



Physical and Chemical Characterization of Soil of Igarapé São Raimundo Left Margin - Luiz Anthony - Manaus-AM

Bruna Barbosa Matuti¹, Abel de Oliveira Costa Filho¹, Ana Paula de Lima Mendes², Daniela Bittencourt³, Nilton Campelo⁴

^{1,2,3} Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

⁴ Professor Titular do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.

Email: bruhmatuti@outlook.com, abel_costajr@hotmail.com, mendes.anapaula7@gmail.com, daniela.bittencourt1@gmail.com, ncampelo@uol.com.br.

ABSTRACT

Received: October 21th, 2018

Accepted: November 14th, 2018

Published: December 31th, 2018

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM).

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International

License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



The tests carried out had the objective of the physical and chemical characterization of the soil in the left bank of the São Raimundo stream, and the new phase of the PROSAMIM Program will be implemented. Using the main tests for the classification, such as: Liquidity limit, Limit of plasticity, Limit of contraction, Specific mass of soil grains, Screening, Sedimentation, Compaction, among other tests. The sample was collected and taken to the Pavement Laboratory of the Civil Engineering Department of the Federal University of Amazonas, where it was studied for a careful classification applied in this study. The tests are carried out according to the specific standards of ABNT and with the equipment available at the educational institution, also according to the norms.

Keywords: clay, characterization, physics, chemistry, classification.

Caracterização Física e Química do Solo do Igarapé São Raimundo Margem Esquerda – Ligação Luiz Anthony – Manaus-AM

RESUMO

Os ensaios realizados tiveram como objetivo a caracterização física e química do solo na margem esquerda do igarapé São Raimundo, estará sendo implantada a nova fase do Programa PROSAMIM. Utilizando os principais ensaios para a classificação, tais como: Limite de liquidez, Limite de plasticidade, Limite de Contração, Massa Específica dos grãos do solo, Peneiramento, Sedimentação, Compactação, entre outros ensaios. A amostra foi coletada e levada ao Laboratório de Pavimentação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, onde foi estudada para uma cuidadosa classificação, aplicada neste estudo. Os ensaios são realizados de acordo com as normas específicas da ABNT e com os equipamentos disponíveis na instituição de ensino, também de acordo com as normas.

Palavras-Chave: argila, caracterização, física, química, classificação.

I INTRODUÇÃO

O solo argiloso possui pelo menos 30% de argila na sua composição de partículas. Esse tipo de solo possui grãos muito pequenos, como os espaços entre os grãos, o solo argiloso costuma ficar encharcado após uma chuva, o que melhora o seu manuseio [1]. Quando está seco e compacto, sua porosidade diminui ainda mais, tornando-o duro e ainda menos arejado. Possui consistência fina e é impermeável a água e a todos os outros líquidos. É muito utilizado como matéria-prima para fabricação de utensílios, cerâmicas, objetos de arte e adornos,

assim como para construção por meio de telhas, tijolos cerâmicos, adobes, parede de pau a pique, taipa de pilão. As características do solo argiloso são, grãos pequenos e compactos; impermeável a líquidos; grande retenção de água; alta impermeabilidade; grande concentração de nutrientes; pouca acidez; propício para o cultivo e atividade agrícola; mais resistentes à erosão [1].

O termo caracterização é utilizado em Geotécnica para identificar um grupo de ensaios que visam obter algumas características básicas dos solos com o objetivo de avaliar a sua aplicabilidade nas obras de terra. São muito utilizados no início

dos estudos, como por exemplo em campanhas de campo para pesquisa de potenciais jazidas de argila, cascalho ou areia [2].

Este trabalho teve como objetivo obter, estudar e avaliar as propriedades física e química do solo na margem esquerda do Igarapé São Raimundo, estará sendo implantada a nova fase do Programa PROSAMIM.

II MATERIAL E MÉTODO

Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Pavimentação do Departamento de Engenharia Civil, Laboratório da Geoquímica e no Laboratório de Ensaio Físico-Químicos da Universidade Federal do Amazonas, no Laboratório do INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizado em Manaus – AM, no Laboratório de Síntese e Caracterização de Nanomateriais (LSCN) do Instituto Federal do Amazonas – IFAM, foi analisado um tipo de solo argiloso, proveniente da cidade de Manaus, AM, na Av. Álvaro Maia tem fim na ligação com a Av. Luiz Antony, na estaca de número 31+5 na cota 23, às margens do Igarapé do São Raimundo, onde se encontra o canteiro de obras do Programa Social e Ambiental dos Igarapés de Manaus (Prosamin).

II.1. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O destorroamento do material referente foi feito com auxílio da peneira de 10 mm, e macerado por força humana com auxílio de um almofariz de porcelana, em uma cápsula de porcelana, de modo que todos os torrões tivessem suas partículas devidamente separadas, após foi separado 2kg da amostra para início dos ensaios. A amostra foi peneirada na peneira de 2mm de acordo com a NBR 6457, assim foi separado 100g para determinação do solo úmido e mais 100g de amostra para estufa a 105°C /110°C por 24 horas. A determinação da umidade higroscópica (h) foi realizada de acordo com a NBR 6457 [3].

A sedimentação do material, primeiramente foi passado na peneira de 2,0mm, separando em 03 beckers com 90g de amostra considerando a amostra siltosa e argilosa, para sedimentação e peneiramento fino. As amostras foram transferidas para os respectivos beckers de 250mL, com auxílio de uma proveta de 125mL, foram solubilizadas em 125mL de solução de hexametáfosfato de sódio, as soluções foram homogêneas, deixando em repouso por 24hrs [4].

Após esse procedimento as misturas foram transferidas e lavadas com água destilada para um copo dispersor com auxílio de um aparelho dispersor durante 15 minutos. Em seguida as amostras foram transferidas a uma proveta de 1000L, e completadas com água destilada, começando assim o processo de provocação da suspensão das partículas, utilizando o densímetro e o termômetro foi efetuado as leituras correspondentes aos tempos de sedimentação (t) de 0,5, 1 e 2 minutos, e leituras nos tempos de 4,8,15, e 30 minutos, 1,2,4,8, e 24 horas a contar o início da sedimentação. Após a última leitura, o material foi despejado na peneira de 0,075 mm, sob lavagem em água corrente a baixa pressão [5].

O peneiramento fino do material, foi retido na peneira de 0,075 mm em estufa, a temperatura 105° C a 110°C, por 24 horas, em seguida passado nas peneiras de 1,2; 0,6;0,42;0,25;0,15;0,075mm. O peneiramento grosso do material, foi retido na peneira de 2,0 mm, e passado nas peneiras de 50,38,25,19,9,5 e 4,8 mm [5].

Para a análise de sedimentação sem defloculante, foi feita a substituição da solução de hexametáfosfato de sódio, por água destilada.

II.2. LIMITE DE LIQUIDEZ

É o teor de umidade do solo com que se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normalizado (Aparelho de Casagrande), sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base desse aparelho [6].

O Limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido, expresso em porcentagem. O estado líquido é caracterizado pela ausência de resistência ao cisalhamento e o solo assume a aparência de um líquido. Quando o solo começa a perder umidade, passa a apresentar o comportamento plástico, ou seja, deforma-se com variação volumétrica (sem fissurar-se ao ser trabalhado). Ao perder mais água, o material torna-se quebradiço (semi-sólido), no estado sólido, não ocorrem mais variações volumétricas pela secagem do solo [7].

Na determinação do limite de liquidez, existem dois métodos para a obtenção do Limite de Liquidez, um deles confecciona-se um gráfico com os dados obtidos. No outro, o resultado é calculado através de fórmulas. O método descrito aqui trata da determinação com o auxílio do gráfico. O ensaio deve ser executado em condições ambientais que minimizem a perda de umidade do material por evaporação, preferencialmente em recintos climatizados [8].

Utilizou-se 100g do material, colocando uma parte da amostra no recipiente de porcelana e aos poucos se adiciona água até a homogeneização da massa, assim foi passado para a concha do aparelho de Casagrande certa quantidade dessa massa aplainando com a espátula, de tal forma que a parte central fique com 1 cm de espessura, assim após isso fazendo com o cinzel uma ranhura no meio da massa, no sentido do maior comprimento do aparelho, girando a manivela à razão de duas voltas por segundo, contando o número de golpes até que se constate o fechamento da ranhura num comprimento de 1,2cm quando se deve parar a operação, nesse momento foi feito na amostra 1 máxima de 35 golpes, na amostra 2 máxima de 30 golpes, na amostra 3 máxima de 25 golpes, na amostra 4 máxima de 20 golpes e na amostra 5 máxima de 15 golpes, retirando após esse procedimento uma pequena quantidade do material no local onde as bordas da ranhura se tocaram para a determinação da umidade [8].

II.3. LIMITE DE PLASTICIDADE

É definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro, rolando-se o solo com a palma da mão, expresso em porcentagem. O Limite de Plasticidade (LP) é um parâmetro necessário ao cálculo do Índice de Plasticidade dos solos [9].

Na determinação do limite de plasticidade, utilizou-se 50g do material, colocando a amostra na cápsula de porcelana, misturando com água destilada até obter-se uma massa plástica e uniforme, assim fazendo uma pequena bola, rolando sobre a placa de vidro esmerilhado, com pressão suficiente da mão para que a massa tome a forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro por 10 cm de comprimento, continuando a operação até que, por perda da umidade, o cilindro se fragmente ao atingir as medidas desejadas, assim que o cilindro se quebre foi transferido vários pedaços para um recipiente para a determinação da umidade em estufa por 24hrs [10].

II.4. COMPACTAÇÃO – COM E SEM REUSO

A compactação é um processo de alteração da estrutura do solo, que provoca a diminuição do seu volume, porém sem variar a quantidade de água ou conteúdo em massa. O resultado é o aumento do peso específico e resistência ao cisalhamento do solo, além da diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade. Na década de 1930, Ralph R. Proctor contribuiu para o desenvolvimento da técnica de compactação do solo, expondo a relação entre massa específica aparente seca, teor de água e energia de compactação [8]. No ensaio de compactação, para uma mesma energia de compactação, a densidade do solo depende de sua umidade no momento da compactação [11].

O ensaio de compactação foi realizado com e sem reutilização do solo com o intuito de obter a curva de compactação de acordo com as instruções da NBR 7182. Os equipamentos utilizados foram: almofariz e mão com borracha; peneira nº4 (4,8mm); balança; molde cilíndrico de 1000cm³, com base e colarinho; soquete cilíndrico; extrator de amostras; cápsulas para determinação de umidade; estufa; régua de aço biselada; soquete com dispositivo de controle de altura; extrator de corpo de prova; conchas metálicas; papel filtro com diâmetro do cilindro. Separou-se uma certa quantidade de material seco ao ar e fez-se o destorroamento até que não houvesse torrões maiores que 4,8mm, depois peneirou-se a amostra na peneira 4,8mm e em seguida determina-se sua umidade higroscópica. Posteriormente adicionou-se água à amostra até se verificar uma certa consistência, prezando sempre pela perfeita homogeneização da amostra. Em seguida compactou-se a amostra no molde cilíndrico em 3 camadas iguais (cada uma cobrindo aproximadamente um terço do molde), aplicando-se em cada uma delas 26 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, com o soquete. Na última camada, removeu-se o colarinho e a base, aplainou-se a superfície do material à altura do molde e pesou-se o conjunto cilindro mais solo úmido compactado. Depois retirou-se a amostra do molde com auxílio do extrator, e partindo-a ao meio, coletou-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade. Desmanchou-se o material compactado até que pudesse ser passado pela peneira 4,8mm, misturando-o em seguida ao restante da amostra inicial (para o caso de reuso do material). Adicionou-se água à amostra homogeneizando-a (normalmente acrescenta-se água numa quantidade da ordem de 2% da massa original de solo, em peso). Esse processo foi repetido pelo menos por mais quatro vezes para que se conseguisse a curva de compactação [12].

II.5. ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA – ISC/ EXPANSÃO

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR - California Bearing Ratio) possibilita conhecer a expansão do material constituinte de um pavimento submetido a um processo de saturação. Por meio dele é possível expressar as características de deformabilidade e de resistência do material submetido a carga estática, em condições saturadas. Esse ensaio permite avaliar o desempenho dos materiais para leito, subleito, sub-bases e bases de pavimentos. Segundo a NBR 11804, os valores exigidos, nesse ensaio, são de CBR maior ou igual a 60% e expansão menor ou igual a 0,5%, para bases de pavimentos ($N < 5 \times 10^6$), e CBR maior ou igual a 20% e expansão menor ou igual a 1%, para sub-bases [13].

O ensaio de suporte Califórnia CBR, California Bearing Ratio, é padronizado no Brasil pela norma ABNT 9895. O valor da resistência à penetração é computado em porcentagem, sendo que 100% é o valor correspondente à penetração em uma amostra

de brita graduada de elevada qualidade que foi adotada como padrão de referência.

Os equipamentos necessários para realização deste ensaio são: balanças; peneiras de 19 e 4,8; estufa; cápsulas metálicas para determinação de umidade; bandejas metálicas de 75 cm x 50 cm x 5 cm; régua biselada; espátulas de lâmina flexível; cilindro, o molde cilíndrico de bronze, latão ou ferro galvanizado, base perfurada, cilindro complementar de mesmo diâmetro (colarinho) e disco espaçador metálico; soquete, prato perfurado de bronze, latão ou ferro galvanizado, com 149 mm de diâmetro e 5 mm de espessura, com haste central ajustável, constituída de uma parte fixa rosqueada e de uma camisa rosqueada internamente, com a face superior plana para contato com o extensômetro; porta-extensômetro; disco anelar de aço para sobrecarga, dividido diametralmente em duas partes; extensômetro; prensa; extrator de corpo-de-prova; tanque ou recipiente com capacidade que permita a imersão total do corpo-de-prova; papel filtro circular; provetas de vidro; desempenadeira de madeira; conchas metálicas e base rígida [13].

Inicialmente são compactados cinco teores de umidade de uma amostra, segundo o método Proctor. Com esta finalidade, o molde grande de bronze ou material tratado (banho eletrolítico ou ferro galvanizado) é fixado na base perfurada, sendo colocado no fundo do molde um disco espaçador de 63,5 mm de altura, cuja função é de que o solo a ser compactado não ocupe totalmente o molde, promovendo um espaço para posterior colocação da sobrecarga a ser utilizada na determinação da expansão. Coloca-se o colarinho, papel filtro no fundo do molde sendo este apoiado sobre uma base rígida e o solo compactado em cinco camadas, com o soquete grande, sendo que o número de golpes depende da energia de compactação (normal – 12, intermediária – 26 e modificada – 55 golpes) [13].

É importante que sempre antes de lançar nova camada se faça a escarificação da camada compactada, de maneira a promover a aderência entre as mesmas. Após a compactação, retira-se o molde da base perfurada, inverte-o retirando o disco espaçador e pesa-o (molde mais o solo). Determinando-se o teor de umidade é possível obter-se a curva de penetração [13].

Para gerar a curva de expansão é preciso, após a compactação sobre o corpo de prova dentro do molde cilíndrico, no espaço deixado pelo disco espaçador, é colocado o prato com haste perfurada e sobre este o disco anelar de aço que é dividido em duas partes, sendo que cada parte da carga anular (5 lbs) corresponde a sobrecarga de aproximadamente 2,5 polegadas de pavimento. Sobre a haste do prato perfurado, é apoiada a haste do relógio comparador fixado no porta-extensômetro, anotando-se a leitura inicial. Em seguida, coloca-se o corpo de prova imerso por 4 dias, medindo-se a expansão, que é definida como a relação entre o aumento de altura do corpo de prova (expansão) e a sua altura inicial, expresso em porcentagem [13].

Para obter a medida da resistência à penetração é preciso retirar o corpo de prova da embebição e após o prato perfurado com a sobrecarga e deixa escorrer (drenar) por 15 minutos. Depois, recoloca-se a sobrecarga e leva-se o corpo de prova à prensa para ser rompido através da penetração do pistão a uma velocidade de 1,27 mm/min. São anotadas as leituras para as penetrações de 0,63; 1,27; 1,90; 2,54; 3,17; 3,81; 4,44; 5,08; 6,35; 7,62; 8,89; 10,16; 11,43 e 12,70 mm, sendo que esta última leitura corresponde ao tempo de 10 minutos. Em seguida, anota-se as leituras do relógio comparador acoplado ao mesmo, em mm, que medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas e multiplica-se este valor lido pela “constante do anel”, que é obtida quando da sua calibração (curva da carga aplicada ao anel versus a leitura do relógio comparador), obtém-se o valor da

carga, que dividida pela seção transversal do pistão resulta no valor da pressão aplicada. No caso de se utilizar de uma célula de carga, a leitura é direta. A velocidade de penetração do pistão é controlada com o auxílio de um cronômetro e do acompanhamento dos valores da penetração registrados no relógio comparador fixado no pistão e com a haste apoiada no molde, com estes valores traça-se a curva pressão versus penetração ou carga versus penetração [13].

II.6. COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE

O ensaio de permeabilidade visa determinar a constante de proporcionalidade relacionada com a facilidade pela qual o fluxo passa através de um meio poroso, seguindo as recomendações da NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável [14].

II.7. MINI MCT

Para o ensaio de Mini-MCV, inicialmente preparou-se a amostra, conforme as especificações da NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Após secar, destorroar e homogeneizar, o solo foi passado na peneira de 4,8 mm e posteriormente separado em 05 amostras para execução do ensaio. O ensaio seguiu as especificações da norma DNER-ME 258 [3].

II.8. MICROSCÓPICA ELETRÔNICA DE VARREDURA - MEV

Nesse experimento, foi utilizado o MEV para análise da composição e fraturas na amostra com alto grau de detalhamento, para assim podermos ver microscopicamente os efeitos sobre o material causados pela destorroamento e peneiramento.

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) examina a superfície do tecido, de modo que o feixe de elétrons não atravessa o espécime. Um feixe eletrônico estreito é dirigido sobre a superfície do espécime, 'varrendo-a' de um lado para outro regularmente. Quando o feixe atinge a superfície do espécime esta emite elétrons secundários. Os elétrons secundários são captados por detectores, os quais criam um sinal elétrico, que é projetado em uma tela de televisão. O feixe de varredura, atingindo a superfície, desloca-se em sincronia com o feixe que produz a imagem no monitor. Desse modo, uma imagem tridimensional da superfície do espécime pode ser construída no vídeo. Podem obter-se micrografias fotografando a imagem. O tecido é preparado para o MEV primeiro fixando-o e depois por desidratação cuidadosa. A superfície do espécime é então revertida com uma delgada camada de metal, como o ouro, ouro-pálido, ou carbono, para ajudar a dispersão de elétrons [15].

II.9. ESPECTROSCOPIA DE RAIOS X POR DISPERSÃO EM ENERGIA – EDX

Com a realização desta análise de EDX, objetivou-se com este trabalho caracterizar os elementos químicos e os teores de óxidos presentes na amostra de solo. Este ensaio foi realizado com o equipamento modelo Epsilon 3-X da marca Panalytical. As seguintes condições de operação do equipamento foram selecionadas: tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, sistema de gás hélio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²).

Na caracterização dos teores de elementos químicos do solo através do EDX, verificou-se a presença de 25 elementos, nos sistemas amostrados e em ambas as profundidades, sendo

este: silício (Si), alumínio (Al), ferro (Fe), titânio (Ti), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), zircônio (Zr), prata (Ag), vanádio (V), crômio (Cr), európio (Eu), gálio (Ga), manganês (Mn), estrôncio (Sr), zinco (Zn), nióbio (Nb), chumbo (Pb), ítrio (Y), itérbio (Yb), tório (Th), rubídio (Rb), arsênio (As), irídio (Ir) e rênio (Re) respectivamente, em ordem decrescente de quantidade (g kg⁻¹).

II.10. DIFRAÇÃO DE RAIOS X – DRX

Este ensaio foi realizado com o equipamento modelo D2 Phaser da marca Bruker (Figura XX), operando na geometria 2θ usando radiação Cu-Kα ($\lambda = 0,154056$ nm). Para realização do ensaio de DRX as amostras foram acondicionadas em um porta amostra de acrílico e submetidas à incidência de um feixe de raios-X. Após esse procedimento, os difratogramas experimentais gerados foram submetidos à identificação das fases cristalinas através de comparações com padrões difratométricos disponibilizados no banco de dados Inorganic Crystal Structure Database – ICSD. Cada padrão DRX foi refinado pelo X'Pert Highscore Plus, no intuito de refinar os parâmetros estruturais e obter informações sobre quantificações de fases, tamanho de cristalitos e parâmetros de rede.

II.11. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA) E ANÁLISE TÉRMICA DIFERENCIAL (DTA)

O ensaio termogravimétrico tem como finalidade medir a mudança da massa de uma substância em função da temperatura enquanto esta é submetida a uma programação controlada. Já o ensaio térmico diferencial consiste em medir a diferença de temperatura entre uma substância e um material de referência quando são submetidos a uma programação controlada de temperatura. Os ensaios foram realizados no equipamento SDT Q600.

II.12. CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA – CTC

No solo os cátions são formadores de cargas positivas, adsorvidos aos colóides e podem ser substituídos por outros cátions. Capacidade de Troca de Cátions (CTC) vem a ser o número total de cátions que o solo pode reter e que vai depender da quantidade de cargas negativas presentes. Quanto maior o número de cargas negativas num solo maior será a sua capacidade de troca de cátions ou de reter cátions.

A preparação da amostra e da solução de azul de metileno, consiste em pesar 1g de amostra e colocar no recipiente de alumínio é pesar, após isso amostra é colocada em estufa a 110°C durante a noite e ser pesado pela manhã e separar o azul de metileno para uso.

II.13. SUPERFÍCIE ESPECIFICA – SE

Os equipamentos usados nesse método são: estufa, balança analítica com leitura de 0,01g e 200g de capacidade, centrífuga, banho de ultrassons, copo de vidro de 150 ml, solução de azul de metileno, água destilada, solução de hexametáfosfato de sódio a 1%, solução saturada de cloreto de sódio, 1 pipeta de 10ml, 3 copos de vidro de 20ml e 3 tubos de ensaio.

O método para realizar o ensaio deve ser feito da seguinte maneira, para um copo de 150ml, adicionar a amostra da argila numa concentração de 3 partes em peso de 3g de argila para 100ml de água destilada, agitando fortemente a suspensão utilizando ultrassom durante 2 minutos e estabilizar] a

suspensão com solução de hexametáfosfato de sódio de 1%. Assim, foi agitado novamente a suspensão utilizando ultrassom durante 2 minutos, pipetar 5ml de cada vez para três tubos de ensaio para centrifugação e também para três copos de vidro de 20ml após de serem pesados. Após a secagem em estufa a 90°C as suspensões existentes nos três copos, foram calculadas as médias dos pesos sólidos respectivos, assim adicionando para cada tubo de ensaio, utilizando uma pipeta, 0,5ml de AM e agitando novamente no banho ultrassom durante alguns segundos, após esse processo as amostras foram centrifugadas durante 5 a 10 min até que os sólidos se assentem.

III. RESULTADOS

Os resultados do ensaio de granulometria, devido ao material não apresentar quantidade expressiva de partículas retidas na peneira N°10, o resultado do peneiramento grosso foi conforme apresentado neste trabalho. Os valores obtidos que constituem a caracterização física da amostra, conforme mostra na Tabela 1. A massa específica dos grãos do solo obtida foi 2,62 g por cm³, a umidade ótima obtida pelo ensaio foi 1,44%. Sugere-se de acordo com os resultados obtidos que a amostra apresenta características argilosas 42,67%, e composta por areias média 26,21%, é possível avaliar a composição de areia fina 17,96 %, silte 9,25 % e areia grossa 4,10, conforme Figura 1.

Tabela 1: Caracterização física da amostra com defloculante

Propriedades	Valores das Propriedades
Massa Específica dos Sólidos (g/cm ³)	Gs = 2,62
Granulometria	
Argila (< 0,002mm)	42,67
Silte (< 0,06-0,75mm)	9,25
Areia fina (< 0,075 0,42mm)	17,96
Areia média(<0,42-2,0mm)	26,21
Areia grossa<2,0mm)	4,10
Umidade	1,44

Fonte: Autores, (2018).

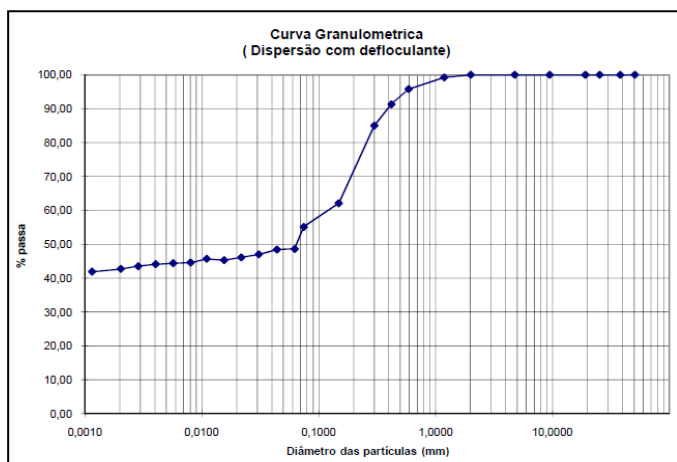


Figura 1: Curva Granulométrica.

Fonte: Autores, (2018).

A massa específica dos grãos do solo obtida foi 2,62 g por cm³, a umidade ótima obtida pelo ensaio foi 1,40%, conforme Tabela 2. Sugere-se de acordo com os resultados obtidos que a amostra apresenta características siltosa 46,61%, e composta por areias média 27,16%, é possível avaliar a composição de areia

fina 20,10%, areia grossa 3,80 % e argila 2,54. A curva granulométrica do solo é apresentada, conforme Figura 2.

Tabela 2: Caracterização Física da amostra sem defloculante

Propriedades	Valores das Propriedades
Massa Específica dos Sólidos (g/cm ³)	2,62
Granulometria	
Argila (< 0,002mm)	2,54
Silte (< 0,06-0,75mm)	46,61
Areia fina (< 0,075 0,42mm)	20,10
Areia média(<0,42-2,0mm)	27,16
Areia grossa<2,0mm)	3,80
Umidade	1,40

Fonte: Autores, (2018).

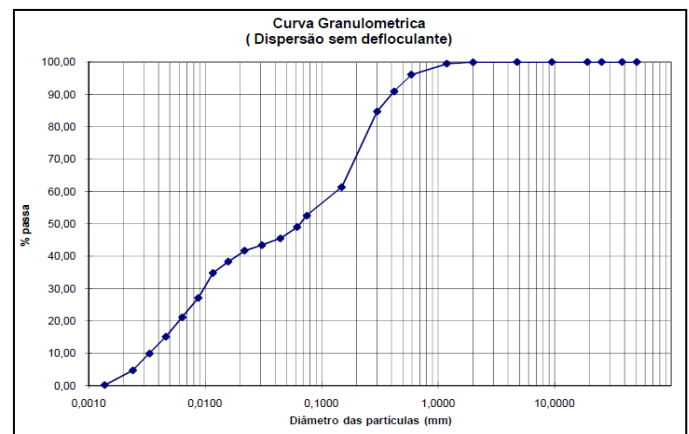


Figura 2: Curva Granulométrica.

Fonte: Autores, (2018).

Fazendo uma análise dos dois resultados, observa-se que o ensaio realizado com defloculante (hexametáfosfato de sódio) na etapa de sedimentação, o material sedimentou com uma velocidade mais lenta, se comparado com o ensaio sem defloculante. Isso se justifica pela ação do defloculante nas partículas do solo, que tem como efeito dispersar as partículas, fazendo com que ocorra a sedimentação mais lenta.

De acordo com o gráfico representado na Figura 3, o limite de liquidez do solo que delimita a fronteira entre o estado líquido e plástico em estudo é de 54,60%. Observando o resultado do limite de plasticidade, está delimitando o estado plástico do semi-sólido é de 31,47%, foi o momento em que o solo se desmanchou ao ser trabalhado, se tornando em estado semi-sólido, conforme Tabela 3. Assim, os resultados obtidos no ensaio de limite de contração da amostra 1 é de 20,98% e da amostra 2 22,19%, verificar os dados informados do ensaio.

Tabela 3: Índice de Plasticidade.

Índice de plasticidade		
Limite de Liquidez	%	54,60
Limite de plasticidade	%	31,43
Índice de plasticidade	%	23,17

Fonte: Autores, (2018).

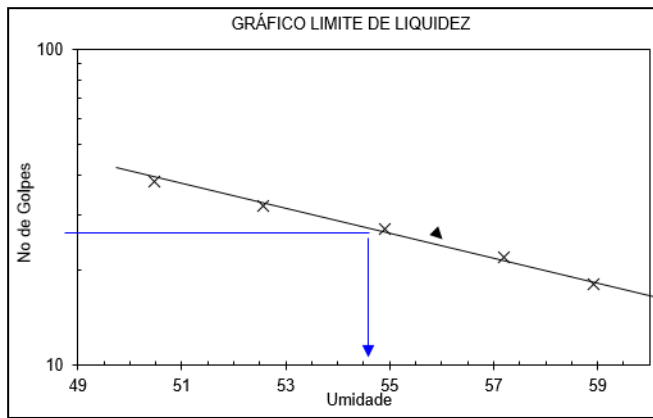


Figura 3: Gráfico do Limite de Liquidez.
Fonte: Autores, (2018).

Em posse de todos os dados, para gerar curva de compactação, primeiramente calculou-se a massa específica aparente seca conforme a NBR 7182, e depois fez-se a relação da mesma com teor de umidade. Para a compactação com reuso a massa específica seca foi de $1,75 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e a umidade ótima foi de 16,10%. Já para a compactação sem reuso a massa específica seca foi de $1,708 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ e a umidade ótima foi de 17,20%, conforme Figura 4.

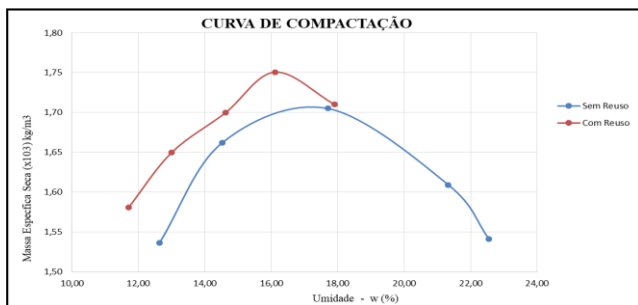


Figura 4: Curva de compactação com e sem reuso.
Fonte: Autores, (2018).

Os valores da densidade do solo em relação à umidade obtidos por meio do ensaio de Proctor normal com reuso do solo foram ajustados a uma equação do segundo grau, obtendo-se a curva de compactação e, a partir desta, determinaram-se a umidade crítica de compactação e a densidade do solo máxima correspondente.

A natureza do solo influencia em muitos casos significativamente na configuração da curva de compactação, de acordo com sua composição granulométrica, carbono orgânico e limite de umidade do solo [16]. Porém, é incerto o comportamento dessa curva quando se usa uma única amostra de solo (com reuso) para os intervalos de umidade considerados ou se usam amostras independentes com conservação dos agregados (sem reuso). Por isso, as curvas de compactação distintas de um mesmo solo podem caracterizar um problema, porque, hipoteticamente, se acredita que o procedimento de reuso superestima a densidade máxima de compactação do solo pela fragmentação dos agregados e reorganização das suas partículas. Conforme as curvas de compactação, verificou-se que a hipótese de que o procedimento com reuso de amostras caracteriza curvas distintas para o mesmo solo, é verdadeira pois, foram observados deslocamento ascendente das curvas e aumento da densidade máxima de compactação.

No entanto, mesmo tratando-se do mesmo solo, na compactação com reuso a umidade ótima foi menor em comparação com a compactação sem reuso. Ao analisar as curvas

de compactação sem reuso de amostras observa-se que, em comparação com as amostras com reuso e independentemente das camadas e do manejo, há um deslocamento descendente das curvas. Com base neste fato constata-se, nas curvas de compactação obtidas sem reuso de amostra, a ação do êmbolo do Proctor Normal o que não desfaz, provavelmente, todos os agregados do solo dificultando, então, a expulsão do ar e da água, sobretudo os intra-agregados, mesmo em condição de maior umidade no solo levando a um valor menor de D_{smax} .

Portanto, o procedimento de reuso aumenta a densidade máxima de compactação do solo pela fragmentação dos agregados e reorganização das suas partículas. Em condições naturais, a curva de compactação do solo é adequadamente caracterizada sem o reuso de amostras uma vez que, sob vegetação nativa e mesmo após uso antrópico, os agregados do solo não são totalmente fracionados. Com os resultados obtidos no ensaio de CBR, plotou-se um gráfico de relação entre a pressão e a penetração dos corpos de prova, compactados e saturados da amostra de solo. O corpo-de-prova foi moldado na umidade ótima de 17,2% encontrada através do ensaio de compactação sem reuso. Conforme os cálculos estabelecidos na NBR 9895, encontrou-se o ISC de 11,12% e a Expansão de 0,66%, conforme Figura 5.

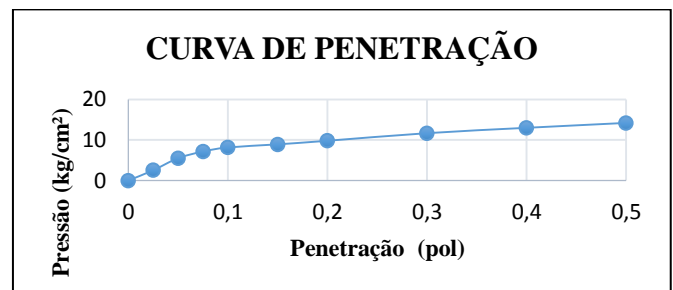


Figura 5: Curva de penetração.
Fonte: Autores, (2018).

O resultado obtido através da fórmula do coeficiente (K) de permeabilidade é de $K=5,34624 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$. Com base nisso, o solo em estudo pode ser classificado como Areia muito finas e siltes, mistura de ambos e argila. O ensaio de compactação Mini-MCV indica o abatimento dos corpos de prova para cada umidade relacionado com determinado número de golpes. Este ensaio é bastante utilizado para classificar os solos quanto ao método MCV. Para isso, alguns coeficientes são determinados. Para o solo em estudo, o coeficiente c' encontrado está representado na figura 1, tendo como resultado 1,82. Quanto ao coeficiente e' o valor encontrado é de 1,30, conforme Figura 7.

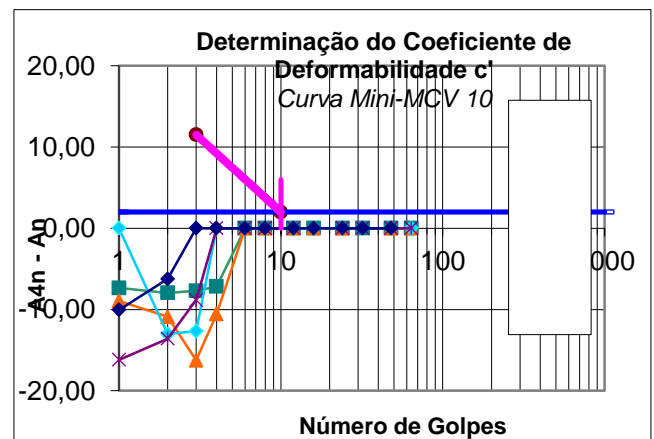


Figura 7: Coeficiente c' .
Fonte: Autores, (2018).

Diante dos valores encontrados e segundo a classificação MCT, o solo pode ser classificado como NG' – Não Laterítico Argiloso. A aplicação da microscopia eletrônica de varredura para a caracterização de materiais metálicos e semicondutores está cada vez mais generalizada na indústria e nos centros de pesquisa.

Novas técnicas para a preparação de amostras, novos programas para o processamento das imagens, sistemas mais robustos para o gerenciamento de operação e detectores com maior resolução são ferramentas que se apresentam para facilitar o trabalho dos pesquisadores na busca de novos e melhores materiais, conforme Figuras 8, 9 e 10.

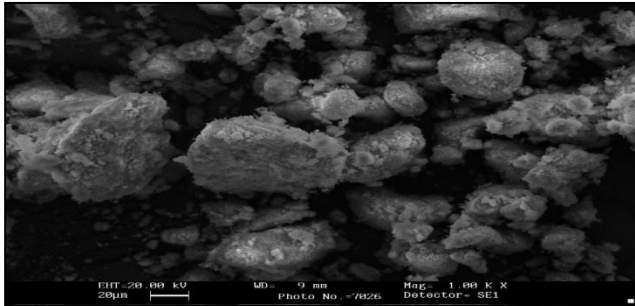


Figura 8: Visualização MEV, ampliação 100X.
Fonte: Autores, (2018).

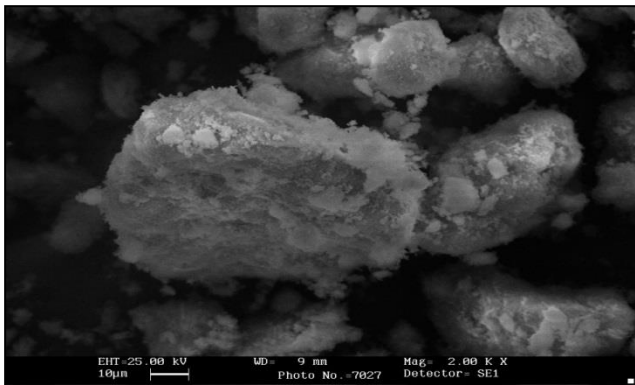


Figura 9: Visualização MEV, ampliação 200X.
Fonte: Autores, (2018).

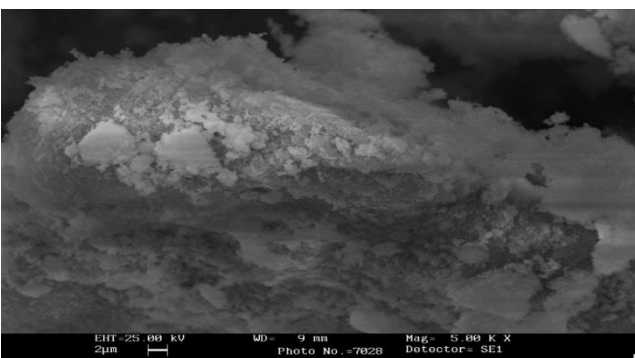


Figura 10: Visualização MEV, ampliação 500X.
Fonte: Autores, (2018).

Os resultados das análises TGA e DTA, a amostra foi aferida a aproximadamente 10mg, a taxa de aquecimento foi de 10 °C/min até a temperatura final de 1000 °C, com fluxo de gás N 5.0 de 30 ml/min. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa. A Análise Térmica Diferencial e a Análise Termogravimétrica da amostra de solo podem ser observadas na figura 11.

No diagrama de DTA, o primeiro evento, em torno de 250°C, refere-se à variação da capacidade calorífica. A reação exotérmica está bem acentuada a 500°C e também apresenta uma reação a 50°C. Através da Análise Termo Gravimétrica verifica-se a perda de um pouco mais de 5% em peso da amostra de solo durante o aquecimento, de acordo com a Figura 11.

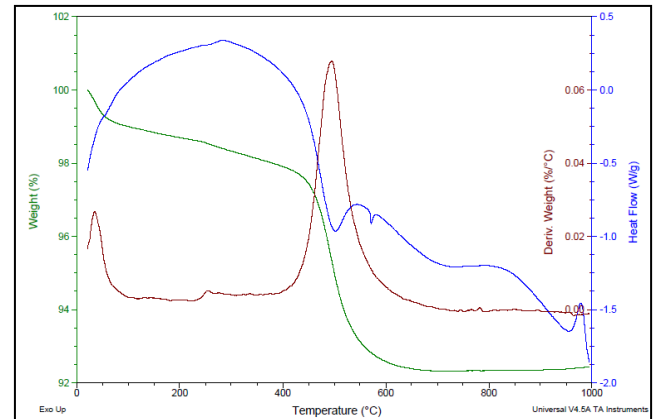


Figura 11: Análise Termogravimétrica e Térmica Diferencial.
Fonte: Autores, (2018).

O resultado do ensaio de CTC, o cálculo da porcentagem do peço seco da amostra de argila foi de 99,08%, onde sua concentração da solução de AM é de 0,1003. O valor de CTC em meq/100g é de 0,809. Quanto maior a CTC, maior a capacidade de armazenamento de cátions, porém a CTC baixa é para solos arenosos e a alta é para solos argilosos. O resultado da SE é de 135, 50. Os resultados obtidos pela espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva, EDXRF, podem ser utilizados para avaliação das modificações existentes nos teores de elementos químicos presentes no solo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Dentre os metais avaliados, o Si, o Al e o Fe, apresentaram as maiores concentrações no solo, indicando a presença de minerais ricos neste elemento na constituição do material de origem do solo.

De acordo com a Figura 12, os principais elementos químicos encontrados na Espectrometria de Fluorescência de Raios-X Por Energia Dispersiva (EDXRF), constatou-se que os principais elementos presentes na figura acima, foram o dióxido de titânio ou anatase (TiO₂), o dióxido de silício (SiO₂) conhecido vulgarmente como quartzo e o hidróxido de silicato de alumínio (Al₂Si₂O₅(OH)₄) conhecido como caulim, sendo estes elementos muito característicos dos solos da bacia amazônica.

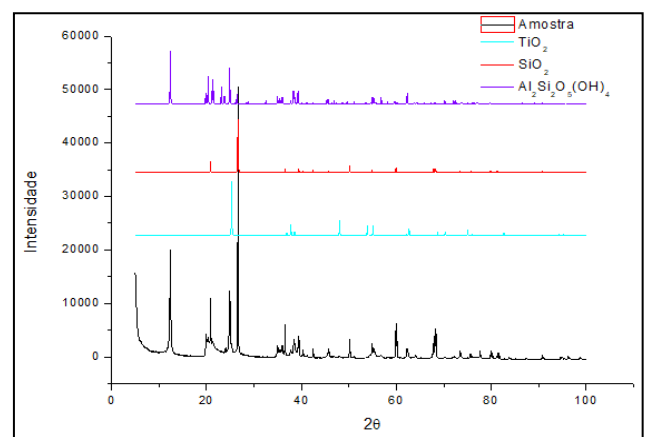


Figura 12: Principais elementos presentes na amostra.
Fonte: Autores, (2018).

IV CONCLUSÃO

Por meio desta pesquisa detalhada, sobre classificação do solo tendo como base os resultados obtidos, conclui-se que este solo estudado apresenta um elevado percentual de argila em comparação areia média e fina. Através dos limites de Atterberg do solo, foi possível delimitar os diversos estados de consistência dos solos, comprovando por meio do valor do limite de liquidez que a amostra estudada possui um alto índice de argila, confirmando os resultados do ensaio de granulometria. No ensaio de compactação do solo, os resultados obtidos para o procedimento com reuso, a densidade máxima de compactação aumentou em relação ao procedimento sem reuso, porém, é aconselhável utilizar os valores do procedimento sem reuso, pois, aproxima mais das condições encontradas na natureza. Os resultados obtidos pelo EDX, os principais elementos químicos que contem na amostra é o silício, alumínio, ferro e titânio, através disse foi concluído no ensaio de DRX que os principais óxidos presentes na amostra foram dióxido de titânio, quartzo e caulim, sendo esses elementos muito característicos da região da bacia amazônica. Através da análise de TGA e DTA, verificou-se que a amostra apresentou perda de 5% de peso durante o aquecimento. Em relação a CTC, quanto maior a CTC, maior a capacidade de armazenamento de cátions, porém a CTC baixa é para solos arenosos e a alta é para solos argilosos.

V REFERÊNCIAS

- [1] TODA MATERIA. **Solo Argiloso**. 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/solo-argiloso/>>. Acesso: 23/11/2018.
- [2] Maia, V. **Manual de Engenharia Civil para Concursos**. Acesso em: 10 de outubro de 2018. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/47404304/concurso-engenharia-civil>>.
- [3] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457. **Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.
- [4] NP EN 933-1:2000 – **Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica – Método de peneiração**. 2000.
- [5] NP EN 933-2:1999 – **Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 2: Determinação da distribuição granulométrica – Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas**. 1999.
- [6] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459. **Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro, 2016.
- [7] Crispim, F. A.; Lima, D. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Silva, C. H. C.; Carvalho, C. A. B.; Barbosa, P. S. A.; Brandão, E. H. **The Influence of Laboratory Compaction Methods on Soil Structure: Mechanical and Micromorphological Analyses**. Artigo Científico. Soils and Rocks Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.
- [8] DNER – ME 122/94 – **Solos – Determinação do Limite de Liquidez – método de referência e método expedito**. 1994.
- [9] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180. **Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.
- [10] DNER – ME 082/94 – **Solos – Determinação do Limite de Plasticidade**. 1994.
- [11] Figueiredo, L. H. A; Dias Junior, M. S.; Ferreira, M. M. **Umidade Crítica De Compactação e Densidade do Solo Máxima em Resposta a Sistemas de Manejo num Latossolo Roxo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2000, vol.24, n.3, pp.487-493.
- [12] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182. **Solo - Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2016.
- [13] ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11804. **Materiais para sub-base ou base de pavimentos estabilizados granulometricamente - Especificação**. Rio de Janeiro, 1991.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável**. NBR 14545. Rio de Janeiro: 2000.
- [15] PORTAL EDUCAÇÃO. **Microscópio eletrônico de varredura**. 2018. Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/biologia/microscopio-eletronico-de-varredura/31077>>. Acesso: 23/11/2018.
- [16] Ramos, F. T. Ramos, D. T.; Maia, J. C. S.; Serafim, M. E.; Azevedo, E. C.; Roque, M. W. **Curvas de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo: Com e sem reuso de amostras**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.17, n.2, p.129–136. Campina Grande, 2013.