentos e segredos a respeito da fabricação das mesmas, o que pode levar a diferenças na composição e consequentemente no seu desempenho.

Percebe-se que, como visto nos outros resultados, os melhores corpos de prova são os ensaiados com os solos preto e amarelo. Os resultados com o solo vermelho apresentam menores valores de ruptura. Isso pode ser explicado pelo teor de matéria orgânica presente no solo, visto que a enzima precisa de um substrato orgânico para suas reações. Se o solo possui um teor maior de matéria orgânica, as reações se desenvolvem mais facilmente do que um solo que possui uma porcentagem menor.

4.4.3.6

Resultados Utilizando a Dosagem 1:20

Na Figura 4-18 serão apresentados os resultados comparativos das análises utilizando as dosagens na proporção 1:20 (1 litro de enzima para 20m³ de solo) para os três tipos de enzimas estudados.

Como já era esperado, em relação a dosagem, os melhores resultados foram apresentados na relação 1:20, onde os valores dos solos amarelo e preto ficaram próximos de 3000 passadas ou até mesmo ultrapassaram. Tendo uma melhora muito significativa, devido à quantidade maior de enzima na mistura.

O solo vermelho novamente ficou abaixo dos resultados dos outros dois solos estudados, mas não menos importantes, pois mesmo assim apresentou melhoras acima de 400% em relação ao estado puro.

Já a enzima EMC, em todos os três solos e nas três dosagens (1:20, 1:30 e 1:40) não apresentou resultados expressivos quando comparado aos outros valores, não ultrapassando as 1486 passadas do solo preto com dosagem 1:20. Isso pode ser explicado novamente pela quantidade de matéria orgânica presente no solo, visto que a enzima precisa de um substrato orgânico para suas reações e o solo vermelho apresentou o menor teor de matéria orgânica entre os três solos estudados.

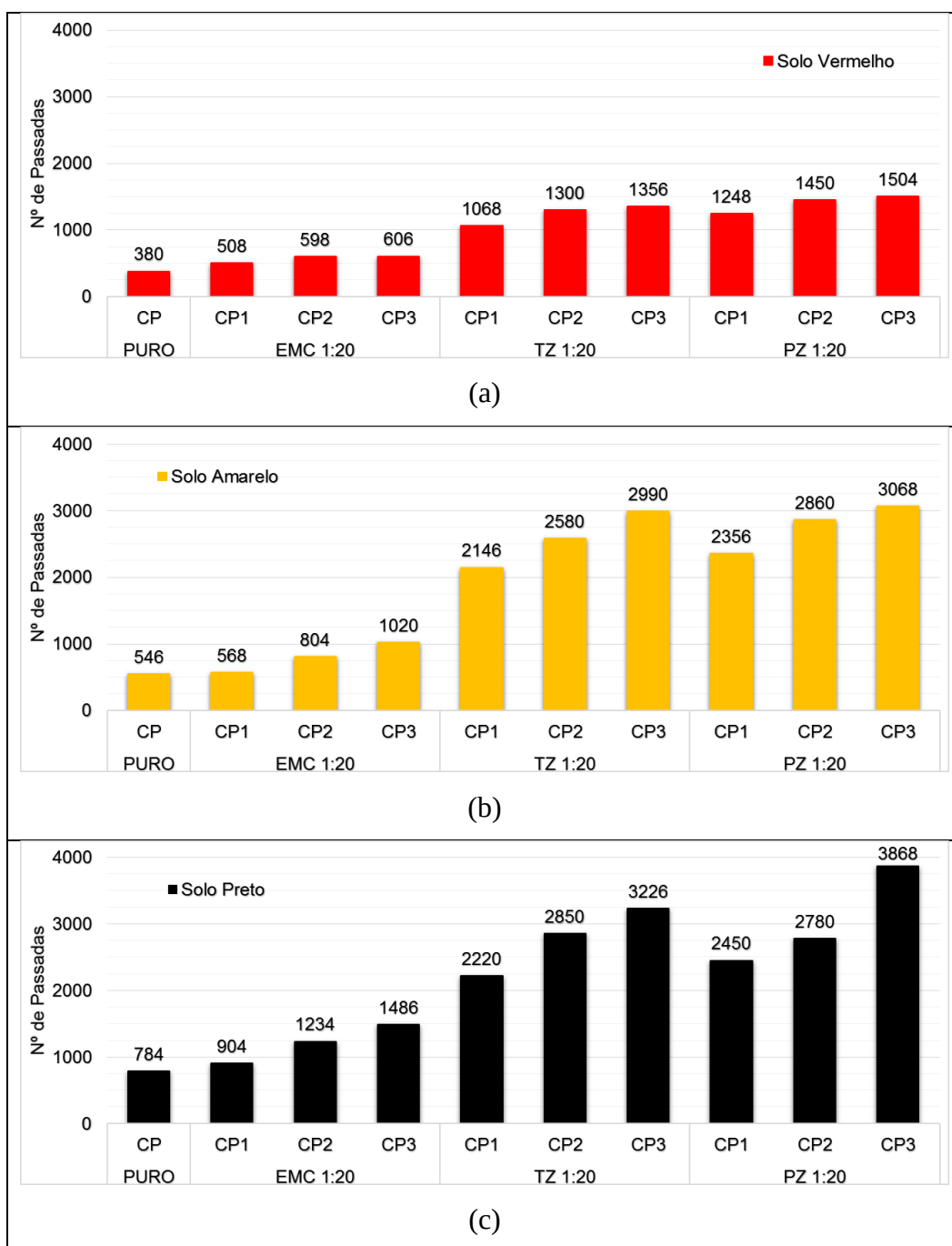


Figura 4-18 - Resultados ensaio LWT utilizando dosagem 1:20
(a) solo vermelho (b) solo amarelo (c) solo preto

4.4.3.7

Resultados variando o tempo de Cura

Após a ruptura de todos os corpos de prova apresentados anteriormente, optou-se em verificar a influência do tempo de cura, pois todos os corpos de prova foram rompidos com sete dias de cura ao ar livre.

Foi escolhido o melhor resultado de todos os ensaios realizados para compor os ensaios individuais. A mistura escolhida foi o solo preto com a enzima PZ e dosagem 1:20 (que apresentou resultados de até 3868 passadas).

Foram executados mais corpos de prova e estes foram curados e rompidos nos seguintes períodos:

- 14 dias;
- 28 dias;
- 56 dias;
- 90 dias.

Os resultados destes ensaios estão apresentados na Figura 4-19.

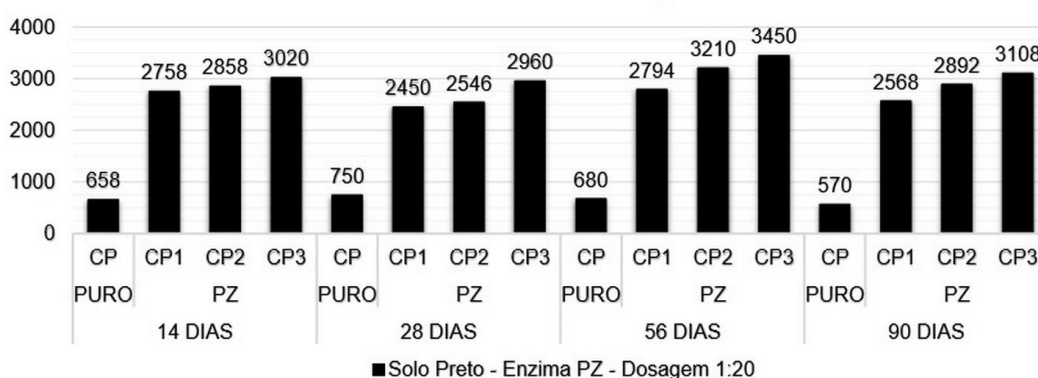


Figura 4-19 - Variação do tempo de cura (solo preto, enzima PZ, dosagem 1:20)

Para todos os períodos de cura foram feitos corpos de prova no estado tratado e no estado puro para se fazer as comparações. Como pode ser observado, os resultados não diferem muito, ou seja, não existe uma tendência de melhoria ao longo do tempo. Os valores são próximos e ficam próximos à média de 3000 passadas.

Os resultados com 7 dias, para essa mistura, mostram que não houveram melhorias significativas para os outros períodos de tempo analisados, mostrando que o período longo de cura não interfere no desempenho.

4.4.4 Compressão Simples

Os ensaios de compressão simples foram executados no Laboratório de Solos do IME. Foram moldados quatro corpos de prova cilíndricos no tamanho 10x20 cm (diâmetro x altura) (Figura 4-20), sendo dois com solo preto puro e dois com solo preto tratado com PZ com dosagem 1:20.

Todos os corpos de prova foram moldados e curados por sete dias ao ar livre, assim como foram feitos com os corpos de prova para o LWT.



Figura 4-20 - Corpo de prova para ensaio de compressão simples – solo preto puro

A Figura 4-21 apresenta os resultados médios da compressão simples nas amostras ensaiadas.

Observa-se que o comportamento à compressão simples do solo tratado com a enzima é superior ao solo no estado puro. O pico de resistência atingido no solo puro foi de 4,4MPa e no solo tratado foi de 6,5MPa, um aumento de quase 50%.

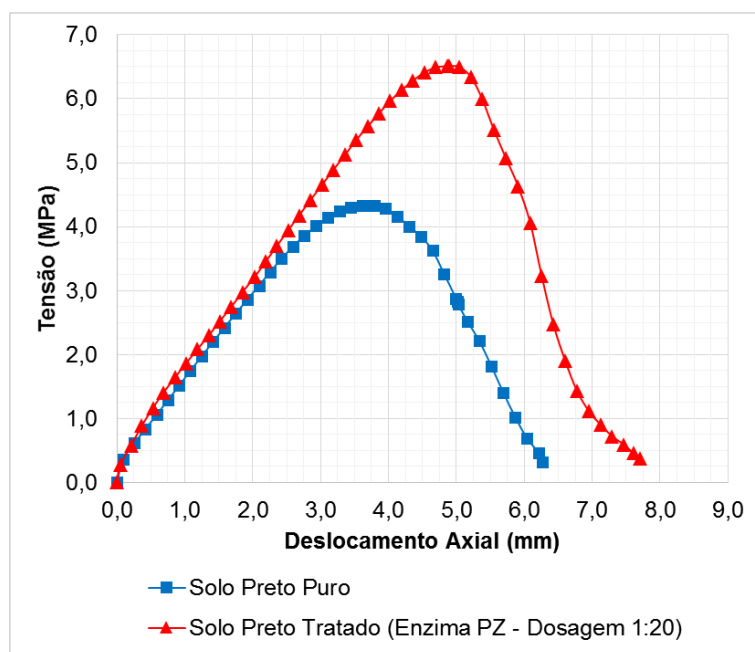


Figura 4-21 - Compressão simples - solo preto puro e tratado com PZ

4.5 Micromorfologia e Mineralogia

4.5.1 Micromorfologia – Microscopia Eletrônica de Varredura

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Microscopia Eletrônica, Varredura e Transmissão da Seção de Ensino de Engenharia Mecânica e de Materiais do Instituto Militar de Engenharia-IME.

Numa primeira etapa foram realizadas prospecções a 100x, 200x e 2000x com os três tipos de solos no estado puro e também com os três tipos de solos no estado tratado com a enzima PZ, escolhida por apresentar os melhores resultados nos ensaios mecânicos com o LWT.

Numa segunda etapa foram realizadas prospecções de até 100.000x apenas no solo preto puro e tratado com PZ, a fim de identificar níveis de transformações sofridos ou constituintes das amostras.

As imagens estão organizadas em solo puro do lado esquerdo e solo tratado do lado direito com o intuito de comparação, bem como em ordem de prospecção, 100x, 200x e 2000x.

A Figura 4-22 apresenta os resultados do solo vermelho, a Figura 4-23 apresenta os resultados do solo amarelo e a Figura 4-24 os resultados do solo preto.

O objetivo da microscopia foi identificar ligações, transformações ou qualquer tipo de mudança que a enzima pudesse causar no solo puro. Porém em todas as imagens analisadas após o tratamento com enzima, não se conseguiu identificar nenhuma mudança na estrutura, bem como identificação de novos constituintes, nem mesmo ligações físicas entre as partículas, estas se estimam que existam pelo fato dos corpos de prova apresentarem mais rígidos quando tratados.

Decidiu-se fazer novas análises com prospecções maiores, chegando a 100.000x, porém fez-se apenas com solo preto no estado puro e no estado tratado com PZ 1:20. Esses resultados apresentam-se na Figura 4-25.

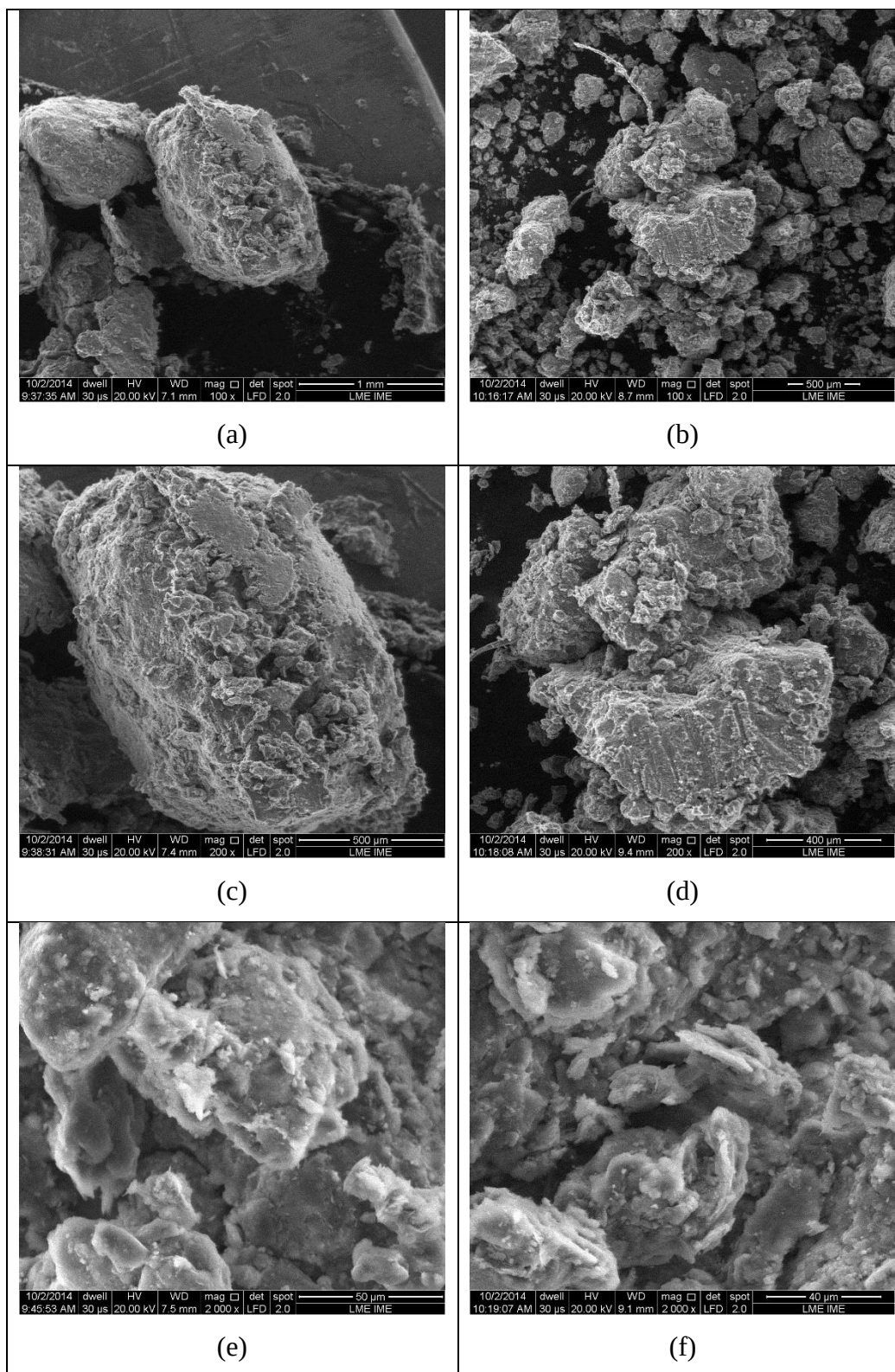


Figura 4-22 - Microscopia eletrônica de varredura - solo vermelho puro e tratado com PZ 1:20 (100x, 200x e 2000x)

(a) solo vermelho puro (100x)
 (c) solo vermelho puro (200x)
 (e) solo vermelho puro (2000x)

(b) solo vermelho tratado com PZ 1:20 (100x)
 (d) solo vermelho tratado com PZ 1:20 (200x)
 (f) solo vermelho tratado com PZ 1:20 (2000x)

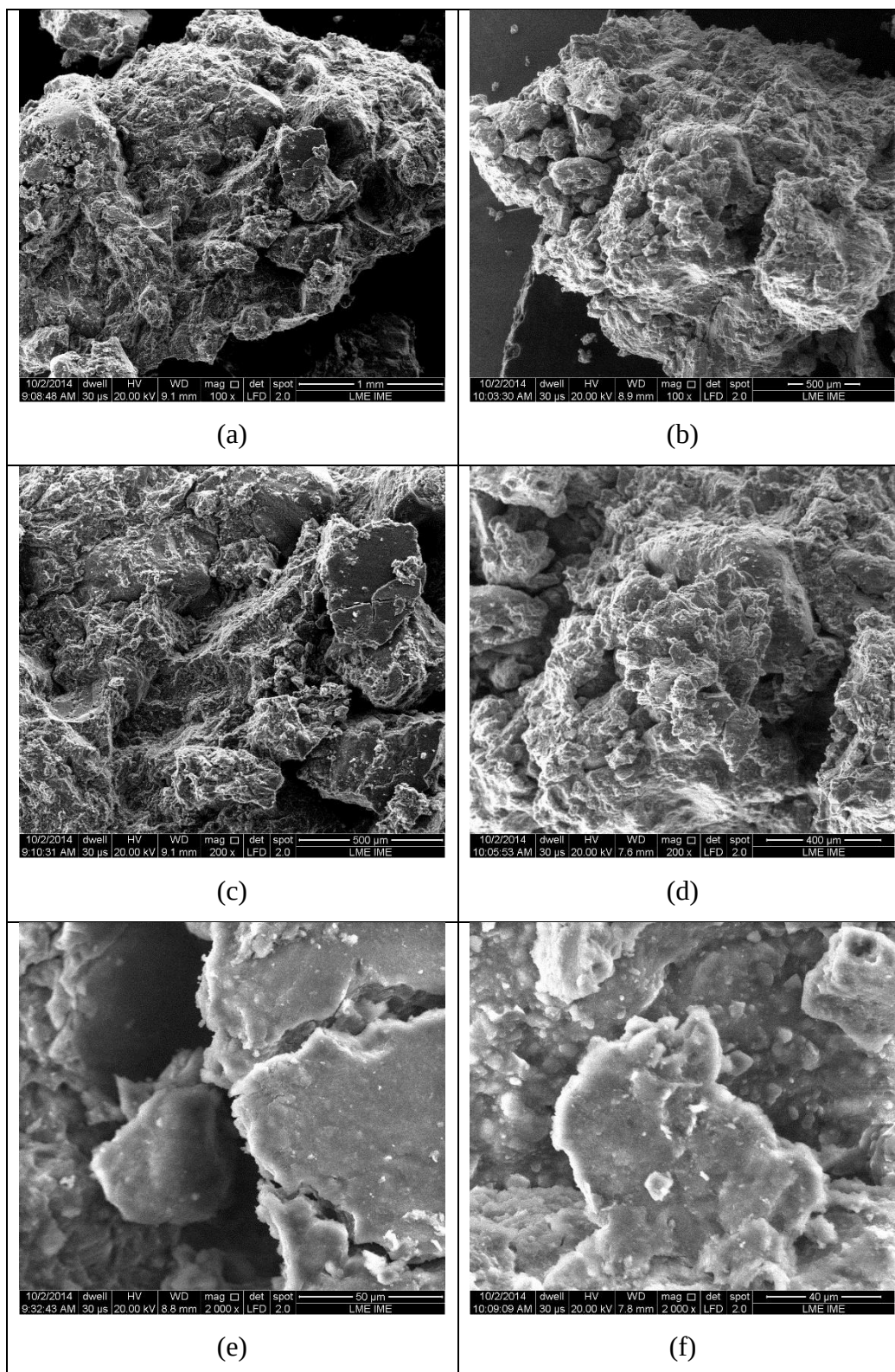


Figura 4-23 - Microscopia eletrônica de varredura - solo amarelo puro e tratado com PZ 1:20 (100x, 200x e 2000x)

(a) solo amarelo puro (100x)

(b) solo amarelo tratado com PZ 1:20 (100x)

(c) solo amarelo puro (200x)

(d) solo amarelo tratado com PZ 1:20 (200x)

(e) solo amarelo puro (2000x)

(f) solo amarelo tratado com PZ 1:20 (2000x)

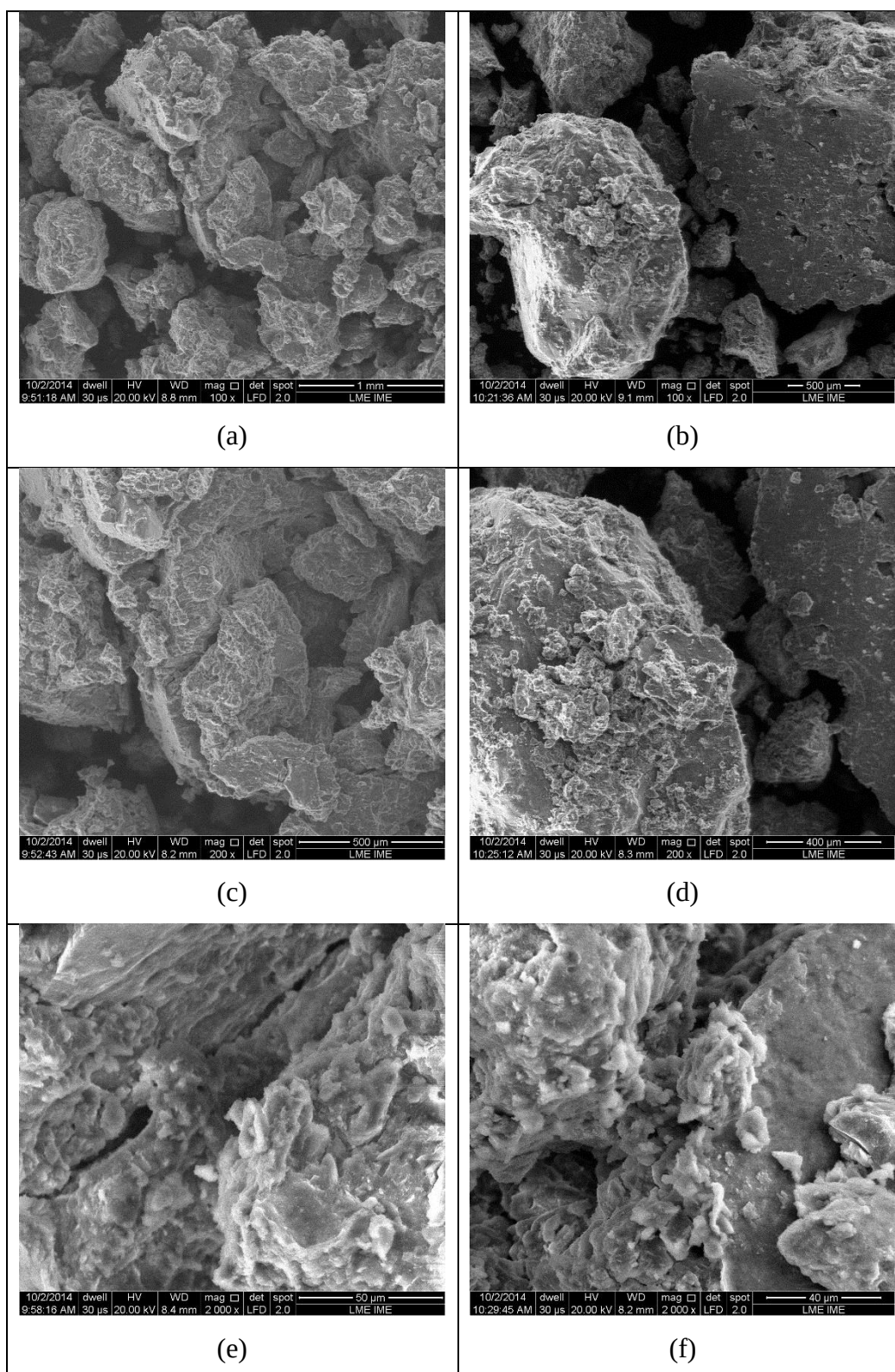


Figura 4-24 - Microscopia eletrônica de varredura - solo preto puro e tratado com PZ 1:20 (100x, 200x e 2000x)

(a) solo preto puro (100x)

(b) solo preto tratado com PZ 1:20 (100x)

(c) solo preto puro (200x)

(d) solo preto tratado com PZ 1:20 (200x)

(e) solo preto puro (2000x)

(f) solo preto tratado com PZ 1:20 (2000x)

A Figura 4-25, apresenta prospecções realizadas a 50.000x e 100.000x sobre amostras de solo preto puro (a esquerda), e amostras de solo preto tratado com enzima PZ com teor 1:20 do lado direito.

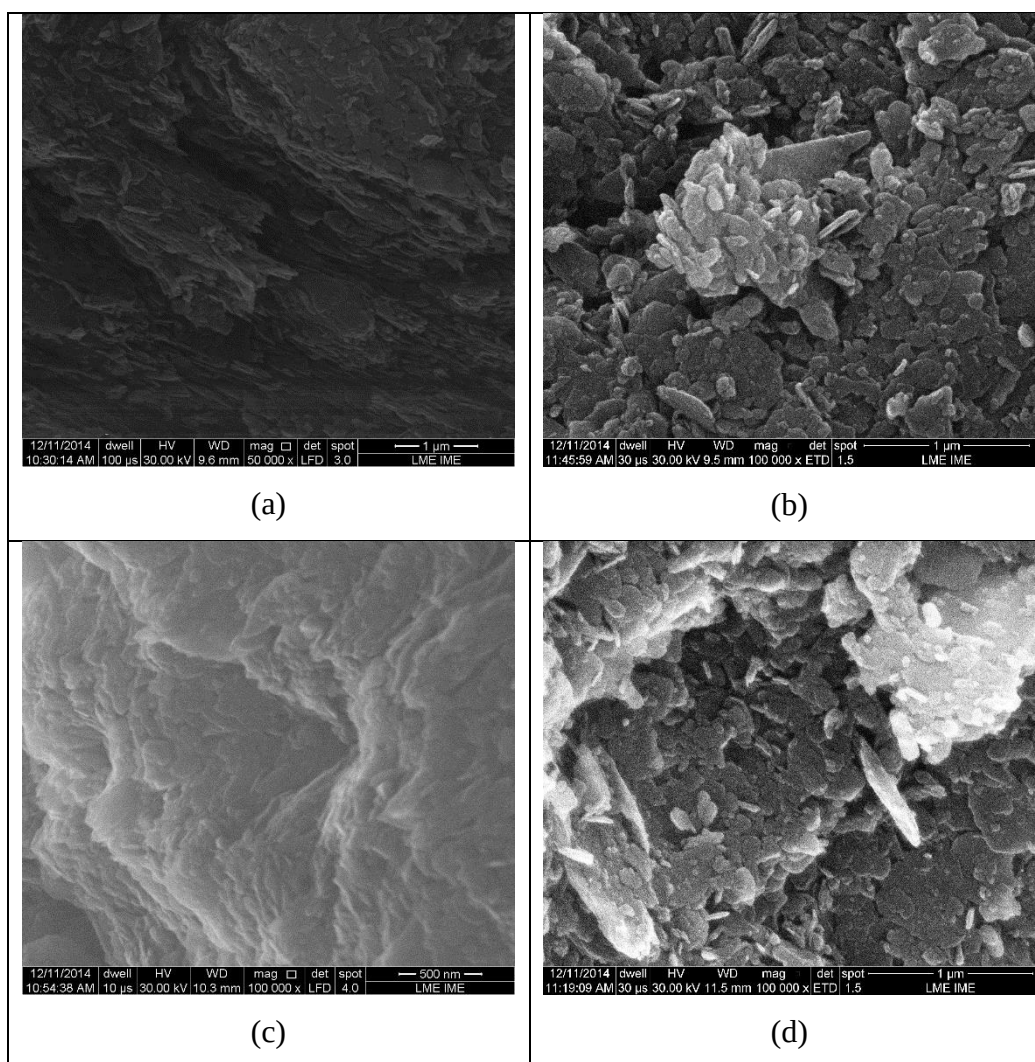


Figura 4-25 - Microscopia eletrônica de varredura - solo preto puro e tratado com PZ 1:20 (50.000 e 100.000x)

(a) solo preto puro (50.000x)

(b) solo preto tratado com PZ 1:20 (50.000x)

(c) solo preto puro (100.000x)

(d) solo preto tratado com PZ 1:20 (100.000x)

Mais uma vez não foi possível encontrar as ligações entre as partículas de argilas, nem mesmo pode-se identificar se houve ou não novas estruturas formadas com a adição das enzimas no solo tratado.

4.5.2 Mineralogia – Difração de Raios-X

Os ensaios foram executados no Laboratório de Difração de Raios-X da Seção de Ensino de Engenharia Mecânica e de Materiais do Instituto Militar de Engenharia-IME.

Foram realizados ensaios nas três amostras de solo puro e também com três amostras de solo tratado com a enzima PZ dosagem 1:20, totalizando 6 análises.

- Solo preto puro;
- Solo preto tratado com PZ;
- Solo amarelo puro;
- Solo amarelo tratado com PZ;
- Solo vermelho puro;
- Solo vermelho tratado com PZ.

A escolha pela enzima PZ na dosagem 1:20 se deu pelo fato desta apresentar os melhores resultados quando comparada com as outras estudadas.

Apresentam-se os gráficos de Difração de Raios-X para o solo preto puro (Figura 4-26) e solo preto tratado com PZ 1:20 (Figura 4-27).

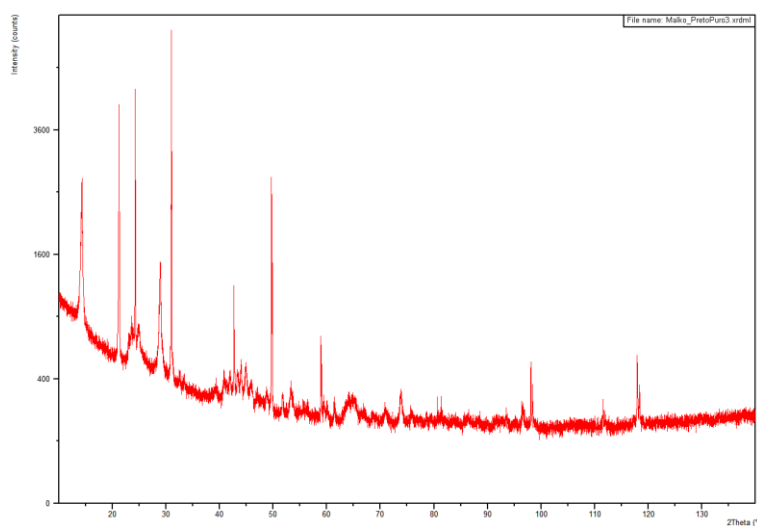


Figura 4-26 – Resultado de difração de raios-x do solo preto no estado puro

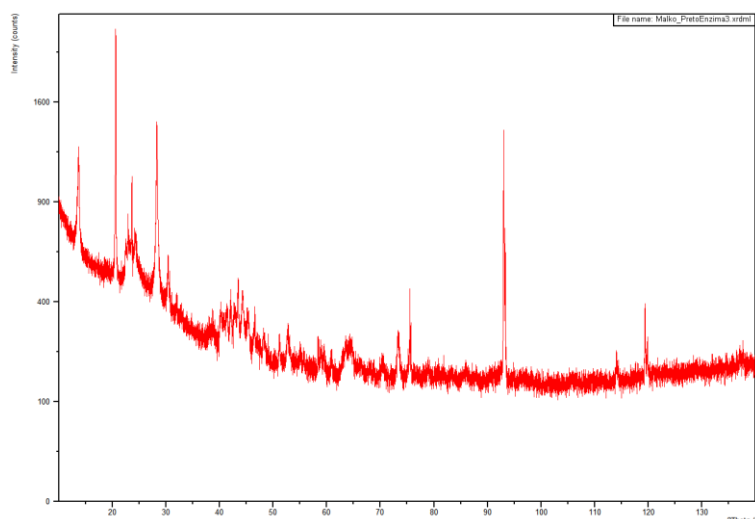


Figura 4-27 - Resultado de difração de raios-x do solo preto tratado com enzima PZ

O objetivo da difração de raios-x foi apenas para identificar se houve ou não modificação na estrutura da amostra devido à adição da enzima, tornando-se uma análise qualitativa. Percebe-se que há picos no solo tratado que não aparecem no solo puro, por volta de 80° e 95° do eixo 2Theta(°).

Isso significa aparente mudança de uma amostra para outra, porém não foi estudado qual mudança ocorreu e em qual proporção, sabe-se apenas que houve alteração no solo tratado.

Apresentam-se os gráficos de Difração de Raios-X para o solo amarelo puro (Figura 4-28) e solo amarelo tratado com PZ 1:20 (Figura 4-29).

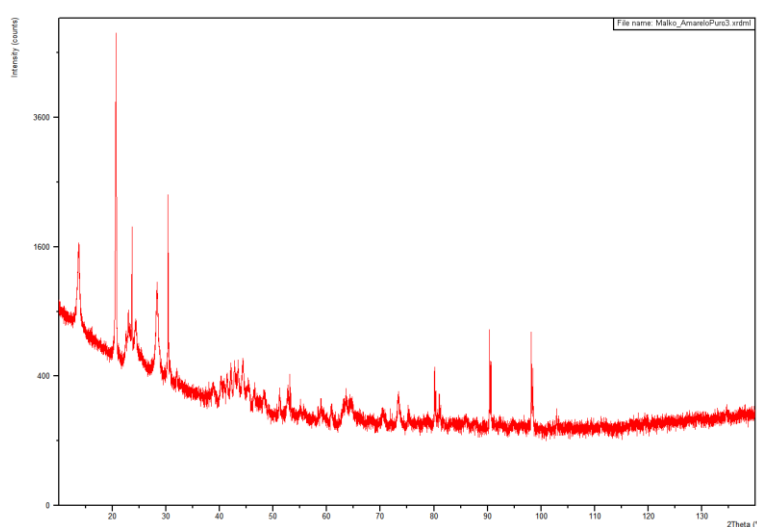


Figura 4-28 - Resultado de difração de raios-x do solo amarelo no estado puro

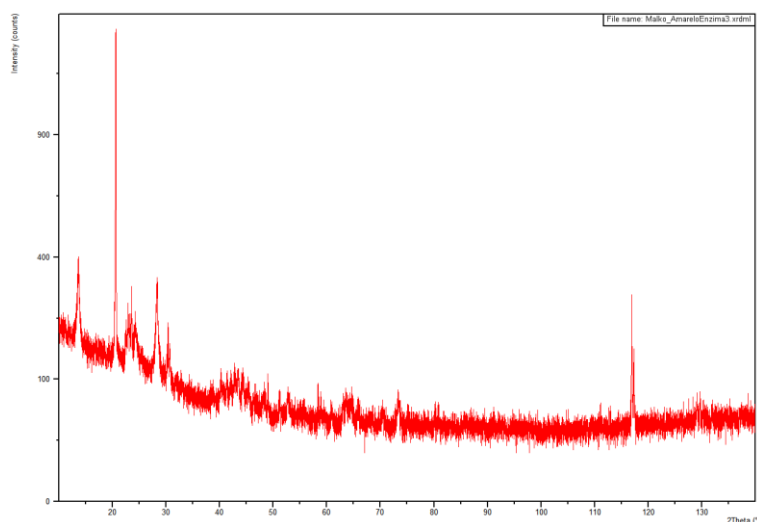


Figura 4-29 - Resultado de difração de raios-x do solo amarelo tratado com enzima PZ

O mesmo raciocínio do primeiro caso com o solo preto, repete-se para o solo amarelo. No estado puro apresentam-se pequenos picos entre 80° e 100°, isso já não ocorre no estado tratado, porém nota-se um pico maior próximo a 120°. Significando mais uma vez que houve mudanças na estrutura do solo, porém não pesquisadas por não fazer parte do objetivo desta pesquisa.

Apresentam-se os gráficos de Difração de Raios-X para o solo vermelho puro (Figura 4-30) e solo vermelho tratado com PZ 1:20 (Figura 4-31).

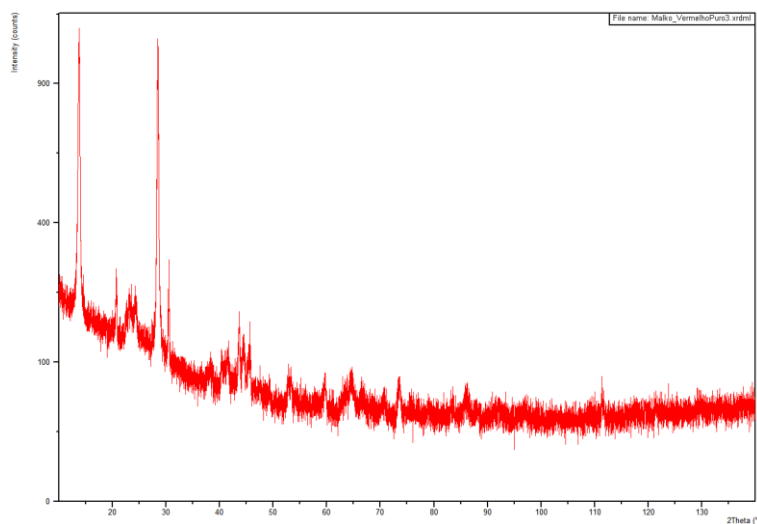


Figura 4-30 - Resultado de difração de raios-x do solo vermelho no estado puro

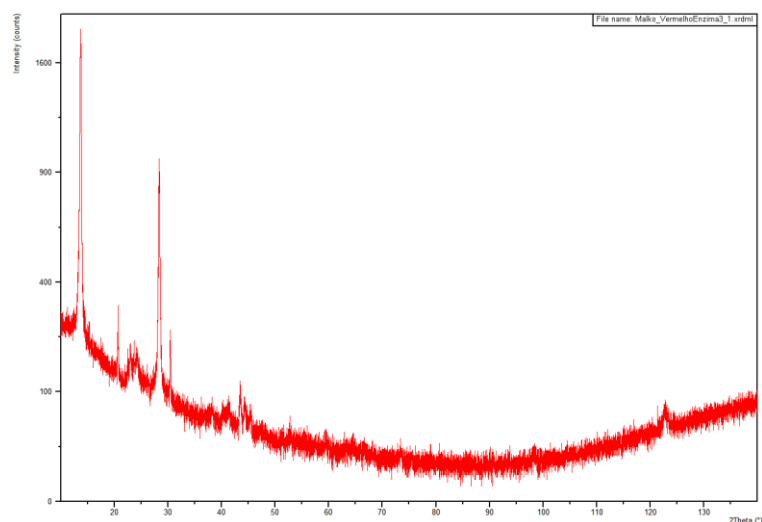


Figura 4-31 - Resultado de difração de raios-x do solo vermelho tratado com enzima PZ

Já no solo vermelho, os picos apresentados no solo puro se repetiram no solo tratado, levando a concluir que não houveram mudanças significativas na estrutura das amostras analisadas.