



PUC GOIÁS

Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Escola Politécnica

Curso de Engenharia Civil

ENG1092 – Trabalho Final de Curso II

Turma A24

ARTHUR NATHANAEL MONTEIRO DA SILVA MENDONÇA

Monografia:

**AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA EM DIFERENTES
MEIOS AQUOSOS**

Goiânia,

2022-1

ARTHUR NATHANAEL MONTEIRO DA SILVA MENDONÇA

**AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA EM DIFERENTES
MEIOS AQUOSOS**

Monografia apresentada à banca examinadora, como parte dos requisitos para avaliação na disciplina ENG1092 – Trabalho Final de Curso II.
Orientador: Prof. EDSON NISHI.

Goiânia,

2022-1

RESUMO

A importância dos ensaios laboratoriais na engenharia civil nos dias atuais, são praticamente impossíveis a não realização dos mesmos. Diante disto um dos principais fatores decisivos para tomar qualquer decisão sendo ela positiva ou negativa, são os resultados dos ensaios laboratoriais, tendo isto em mente, o fator crucial para liberar um resultado é o tempo da sua execução, visando diminuir o tempo de execução do ensaio de SEDIMENTAÇÃO, com o uso de meios diferente aquosos na sua preparação, e comparativo do tempo de imersão na sua preparação, adiantando o tempo de repouso em cada uma das soluções e chegando ao início imediato do uso das soluções nas amostras, sendo assim adiantando a execução dos ensaios e liberação mais rápida dos resultados e ao cliente para sua tomada de decisão.

Palavra- Chave: Construção Civil, Granulometria, Sedimentação.

ABSTRACT

The importance of laboratory tests in civil engineering nowadays is practically impossible not to carry them out. Given this, one of the main decisive factors to make any decision, whether positive or negative, are the results of laboratory tests, keeping this in mind, the crucial factor to release a result is the time of its execution, aiming to reduce the execution time of the SEDIMENTATION test, with the use of different aqueous media in its preparation, and comparison of the immersion time in its preparation, advancing the resting time in each of the solutions and reaching the immediate beginning of the use of the solutions in the samples, thus advancing the execution of the tests and faster release of the results and to the customer for his decision making.

Keywords: Civil Construction, Granulometry, Sedimentation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
1.1	OBJETIVOS.....	7
1.1.1	GERAL.....	7
1.1.2	ESPECÍFICOS.....	7
1.2	JUSTIFICATIVA.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO.....	8
2.2	ENSAIOS DE LABORATÓRIOS.....	8
2.2.1	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	8
2.2.1.1	SECAGEM DA AMOSTRA.....	8
2.2.1.2	DESTORROAMENTO.....	9
2.2.1.3	PENEIRAMENTO DA AMOSTRA.....	9
2.2.2	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	10
2.2.3	EXECUÇÃO DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO.....	12
2.2.4	SOLUÇÃO DEFLOCULANTE.....	13
3	METODOLOGIA.....	14
4	CRONOGRAMA.....	15
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos encontrados, ao longo do curso.

À minha esposa, Rebeca de Assis Mendonça Silva, que me incentivou nos momentos difíceis, compreendeu a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho e nunca largou a minha mão.

Aos meus avós, Maria Alice, Valdeci Marins e Maria das Graças, que sempre me apoiaram, que me deram todos os ensinamentos para nunca abaixar a cabeça.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho, no meu processo de formação profissional, e, por fim, mas não menos importante, à LTEC e CONTECH, que permitiram fazer os experimentos, podendo concluí-los com êxito.

1 INTRODUÇÃO

A análise granulométrica é um ensaio realizado para medir a distribuição, por tamanho, das partículas (grãos e lamelas) individuais do solo. Essas partículas individuais são fragmentos decompostos de rocha alterada, ou parcialmente alterada, (podendo conter mais de um mineral). Desta forma, a análise granulométrica tem por objetivo determinar a porcentagem dos diâmetros equivalentes das partículas que compõem o solo.

Esse tipo de ensaio de laboratório é bem requisitado na Engenharia Civil, para analisar as características do solo sobre o qual será apoiada uma estrutura. Sendo assim, o tipo de composição mineral do solo, a forma e o tamanho das suas partículas podem influenciar nos parâmetros físicos do ensaio, tais como: permeabilidade, compressibilidade e resistência do material.

Nesse sentido, nos solos, existem partículas de diversos tamanhos, sendo elas agrupadas em duas classes diferentes, conforme os limites de dimensões pré-estabelecidos. A primeira delas, é constituída por solos grossos, os quando suas partículas possuem dimensões maiores que 0,074 mm, não formando assim torrões e estando submetidas à ação gravitacional, com maior intensidade. Enquanto isso, os chamados de solos finos possuem partículas com tamanho inferior a 0,074 mm, facilitando o agrupamento em partículas maiores (torrões), pela ação de tensões de sucção.

A norma ABNT NBR 7181 (2016) regulamenta o ensaio de granulometria no Brasil, e, segundo Capelli(2016, p.2), *“nessa norma são estabelecidas duas etapas, sendo a primeira composta por peneiramento da amostra e a segunda por um ensaio de sedimentação da parcela de finos (sólidos menores do que #200, ou 0,075 mm)”*.

Desta maneira, os procedimentos adequados para a execução desse ensaio devem seguir os itens normativos específicos para as condições do solo em análise. Detalhes do ensaio são apresentados no Capítulo 4.2.

No entanto, conforme Capelli (2016), essa norma apresenta certas limitações, no que diz respeito aos processos desses ensaios, sobretudo no que envolve a existência de torrões provenientes do agrupamento de pequenas partículas e a consideração da superfície esférica (Lei de Stokes) dos fragmentos constituintes da amostra. Com isso, o ensaio de granulometria pode gerar resultados que não representam, com veracidade, as características reais dos grãos de solo. Para minimizar esses problemas, são utilizados defloculantes, tais como o HMFS (hexametáfosfato de sódio) e o HS (hidróxido de sódio), que propiciam o aumento da densidade catiônica das partículas de solo.

CHU e DAVIS (1995) ainda relatam a variação da dispersibilidade do solo, em função do tipo e da concentração de defloculante utilizado, bem como, no tempo de preparo da solução. WINTERMYER e KINTER (1995) também pontuam que os defloculantes geralmente utilizados em solos orgânicos poderiam ter efetividade similar aos utilizados em solos inorgânicos. Entretanto, alguns defloculantes, tais como o MSS (metasilicato de sódio) podem ser ineficazes, para serem utilizados como dispersantes.

Finalmente, estes autores concluem que os principais fatores associados à efetividade do grau de dispersibilidade dos solos estão associados a: concentração (CD) e o tempo de preparo da mistura (TPM). Diante disso, este trabalho verificará a influência destes fatores no grau de dispersibilidade, considerando dois tipos de defloculantes largamente utilizados em solos orgânicos e inorgânicos.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

- Avaliar o tempo efetivo de atuação de dois tipos de defloculante, em um solo tropical típico argiloso da região de Anápolis-GO.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as diferenças da curva granulométrica, quando um solo está em meios aquosos diferentes, dentre eles são: 1. Água comum (AC); 2. Água com HMFS - (Hexametáfosfato de Sódio) (AHMFS) e 3. Água com HS - (Hidróxido de Sódio) (AHS);
- Avaliar a influência que o tempo causa, quando o material fica imerso no defloculante em 24 h, 48 h e quando apenas é imerso no defloculante e já começa imediatamente o experimento.
- Avaliar, após a realização dos ensaios, a influência nas partículas menores que 0,074mm dos 3 tipos de meios aquosos.

3. JUSTIFICATIVA

Geralmente, são utilizados dois tipos de defloculantes, na prática da Engenharia: o HMFS (hexametáfosfato de sódio), para solos inorgânicos, e o HS (hidróxido de sódio), para solos orgânicos. O tempo de atuação efetivo, para que ocorra a dispersão residual (onde não há mais efetividade do defloculante) é um dos fatores pouco analisados, atualmente. É imperativo que se estude esta variável, que depende do tipo de defloculante, da sua concentração e do tempo de preparo. Este trabalho procurou contribuir para o avanço do conhecimento, nesta área.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na geotecnia para caracterizar e classificar um solo é recomendado uma série de ensaios necessários para essa avaliação. Nessa revisão bibliográfica será tratada a importante curva granulométrica na classificação dos solos e os aspectos relacionados. Bem como será apresentado sua forma de obtenção.

4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO

Para o melhor entendimento do solo, por meio da sua descrição, caracterização e classificação, é necessário avaliar o seu comportamento quando submetido a diferentes condições e cargas, permitindo assim garantir a segurança na execução de obras e, conseqüentemente, no uso das edificações pelos usuários. Assim sendo, a primeira etapa de análise compreende a identificação das características perceptíveis pelos olhos e tato, tais como: textura e cor.

Após esse reconhecimento, inicia-se os procedimentos laboratoriais que permitem a determinação das propriedades físicas do solo, compreendendo assim a fase de caracterização dos solos. Sendo que os ensaios mais utilizados nessa etapa são a granulometria, a sedimentação com defloculante e sem defloculante, limites de Atterberg e massa específica dos grãos. Sendo válido ressaltar que para solos que tem partículas tanto na fração grossa (areia e pedregulho) quanto na fração fina (silte e argila) se torna necessária a análise granulométrica completa (peneiramento e sedimentação).

Com isso, é realizado a coleta de dados que quando processados e representados por informações numéricas e gráficas servem, por meio de métodos presentes na literatura, para classificar o solo. E assim permitindo identificar as suas formas de atuação diante de diferentes condições de exposição, como alteração na aplicação de forças e na umidade.

4.2. ENSAIOS DE LABORATÓRIO

- **PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS**

No Brasil, o processo de preparação de amostras para ensaio de caracterização dos solos é feito pela ABNT NBR 6457:2016 e pelo DNER – ME 041/94. Nesses textos, são estabelecidos os critérios e os procedimentos de análise, para se determinar a quantidade de cada tipo de solo presente em uma amostra e, conseqüentemente, identificar seu comportamento. Além disso, possibilita determinar os limites de liquidez e de plasticidade e a umidade do solo.

O processo de preparação para análise granulométrica é realizado em cinco etapas, sendo elas:

- **SECAGEM DAS AMOSTRAS**

Após o recebimento do material, ele é depositado em um recipiente adequado e é levado para um ambiente onde pode ficar exposto ao ar livre e à temperatura ambiente. Permite-se, assim, que seja retirada a maior parte da umidade natural contida na amostra, conforme mostra a figura 1:

Figura 1- Secagem da amostra



Fonte: LOCTEST Laboratório de Geotecnia (2018)

- **DESTORROAMENTO DO SOLO**

Com a amostra de solo seca, inicia-se o processo de destorroamento, que visa a desmanchar os torrões existentes. Para isso, deve-se colocar pequenas amostras no almofariz e utilizar a mão de geral, para tornar a amostra uniforme, procedimento realizado conforme figura 2:

Figura 2- Destorroamento do solo.



Fonte: RESEARCHGATE (2020)

- **PENEIRAMENTO DA AMOSTRA**

Por fim, na etapa do peneiramento, o solo é posicionado em uma peneira de 2,0 mm, que permite a separação, como pode ser vista na figura 3, de uma amostra mais grossa (porção retida) e uma mais fina (porção que passa), que serão analisadas de formas diferentes, no ensaio.

Figura 3- Peneiramento

Fonte: CONSTRUÇÃO CIVIL TEORIA E PRÁTICA (2015)

• DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

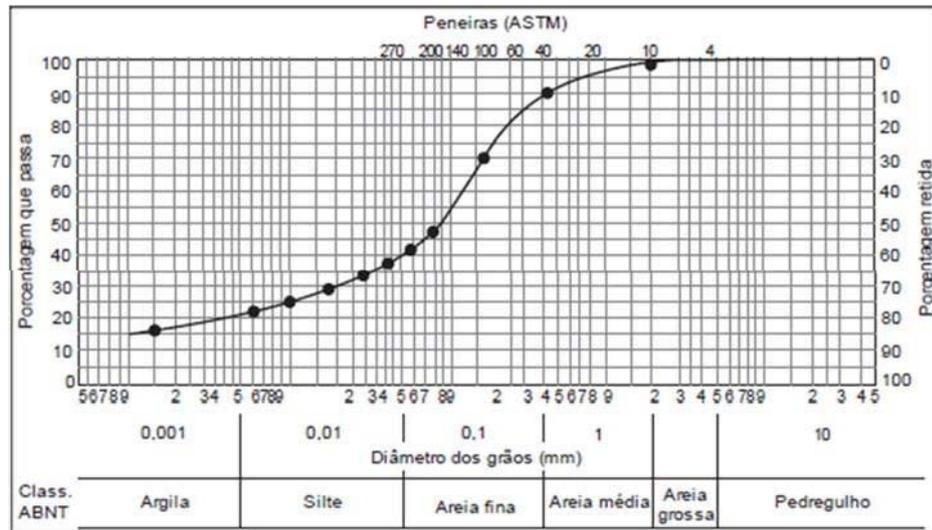
Ela consiste na separação de partículas de uma determinada massa de solo, em proporções variáveis. Deste modo, as partículas do solo podem ser separadas em dois grupos, grossas e finas. A proporção das partículas grossas é obtida através do peneiramento, que é feito para partículas com diâmetros maiores que 0,075 mm (FERNANDES, 2016). Por outro lado, para partículas finas, menores que 0,075 mm, utiliza-se o método da sedimentação.

É válido ressaltar que, na sedimentação, por se tratar de partículas finas, é importante que seja utilizado Hexametáfosfato como o agente defloculante. Por meio da sua ação, há a desagregação dos flocos que formam o solo, garantindo, assim, a determinação do diâmetro e da porcentagem de partículas isoladas (PINTO, 2006).

Através da distribuição granulométrica, os resultados obtidos são expressos, graficamente, através de uma curva que pode ser representada conforme a figura 4. No eixo das ordenadas, é representada a porcentagem em peso do material que passa na peneira correspondente e, no eixo das abcissas, é representado o diâmetro das partículas em milímetros, em escala logarítmica. (CAPUTO, 1988).

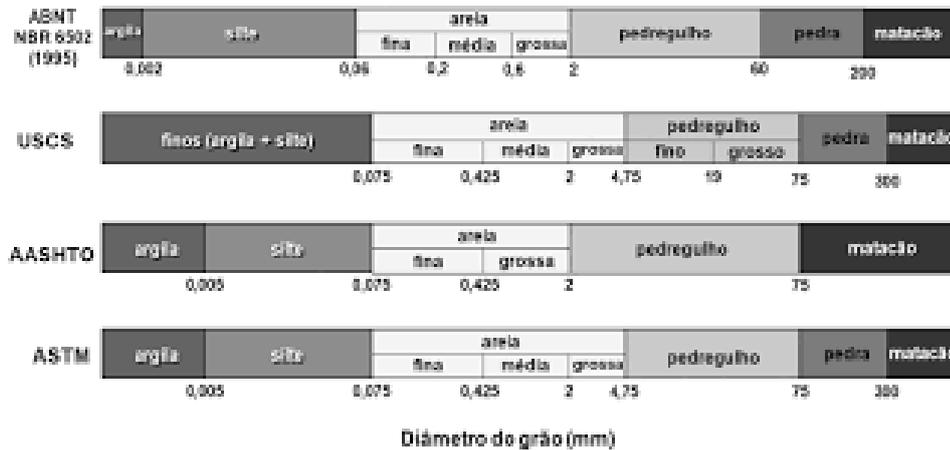
A distribuição granulométrica tem por objetivo dividir as partículas em frações de solo e determinar proporções relativas ao peso total da amostra. Fernandes (2016) ensina que as frações do solo podem ser divididas em pedras, matacões, pedregulho, areia, silte e argila. Na figura 5, pode-se observar essa divisão, conforme cada limite de tamanho das partículas.

Figura 4- Curva Granulométrica



Fonte: TRT ENGENHARIA (2013)

Figura 5- Diâmetro dos Grãos



Fonte: ABNT NBR 6502 (1995)

No ensaio de granulometria por peneiramento, por meio da curva granulométrica, é possível caracterizar os materiais granulares sem finos, através da determinação de algumas propriedades como o diâmetro efetivo (D10), coeficiente de curvatura (CC), coeficiente de não conformidade (CNU).

No ensaio de sedimentação, por sua vez, baseado na Lei de Stokes, essa Lei é aplicada considerando-se que os corpos esféricos sofrem atuação de forças de atrito, em decorrência do fluxo das partículas em um líquido. Essa lei afirma que a força de atrito é diretamente proporcional ao raio da esfera, à velocidade e à viscosidade do líquido.

Diante disso, a velocidade de queda das partículas em análise pode ser determinada pela equação 1, a seguir.

$$Y_s - Y_w = \frac{V}{18 * \mu} D^2 \tag{1}$$

Onde,

V: a velocidade de queda da partícula – cm/s;

γ_s : o peso específico real dos grãos – g/cm³;

γ_w : peso específico do fluido- g/cm³;

D: diâmetro da esfera equivalente (mm),

μ : viscosidade do fluido (água) g.s/cm².

• EXECUÇÃO DO ENSAIO DE SEDIMENTAÇÃO

Segundo a ABNT NBR 7181(2016), para se realizar o ensaio de sedimentação, deve-se seguir as seguintes etapas:

- Preparar as amostras, segundo os procedimentos descritos anteriormente;
- Separar uma amostra de 120g, quando o solo em análise for arenoso, e de 70g, quando o solo for argiloso ou siltoso;
- Reservar mais 100g da amostra preparada para determinação das umidades higroscópicas;
- Armazenar o solo em um Becker de 250ml, juntamente com 125 cm³ de Hexametáfosfato de sódio.
- Agitar a solução e deixar em repouso, por, no mínimo, 12 horas;
- Colocar todo o solo no copo de dispersão, adicionar água destilada e agitar por 15 minutos;
- Depositar o material dispersado em uma proveta de 1L e completar com água destilada, até a marca da referência;
- Misturar a solução para atingir a temperatura constante e garantir que as partículas sólidas fiquem em suspensão;
- Agitar a proveta por 1 minuto;
- Colocar a proveta em uma superfície limpa e plana e anotar o horário;
- Posicionar o densímetro na solução e fazer leituras após 30 segundos, 1, 2,4,8,15,30 minutos, 1,2,4,8,24 horas;
- Aferir a temperatura da solução, durante as leituras, e
- Colocar o material na peneira 0,075 mm, após a última leitura.

Com esses procedimentos realizados, deve-se analisar a amostra que ficou retida e a que passou nas peneiras, separadamente. Para isso, inicialmente, as porções de solo são levadas para o agitador mecânico, com uma sequência de peneiras específicas. Após a conclusão da agitação, é realizada a pesagem das quantidades de solo retidas, em cada peneira do equipamento.

Com isso finalizado, deve-se realizar os cálculos desse ensaio. Primeiramente, calcula-se o diâmetro máximo das partículas.

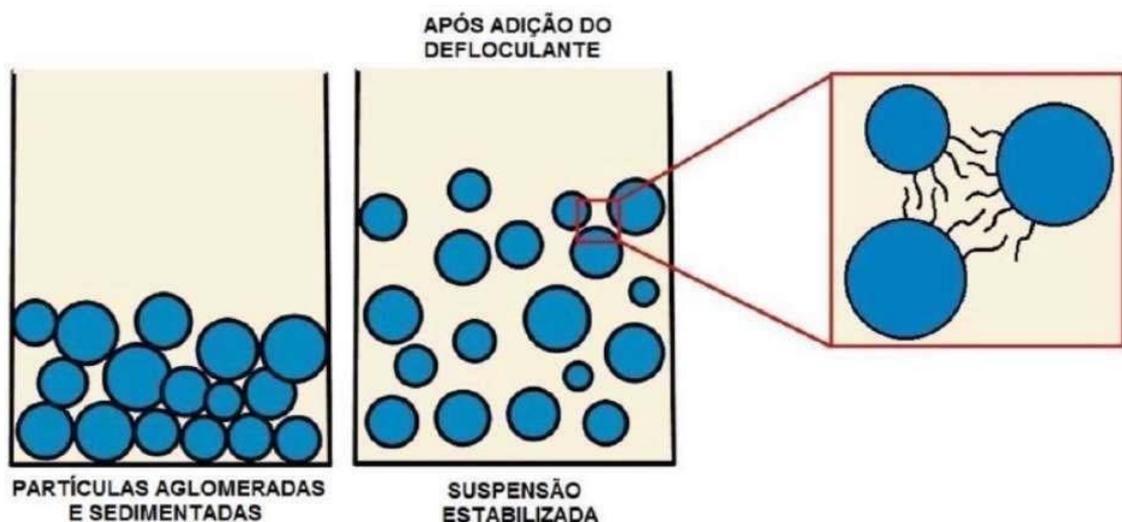
• SOLUÇÃO DEFLOCULANTE

Segundo Andriani (2009, p 7), a defloculação “é um processo de floculação pela adição de dispersantes químicos, que irão neutralizar as cargas insatisfeitas resultantes. A suspensão afina, apresentando conjuntos de partículas agregadas dispersas”. Desta forma, esse processo é utilizado para realizar a separação, por meio de uma substância química, de uma porção que em estado natural se encontra unida.

Nesse sentido, como já mencionado anteriormente, é bastante comum que as partículas de um solo formem torrões que precisam ser quebrados, para que seja possível analisar as características e o comportamentos do solo, em ensaios de laboratório. Desta forma, para esse processo de dispersão, são utilizados defloculantes para auxiliar nesses estudos, conforme mostra a figura 6 . Entre os mais aplicados, no ramo da Mecânica dos Solos, estão os ensinados por Camargo et al., (2009), “opta-se atualmente pela mistura de hidróxido de sódio e hexametáfosfato desódio”.

Segundo Brito (2018), a vantagem desses defloculantes é a capacidade de defloculação, seu baixo custo e disponibilidade. Segundo a mesma fonte, os defloculantes podem ser orgânicos e inorgânicos, os orgânicos podem ser eletrolíticos ou não-eletrolíticos, já os inorgânicos são de base eletrolítica, como exemplo o fosfato de sódio.

Figura 6- Representação esquemática da suspensão com e sem defloculante



Fonte: SILVA et al (2018)

A escolha do dispersante dependerá dos cátions presentes no complexo de troca e da relação entre cargas permanentes e cargas dependentes do pH, nos minerais da fração argila.

Em solos com elevados níveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} ou que apresentam dificuldade na estabilização da suspensão, o hexametáfosfato de sódio é o dispersante mais indicado. Esse sal fornece o Na^{+} necessário à dispersão e diminui a pressão osmótica da solução, por precipitação dos fosfatos ligados aos cátions alcalino terrosos (MAURI et al., 2011).

Segundo Delavi (2011), a viscosidade é uma propriedade do fluido que indica a facilidade que um fluido tem em escoar, sob a ação de uma tensão de cisalhamento externa. Com a adição do defloculante, há uma redução da viscosidade do meio, facilitando a decantação dos grãos. (SPRADA et al., 2019).

3. METODOLOGIA

O princípio metodológico deste trabalho consistiu no preparo de três meios aquosos:

1. Águacomum (AC);
2. Água com HMFS (Hexametáfosfato de Sódio) (AHMFS) e
3. Água com HS (Hidróxido de Sódio) (AHS);

Considerando a seguintes configurações:

1. Solução com água Comum: 70 g de solo e 125 ml de água
2. Solução com HMFS: 70g de solo e 125ml de HMFS diluído 91, g em 2L de água destilada, e acrescentar carbonato de sódio anidro, até atingir pH entre 8 e 9.
3. Solução com HS: 70g de solo e 125ml de HS diluído 0,1g em 2L de águadestilada.

Os ensaios foram realizados conforme a norma ABNT NBR 7181/2016 e as análises foram feitas somente com material retido na peneira #200, sendo que o tempo de atuação efetivo do defloculante foi avaliado, conforme prescrição normativa, considerando a constância da leitura do densímetro. Além disso, foi avaliado o grau de dispersibilidade, considerando como referência a leitura no meio aquoso, sem defloculante.

3.1 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

De início, foi extraído o material (solo), de um terreno localizado na Rodovia Transbrasiliana, em Anápolis - Goiás, conforme figura 7, com as coordenadas $16^{\circ}17'31.54''$ S $48^{\circ}55'48.50''$ O e elevação 1005m.

Figura 7 – Croqui do Local



Fonte: Autor (2022)

Logo após ter sido recolhido, esse material foi para o laboratório e separou-se 1,2 kg de amostra, conforme figura 8, para secar ao ar livre, conforme determina a NBR 6457:2016, dentro de uma bandeja, até próximo da umidade higroscópica.

Figura 8 - Amostra de solo



Fonte: Autor (2022)

Em seguida, conforme a NBR 6457:2016, conforme NBR 6457:2016 passou-se o solo na peneira #10 e no solo passante foi feito o destorroamento com a mão de grau, para, logo em seguida, serem separadas 12 amostras de 70 gramas de solo, para o ensaio de sedimentação, conforme figura 9.

Figura 9 - Amostras de 70 g



Fonte: Autor (2022)

Para a preparação do defloculante de HMFS (NaPO_3), segundo a NBR 7181:2016, foram diluídos 45,7 g de Hexametáfosfato de sódio, em 1 L de água destilada, mas, para facilitar o experimento, foram colocados no béquer, conforme figura 10, outros 91,4 g de HMFS, em 2 L de água destilada. Em seguida, o béquer foi colocado sobre o agitador magnético, conforme mostra a figura 10. Após a total dissolução, verificou-se o pH 6, aproximadamente, e, logo em seguida, foi acrescentado o carbonato de sódio anidro Na_2CO_3 , gradativamente, até atingir o pH 9, conforme a figura 11. Com o auxílio da proveta, foram retirados 125 ml dessa solução e adicionados em 70g de solo, conforme o

item 4.3.2 da NBR 7181:2016. Quanto ao tempo de imersão do defloculante, foram feitos com 24 h, 48 h e de imediato.

Figura 10 - Béquer 2L sobre agitador magnético



Fonte: Autor (2022)

Figura 11 - Indicador de Ph



Fonte: Autor (2022)

Para a preparação do defloculante de hidróxido de Sódio NaOH, foi considerado o Ph como base para comparação com o HMFS. O pH foi usado como referência porque o pH ácido dificulta a interação com a superfície da partícula, devido ao aumento na energia do sistema, impedindo uma defloculação eficiente. Já o pH básico favorece o processo de interação, pois reduz a energia do sistema, levando a uma defloculação eficiente.

Ao começar os experimentos, foi observado que, ao preparar a solução de HS com o HMFS, o pH é muito básico, pH 14. Para conseguir fazer a análise, foi-se reduzindo a quantidade que, no caso, era inicialmente de 91,4 g de defloculante, em 2 L de água destilada. Foi-se reduzindo de 10 em 10 gramas, até chegar em 0,1 gramas de HS que, em 2 litros chega-se a um pH de 9. Com o auxílio da proveta, foram retirados 125 ml dessa solução e adicionados em 70 g de solo. Quanto ao tempo de imersão do defloculante, foram feitos com 24 horas, 48 horas e de imediato.

Já à solução com água convencional, foram adicionados 125 ml de água da torneira, em 70 g de solo, com os mesmos tempos de imersões dos defloculantes.

Após o preparo das soluções, colocou-se cada solução, separadamente, em um agitador mecânico, conforme visto na figura 12, por 15 minutos, e, em seguida, agitou-se a proveta por 1 minuto. Imediatamente, após a agitação, foram feitas leituras no densímetro de 0,5 min, 1 min, 2 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 3h.

Figura 12 - Agitador mecânico



Fonte: Autor (2022)

A seguir, algumas fotos dos experimentos em questão. Primeiramente, retratando o experimento do HMFS, após o solo ter ficado em contato com defloculante 24 h, conforme figura 13.

Figura 13 -Solução com HMFS 24H



Fonte: Autor (2022)

Apresentação do experimento de HMFS: na esquerda, o solo foi colocado em contato com o defloculante e, logo em seguida, foi feito o experimento; já na proveta da direita, o solo ficou em contato com o defloculante 48 h, conforme figura 14.

Figura 14 - Solução HMFS imediato (esquerda) e 48 h (direita)



Fonte: Autor (2022)

A seguir imagem do HS que teve contato com o solo 24 h conforme figura 15.

Figura 15 - Solução HS 24H



Fonte: Autor (2022)

Abaixo está a solução HS, que teve contato com o solo 48 h, conforme figura 16.

Figura 16 - Solução HS 48 h



Fonte: Autor (2022)

Na figura 17, o HS foi adicionado ao solo e, em seguida, foi feito o experimento de imediato. Nessa etapa, já se observou que o HMFS, conforme mostra a figura 14, tem um tempo de reação muito mais eficiente do que o HS, quando utilizado de imediato.

Figura 17 - HS experimento imediato após adição do defloculante



Fonte: Autor (2022)

Nas figuras 18 e 19, consegue-se observar como a solução de água pura reage da mesma forma, tanto de imediato quanto em 48 h, pois, como não tem nenhum defloculante, formam-se torrões e os grãos decantam rapidamente.

Figura 18 - Solução H₂O preparo imediato



Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Proveta a esquerda solução de H₂O com preparo de 48 H

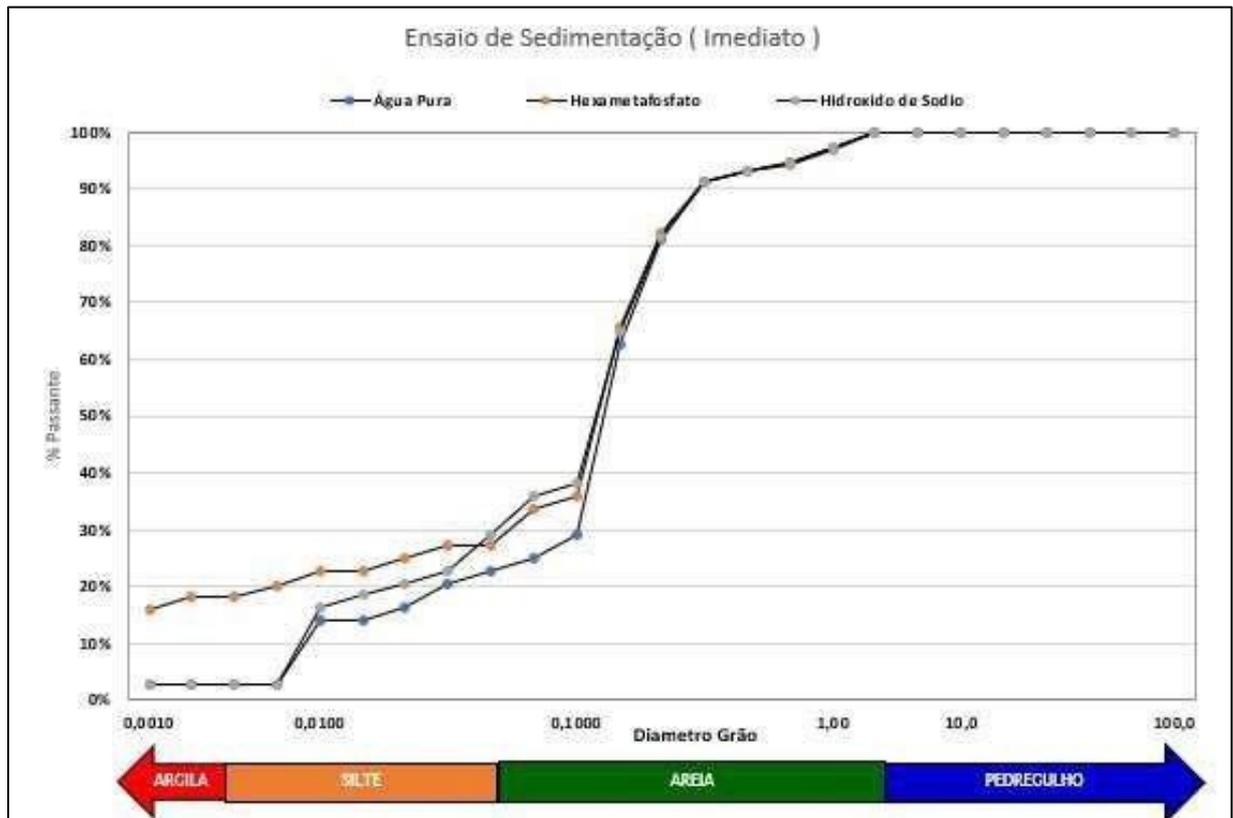


Fonte: Autor (2022)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.. COMPARAÇÃO ENTRE OS DEFLOCULANTES COM TEMPO DE PREPARO IMEDIATO.

Figura 20 - Comparação entre os defloculantes com tempo de preparo imediato



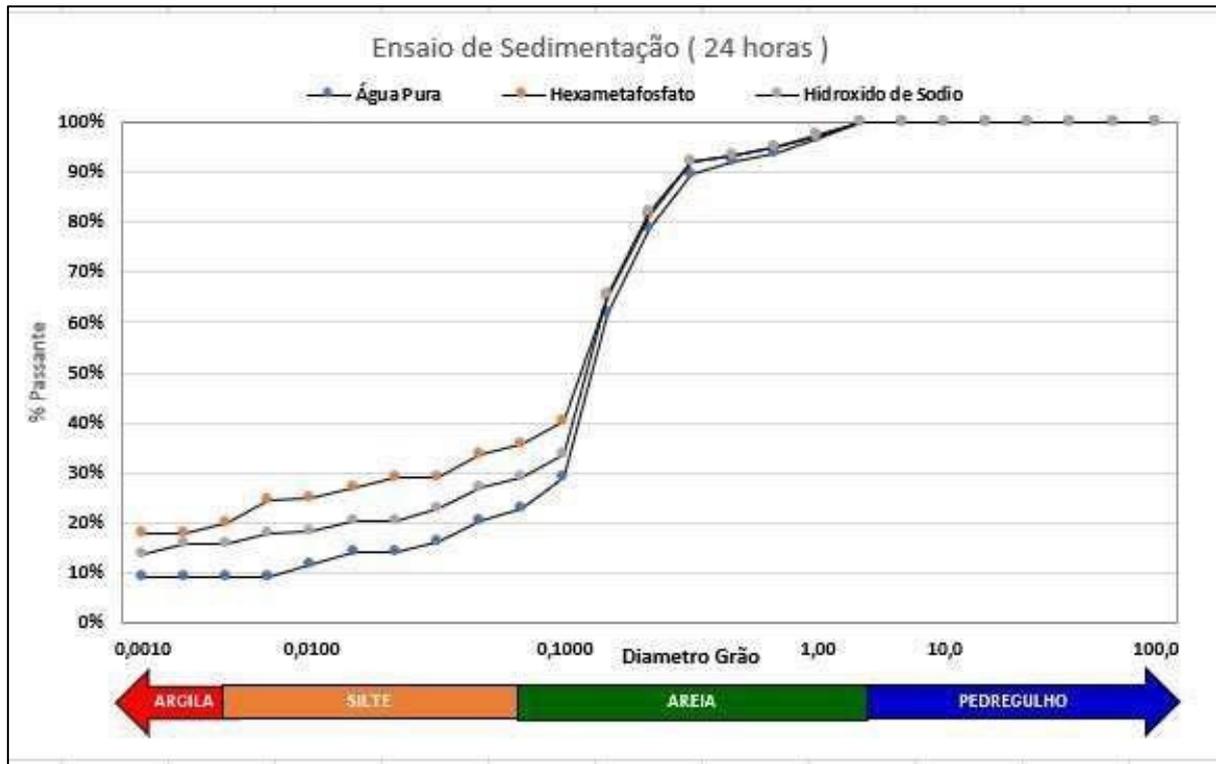
Fonte: Autor (2022)

Com o gráfico da figura 20, pode-se observar que o Hidróxido, inicialmente, apresenta uma maior defloculação das partículas, sendo em torno de 38%, seguido de 36% do HMFS e, por fim, a água, com 29%. Isso significa que o HS passou 2% a mais de fino do que o HMFS e 9% a mais do que a água pura. Isso demonstra que, com este defloculante, as partículas desagrupam e, por isso, há uma maior quantidade de finos, enquanto que, a com a água pura, as partículas estão mais agregadas, gerando torrões e, por isso, uma porcentagem menor de finos. Outro fato que se pode observar é que o tempo de reação do HS foi melhor, pois ele teve um maior passante de finos inicialmente. Já com relação a dispersibilidade a solução com água pura mostrada anteriormente na figura 18 e a solução de HS mostrado na figura 17 são moderadamente dispersíveis segundo a NBR 13601-1996, pois observa-se uma nuvem de coloides em suspensão e apresentam finos no fundo da proveta facilmente visíveis.

Já a solução com HMFS é fortemente dispersível segundo a norma supramencionada, pois a água é bem turva e tem apenas uma película fina coloidal no fundo do recipiente. Por fim, tem-se que o mais efetivo é o Hexametáfosfato de Sódio, sendo importante destacar que na comparação entre os defloculantes considerou-se o mais efetivo aquele que permitiu quantificar o maior valor de argila.

4.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS DEFLOCULANTES COM TEMPO DE PREPARO 24 HORAS

Figura 21 - Comparação entre os defloculantes com tempo de preparo de 24 h

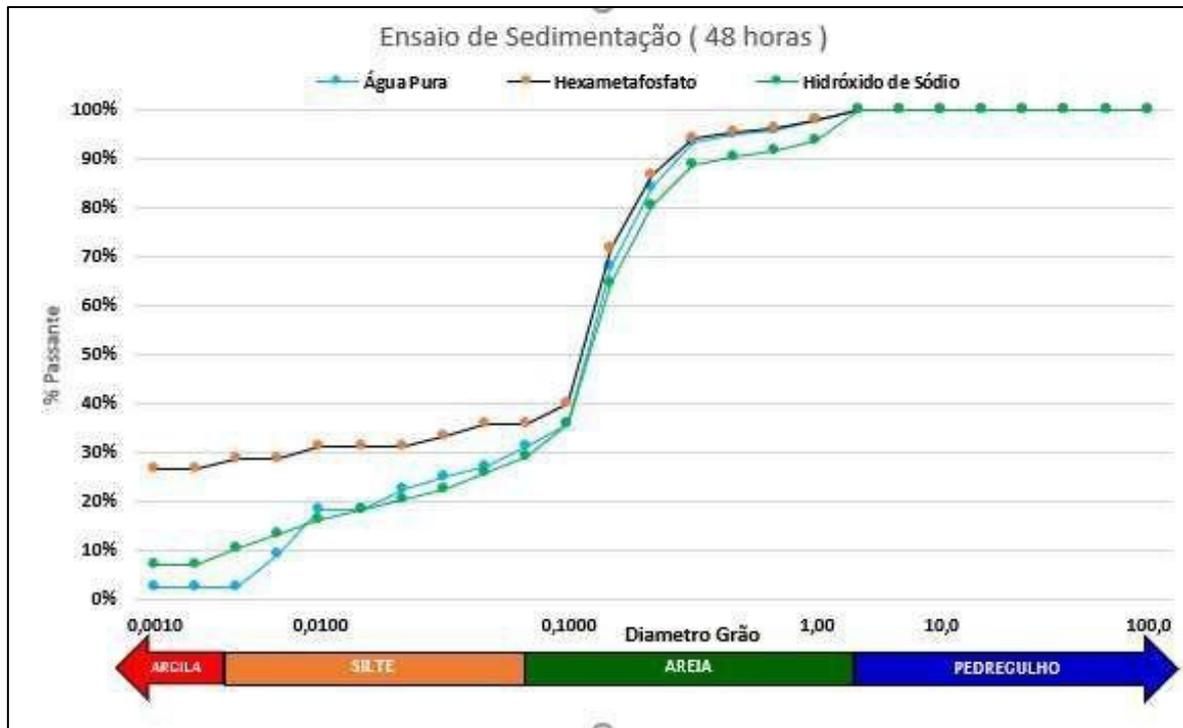


Com o gráfico da figura 21, pode-se observar que o passante de finos da solução de HMFS de sódio quando o solo em contato como o defloculante por 24 h é maior do que no HS e na água pura, comprovando que houve maior defloculação dos grãos, ou seja, as forças de repulsão entre as partículas se sobrepõem às forças de atração. Já nas outras 2 soluções, sendo o Hidróxido o segundo mais eficiente com 30% e a água pura com 23% de passante de finos, mostra-se que o Hidróxido defloculou menos que o HMFS e mais que a água pura.

A solução de H₂O água pura com menor número de passante de finos decorre de que, como não tem defloculante, há uma série de partículas agrupadas, sedimentando-se mais rapidamente, por conta dos diâmetros maiores que não são das partículas, mas sim, das agregações. Analisando-se quanto à dispersibilidade, através dos parâmetros da NBR 13601:1996, como o HMFS foi mostrado anteriormente na figura 14 e o HS na figura 15, ambos são fortemente dispersivos pois observou-se uma nuvem de colóides em suspensão e, no fundo, uma pequena camada. Já a água pura segue o mesmo padrão do preparo imediato, sendo este caracterizado como moderadamente dispersivo, segundo a norma já citada, e, quando a turvação é facilmente visível, ela recebe essa caracterização.

4.3.. COMPARAÇÃO ENTRE OS DEFLOCULANTES COM TEMPO DE PREPARO 48 HORAS

Figura 22- Comparação entre os defloculantes com tempo de preparação de 48 h

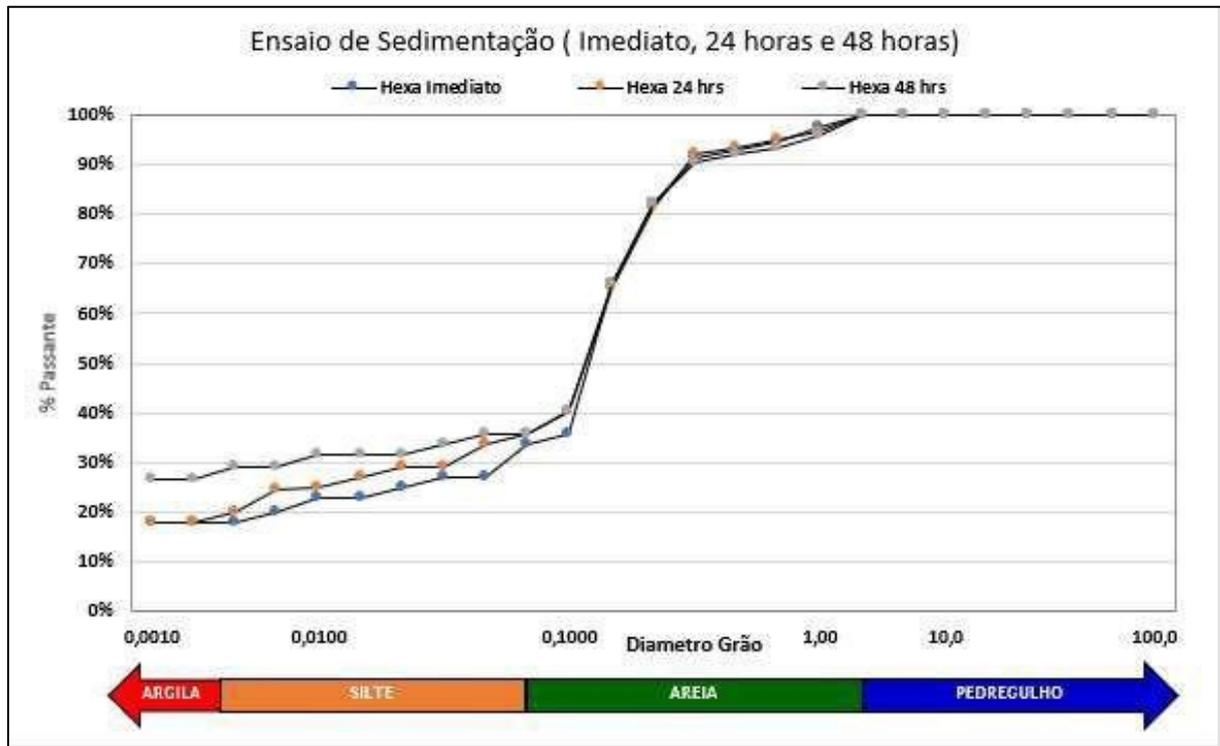


Fonte: Autor (2022)

Com o gráfico da figura 22, comprova-se, mais uma vez, na peneira #200, que o HMFS é o que mais deflocula, resultando em um passante de 38%, seguido de 32% da água, e, por fim, o Hidróxido de sódio, com 30%. Observando-se o gráfico, relatou-se que, entre o diâmetro 0,01 mm e 0,01 mm dos grãos, ele não é um bom dispersante em 48 h, chegando a ser pior do que a água pura. Já na questão da dispersibilidade, utilizando-se a NBR 13601:1996, o HMFS e o HS, conforme as figuras 14 e 16, respectivamente, continuam fortemente dispersivos, por terem uma solução com uma nuvem de colóides, tal como ocorre na preparação de 24 h, e a água pura é considerada moderadamente dispersiva.

4.4. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO FEITA COM HMFS COM TEMPOS DE PREPAROS DIFERENTES

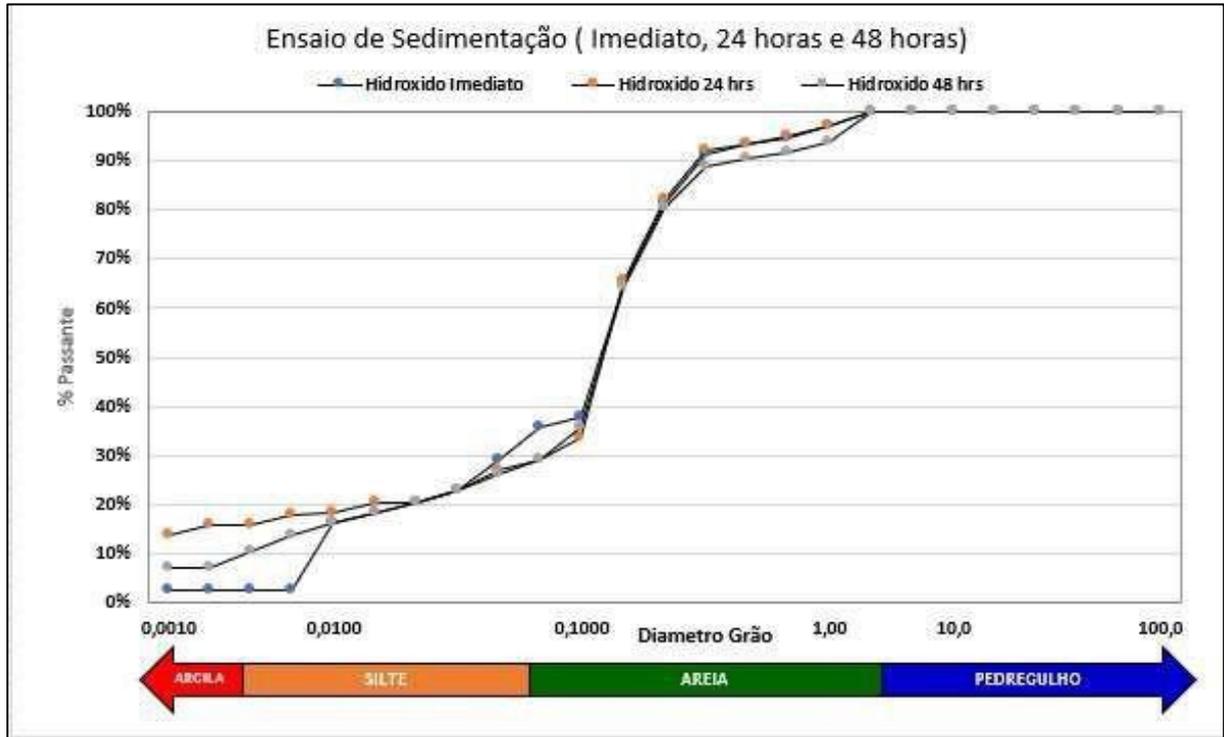
Figura 23- HMFS em tempos diferentes de preparo



Analisando-se o gráfico da figura 23, confirmou-se o que a NBR 7181:2016, afirma, que o defloculante tem que estar em contato com os grãos por no mínimo 12 h, não especificando o tempo máximo. Observando-se o passante na peneira #200, tem-se que, em 24 h e 48h, tem-se um mesmo passante de aproximadamente 36%, comprovando que, a partir de 12 h, a defloculação não muda pois ela chega em um limite. Já quando a preparação é feita de imediato, o passante é quase o mesmo, reduz-se apenas 2%, comprovando que o tempo de atuação do HMFS é rápido.

4.5. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO FEITA COM HS COM TEMPOS DE PREPAROS DIFERENTES

Figura 24 - Análise do Hidróxido em tempos de preparo diferentes

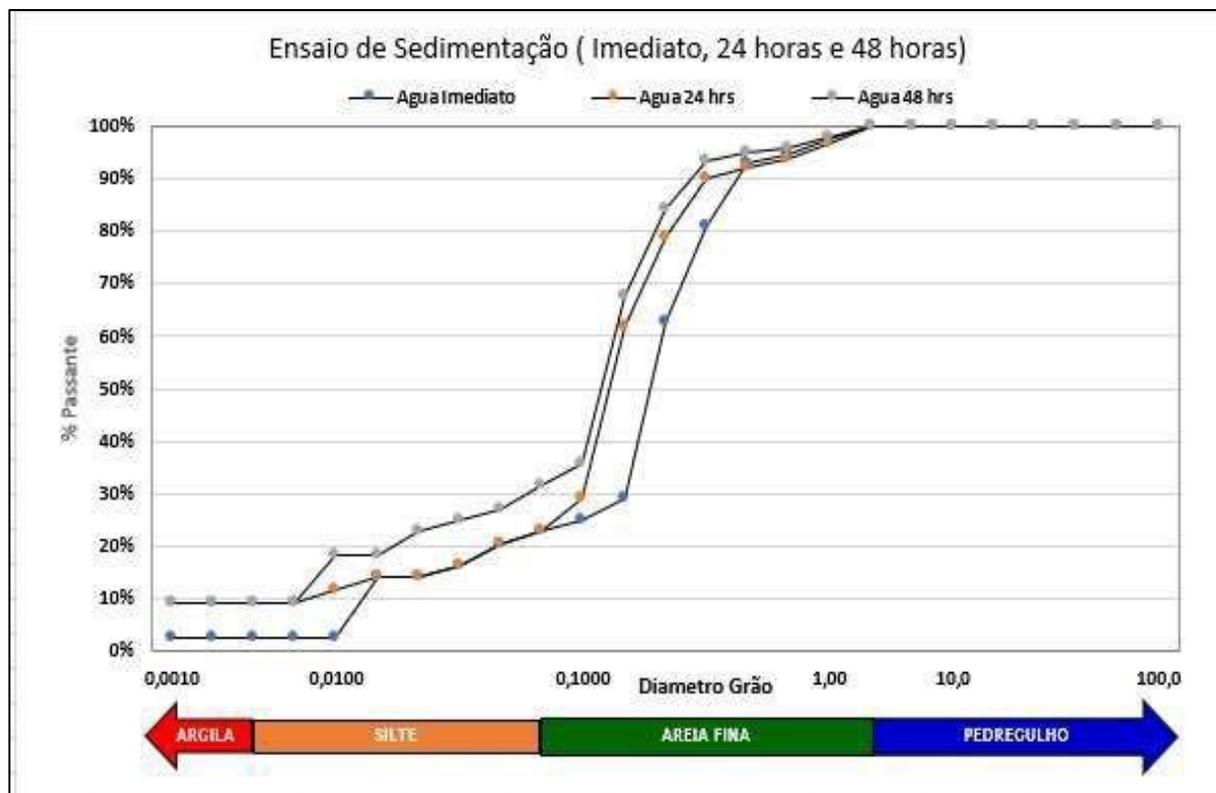


Fonte: Autor (2022)

Na figura 24, na comparação do HS com os tempos de preparos diferentes, tem-se que, na peneira #200, o Hidróxido de Sódio teve a mesma defloculação em 24 h e 48 h, tendo um passante de aproximadamente 30%, já e, quando de imediato, teve uma eficiência 8% melhor, ficando com 38%. Analisando-se o passante de argila, observou-se que, em 24 h, o Hidróxido reage melhor que em 48 h e, por último, de imediato. Com esse fato, há um aumento na concentração de íons Na^+ , em torno da partícula, e a carga negativa, existente em sua superfície, se manifesta de modo menos pronunciado, com isso, a suspensão pode passar a um estado de leve floculação, devido ao excesso desses íons. Este fenômeno é conhecido como “hiperdefloculação” ou “sobredefloculação”, ou seja, a defloculação possui um ponto máximo que, quando ultrapassado, torna a suspensão novamente instável (Neto,1999). Isso revela que o melhor desempenho do Hidróxido ocorre em 24 h.

4.6. COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO FEITA COM H₂O PURA COM TEMPOS DE PREPAROS DIFERENTES

Figura 25 - Análise da água pura em tempos de preparos diferentes



Fonte: Autor (2022)

No caso da água pura, tal como mostrado no gráfico da figura 25, mostra que o maior desempenho de deflocação ocorre quando os grãos ficam em contato com a mesma por 48 h, em segunda colocação a preparação em 24 h e, por fim, a preparação imediata. Na peneira #200, onde retratam sobre os finos, o ensaio revela que, em 48 h, houve um passante de 33% e, em 24 h e de imediato, um passante de 23%, mais, no geral, o passante de finos em 48 h é maior do que em 24 h.

5. CONCLUSÃO

Através do uso dos 2 tipos de defloculantes e do uso da água natural, pode-se observar como há diferenças na deflocação dos solos e como elas variam, de acordo com o tempo que o defloculante atua no meio aquoso. A diferença dos resultados mostra como é importante o uso do defloculante para a dispersão das partículas pois, com o uso do defloculante, as partículas sedimentam isoladamente, podendo detectar seus diâmetros equivalentes. No ensaio sem defloculante, as partículas agrupadas, tal como se encontram na natureza, sedimentam mais rapidamente, indicando diâmetros maiores, que não são das partículas, mas sim, das agregações.

Com os gráficos apresentados, conclui-se que, entre as 3 soluções distintas, a mais eficiente para esse tipo de solo é o Hexametáfosfato de sódio, seguido do Hidróxido de sódio e, por último, a

água pura. Mas essa foi uma análise de um solo tropical argiloso, com origem em Anápolis, e não significa que, em todos os tipos de solos, terá sempre esse mesmo resultado.

Cunha et al. (2014) investigaram a eficiência de soluções como dispersantes químicos, na análise granulométrica de amostras de dois horizontes de 26 solos de referência do Estado de Pernambuco e observaram que não houve semelhança entre os dispersantes e concluíram que o NaOH é superior com solos da Zona da Mata. Frente à solução $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$ sugere a utilização do NaOH como dispersante químico, para a análise granulométrica dos solos do Estado de Pernambuco. A seleção das amostras, por mesorregião estudada (Zona da Mata, Agreste e Sertão), mostrou superioridade do NaOH nos solos da Zona da Mata e igualdade com o $[(\text{NaPO}_3)_n + \text{Na}_2\text{CO}_3]$, nos solos do Agreste e do Sertão.

Cunha (2010), afirma ainda que o Hexametáfosfato de Sódio é adequado para solos com minerais de argilas de carga elétrica permanente e não para solos com carga elétrica variável, sendo mais uma prova da maior eficiência HMFS, em relação ao HS, que tem maior desempenho em solos com carga elétrica variável.

Segundo a Embrapa, a solução de Hidróxido de Sódio é mais utilizada pelos laboratórios das Regiões Sul e Sudeste enquanto na Região Nordeste predomina o uso de solução de Hexametáfosfato de Sódio mais Carbonato de Sódio, verificando, mais uma vez, que a defloculação depende das características do solo.

Já quanto ao tempo de preparo de cada solução, o Hidróxido de Sódio obteve maior desempenho em 24 horas, mostrando que, após esse período, segundo (Neto, 1999), ele não deflocula mais, por chegar no ponto máximo de defloculação. Enquanto isso, o Hexametáfosfato de Sódio já obteve melhor resultado a 48 h, mas, conforme a NBR 7181:2016, a solução deve ser preparada com no mínimo 12 h, não especificando o tempo máximo. E, por fim, a água pura foi usada apenas para verificar a importância que defloculante tem para dispersar as partículas e não formar os torrões.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, RJ, 2016.

_____. NBR 6502: Rochas e solos - Terminologia. Rio de Janeiro, RJ, 1995.

_____. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, 1984.

_____. NBR 13601: Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão, Rio de Janeiro, 1996.

A.M. WINTERMYER and E.B. KINTER. A study of Dispersing Agents for Particle – Size Analysis of Soils. Public Roads, Vol.28. 1954.

ANDRIANI, K. F. Efeito da adsorção de surfactantes catiônicos e aniônicos nas propriedades superficiais, reológicas e eletrocinéticas, de suspensões de bentonitas. 2009. Relatório de Estágio (Graduação) – Curso de Química- Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

BRITO, B. M. A. de. Estudo comparativo de dispersantes químicos na distribuição granulométrica a laser de argilas. Dissertação (Pós- Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2018.

CAMARGO, O. A de. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. 2009. 77 p. Boletim técnico - Instituto Agronômico, São Paulo, 2009.

CAPELLI, R. B. Comparação de métodos na análise granulométrica de rejeitos de mineração. Monografia (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Ouro Preto, 2016.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. 6 ed. V 1. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

CONSTRUÇÃO CIVIL. Disponível em: <<https://construcaocivil.info/resultado-apos-o-peneiramento-da-areia/>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

DELAVI, D. G. G. Defloculação de suspensões aquosas de argila e sua correlação com caracterizações químicas e de superfície. 2011. 124f. Monografia (Engenharia de materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2011.

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 041: Solos – Preparação de amostras para ensaio de caracterização. 1994.

FILUS, M. H. Lei de Stokes. Trabalho (Graduação em Engenharia Civil). Ponta Grossa, 2016.

LOCTEST. Laboratório de Geotecnia/ SP. Disponível em: <<https://geostavel.com.br/cliente/loctest/>>. Acesso em: 19 nov. 2021.

MAURI, J. et al. Dispersantes químicos na análise Granulométrica de Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, p. 1277-1284, 2011.

PINTO, C. S. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2006.

RESEARCHGATE. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Almofariz-e-mao-de-gral-destorroamento_fig2_340905805>. Acesso em: 19 nov. 2021.

SILVA, S. A. et al. Caracterização da viscosidade da suspensão cerâmica ZrO₂ -TiO₂ estabilizada com defloculante ácido para -aminobenzóico para obtenção de filmes de cerâmicas porosas. Disponível em: < <http://www.metall m.com.br / 60cbc/anais/ PDF/1 7 -029TT.pdf>>. Acesso em: 24/08/2021.

SPRADA, A. W. et al. Curva de deflocação e resíduos. 2019. 16f. Monografia (Engenharia dos Materiais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa. Paraná, 2019.

TRT. Disponível em: <<https://www.tecnolegis.com/provas/comentarios/152516>> Acesso em: 19 nov. 2021.

T.Y. CHU and D.T. DAVIDSON. *Defloculating Agents for Mechanical Analysis of Soils.* Highway Research Board. (Laboratory Analysis of Soils), 1954.

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante ARTHUR NATHANAEL MONTEIRO DA SILVA MENDONÇA do Curso de ENGENHARIA CIVIL ,matricula 20161002504020, telefone: 62 986275081 e-mail ARTHUR.NATHANAEL@HOTMAIL.COM, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado AVALIÇÃO DO ENSAIO DE GRANULOMETRIA EM DIFERENTES MEIOS AQUOSOS, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de Março de 2022.

Assinatura do(s) autor(es): Arthur Nathanael M Silva Mendonça

Nome completo do autor: Arthur Nathanael Monteiro da Silva Mendonça

Assinatura do professor-orientador: [Assinatura]

Nome completo do professor-orientador: EDSON NISHI