

Pereira, F. D.¹

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

HARAGUCHI, M. T.²

Professor Dr., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ feldipee@gmail.com; ² haramt@yahoo.com.br

RESUMO: Para realização da manutenção e reparação, o estudo geotécnico entra como ferramenta principal para realização de avaliações na obtenção de conhecimento sobre que tipo de material está presente no leito destas vias, determinando que espécie de tratamento deve ser tomado em função dos resultados apresentados. Os ensaios permitem estabelecer as propriedades de adensamento, características físicas e de reconhecimento do solo, além de estabelecer os métodos e procedimentos que devem ser adotados de acordo com o material apresentado. A seguinte pesquisa, possui como objetivo apresentar os resultados dos principais ensaios geotécnicos realizados em um trecho não pavimentado, localizado no município de Goiânia – GO, tendo como ponto de referência a GO 462, saída para o município de Nova Veneza. A metodologia estabelecida ao longo da pesquisa, teve como foco a execução das principais normas de ensaios Geotécnicas realizados atualmente no Brasil, tais como ABNT NBR 5734, ABNT NBR 6457, ABNT NBR 6459, ABNT NBR 6508, ABNT NBR 7180 e ABNT NBR 7182. O solo pôde ser classificado como Pedregulho Mal Graduado ou Pedregulho bem graduado/Pedregulho com o SUCS, pertencente à família A-1-a, através da classificação da AASHTO, com Índice de grupo considerado Péssimo para emprego em leito e subleito de rodovias.

Palavras-chaves: ABNT, Solos, Normas, Compactação, Granulometria.

Área de Concentração: 03 – Geotécnica.

1 INTRODUÇÃO

As estradas não pavimentadas são aquelas desprovidas de revestimento betuminoso ou cimento Portland, essenciais, principalmente, para a economia de regiões rurais, das quais se fazem necessária a utilização destas vias para interligação do transporte de produções agrícolas até aos centros de abastecimento urbano. Há importância também na manutenção e qualidade de vida da população que necessita destas estradas para o acesso à saúde, educação, trabalho, comércio e entre outros (BRAGA; GUIMARÃES, 2014).

O estudo geotécnico é uma ferramenta essencial para estas estradas não pavimentadas (vicinais), pois colabora com o solucionamento de adversidades que podem ser apresentadas nos diversos tipos de solos e rochas encontrados nestas vias, minimizando de forma segura e menos agressiva as diversas patologias e possíveis interferências que possam ocorrer, para assim

viabilizar de acordo com qual tipo de material encontrado, os processos que devem-se ou deverão ser solicitados durante algum método de execução.

A solução encontrada para os inconvenientes que estas estradas não pavimentadas venham a manifestar é realizando manutenções periódicas para que seu funcionamento ocorra normalmente. Estas manutenções são realizadas precedidas de ensaios geotécnicos que avaliam e analisam quais são os procedimentos que devem ser tomados de acordo com os critérios técnicos e econômicos (ASSIS, 2018).

A seguinte pesquisa, possui como objetivo apresentar os resultados dos principais ensaios geotécnicos realizados em um trecho não pavimentado, localizado no município de Goiânia – GO, tendo como ponto de referência a GO 462, saída para o município de Nova Veneza, possuindo 600 metros de comprimento.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Características do solo na região de estudo

De acordo com Brito et. al. (2014), há a predominância de solos do tipo cambissolo, argissolo, latossolo, quartzarênico, plintossolo, nitossolo, neossolo, neossolo litólico e geissolo na região de Goiás. Na região Centro-Oeste em que se configura o bioma Cerrado, o tipo de solo mais presente e que ocupa 46% de sua extensão são os “latossolos”. Este solo possui uma coloração que destoa entre o vermelho para o amarelo e são pobres em magnésio, cálcio, potássio entre outros, que são nutrientes essenciais para grande parte das plantas. Este tipo de solo é bem drenado e possuem acidez e toxidez de alumínio (EMBRAPA, 2020).

Tendo como base o município de Goiânia, levantamentos pedológicos apontam uma predominância de 40,2% de Latossolo vermelho e 5,2% de Argissolo vermelho-amarelo. A classe de solos em Santo Antônio de Goiás é composta de 94,1% de Latossolo Vermelho, 4,1% Argissolo vermelho-amarelo e 1,9% de Gleissolo. Nova Veneza possui em sua composição 90,8% de Argissolo vermelho-Amarelo e 9,2% Latossolo vermelho (EMATER, 2016). Estes dois últimos municípios fazem entorno da região estudada, e apresentam uma semelhança em sua classificação, alterando basicamente a porcentagem em relação a sua quantidade.

Segundo a ageitec (2013), O latossolo vermelho é um solo mineral que apresenta cores vermelhas acentuadas, e é bastante comum na extensão territorial nacional, principalmente em relevos planos, suave ondulado ou ondulado. Devido a esta característica predominantemente plana, são responsáveis por grande parte da produção agrícola nacional. São solos porosos e profundos, possuindo mais de 2 metros de profundidade e alta permeabilidade. Sua reserva de nutriente é baixa, por sofrer intemperismo (desgaste) e são compostos basicamente entre 15% a 80% de argila e o restante apresentando teores de silte inferiores a 20%.

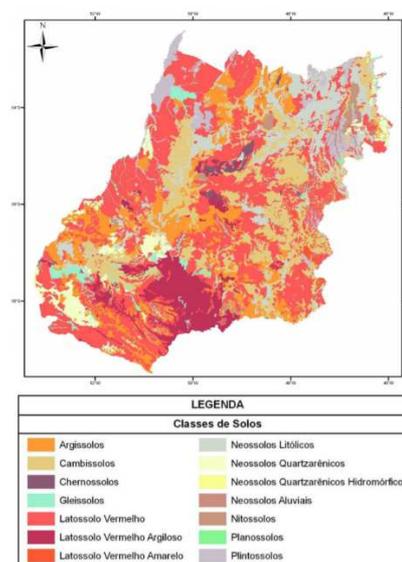
Em seguida, temos os argissolos que possuem uma coloração vermelha-amarelada devido a presença de óxidos de ferro hematita e goethita. Possuem baixa fertilidade natural e podem ser encontrados em ambientes onde a vegetação está condicionada pela dupla estacionalidade climática, em relevos mais acidentados e dissecados. Dependendo de sua relação textural são mais suscetíveis a erosão e apresenta em sua composição a predominância de argila (ageitec, 2013).

Por fim, pode-se encontrar na região de estudo os Gleissolos, que são solos minerais onde sua formação

tem origem em condições de saturação com a água através de sedimentos constituídos por areia e argila. Possuem uma drenagem que varia de mal a muito mal e suas características físicas, químicas e morfológicas são bastante diversificadas devido as circunstâncias de como é formado. Sua coloração é pouco viva e acinzentada e podem ser encontrados em ambientes extremamente mal drenados ou em lugares onde a vegetação passa por períodos de longo alagamento (ageitec, 2013).

Um detalhamento mais elaborado e didático de como a distribuição do solo é racionada no estado de Goiás pode ser observado na Figura 1 a seguir:

Figura 1 – Mapa Pedológico do estado de Goiás.



Fonte: RADAMBRASIL (2014).

2.2 Estudos Geotécnicos

Teixeira (2013) afirma que os ensaios geotécnicos permitem estabelecer as propriedades de adensamento, características físicas e de reconhecimento do solo, além de estabelecer os métodos e procedimentos que devem ser adotados de acordo com o material apresentado.

Devido os processos geológicos decorrentes como erosão, deslizamentos de encostas, inundações entre outros, em função da grande influência antrópica, o estudo geotécnico juntamente com a mecânica dos solos e das rochas possibilita a realização de investigações técnicas para que medidas corretivas ou preventivas sejam aplicadas como solucionamento (FUREGATTI, 2012).

2.2.1 Estado da Arte: Teor de Umidade

Caputo (1998), define a umidade como uma quantia de água presente na atmosfera. Possuindo uma relação entre o volume de solo seco e úmido no solo. A umidade

é inteiramente associada com a consistência do solo, sendo este o fator que “descreve a resistência do solo em diferentes umidades contra pressão ou forças de manipulação, ou refere-se à sensação de dureza, à facilidade de quebra ou à plasticidade e pegajosidade de um solo em diferentes umidades ao ser manipulado pelas mãos”, (REINERT; REICHERT, 2016).

Reinert e Reichert ainda apresentam que a variação da consistência do solo, e por consequência, das forças de adesão e coesão, são proporcionais à variação da umidade do solo, afetando diretamente sua resistência, compressibilidade, compatibilidade entre outros.

O teor de umidade esperado para solos naturais varia em torno de 12,7% e para solos secos ao ar a norma ABNT NBR 6457 prevê uma variação em torno de 3% e 5% da umidade ótima presumível (CAPUTO, 1998).

2.2.2 Estado da Arte: Massa Específica

O conceito de massa específica ou densidade é um importante parâmetro físico-químico usado na caracterização de materiais, interpretado como a razão entre a massa e o volume ocupado por um corpo ou substância. Conforme Almeida (2005), massa específica seca e peso específico seco são conceitos distintos de massa específica seca aparente ou peso específico seco aparente, dos quais são obtidos pela razão do peso seco e o volume da amostra.

Para realização do Ensaio de Massa Específica, a ABNT NBR 6508 estipula que as amostras devem passar na peneira de 4,8mm (vide NBR 5734), enquanto que outras definições diminuem este peneiramento para amostras que passam na peneira de 2 mm (ABNT NBR 6508, 1984).

Para satisfação da norma, os valores obtidos durante a realização do ensaio devem conter três algarismos significativos, não muito distintos entre si de 0,02g/cm³ (ABNT NBR 6508, 1984).

2.2.3 Estado da Arte: Limite de Liquidez

Limite de liquidez (LL), é definido como o teor de umidade abaixo do qual o solo se comporta como um material plástico. Está relacionado diretamente à capacidade do solo de absorver água (FUREGATTI, 2012).

Em 1911, o agrônomo sueco Atterberg deu início há um experimento que dividia valores de umidade que uma argila poderia apresentar em limites correspondentes ao estado aparente da matéria. Foram então definidos os limites de contração, plasticidade e liquidez. O assunto foi abordado mais tarde por Casagrande, que projetou um equipamento para a realização do ensaio para a determinação do limite de liquidez, o qual é empregado

em todo o mundo e padronizado no Brasil pela ABNT NBR 6459, (ORTIGÃO, 2007).

A NBR 6459 prevê ainda que os valores alcançados por meio do método de golpeamento no aparelho de Casagrande para limite de liquidez, deve estar impresso em porcentagem e arredondado para o valor imediatamente superior. Caso não aconteça nenhuma aproximação do solo na ranhura após 25 golpes – que deve ser um valor obrigatório obtido no gráfico da reta – a amostra não apresenta limite de liquidez ou limite nulo de liquidez – LN (REINERT; REICHERT, 2016).

2.2.4 Estado da Arte: Limite de Plasticidade

A plasticidade é uma das características mais importante dos solos finos, por consequente, das argilas, na qual os mesmos apresentam comportamento predominante devido à essas partículas finas. É importante citar que o fato de um corpo se comportar como plástico depende da intensidade das forças aplicadas e, também, do grau de precisão das observações efetuadas, ou seja, certas variáveis devem ser avaliadas cuidadosamente para que o resultado seja preciso e portanto, correto (FUREGATTI, 2012).

A ABNT NBR 7180/1984 considera satisfatórios os valores de umidade que não se diferenciam de 5% da média obtida dos resultados.

O Índice de Plasticidade, a diferença entre os limites de liquidez e plasticidade, é o caracterizador do estado plástico de um solo, sendo ele máximo para os solos argilosos e mínimo, ou nulo, para solos arenosos. Através deste índice, os solos poderão ser classificados em (STONKS, 1985):

- Fracamente plásticos 1 < IP < 7
- Medianamente plásticos 7 < IP < 15
- Altamente plásticos IP > 15

2.2.5 Estado da Arte: Granulometria e Classificação dos Solos

A análise de granulometria do solo é realizada em três partes, que consistem basicamente em pré-tratamento para remoção de agentes cimentares, floculantes e a dispersão da amostra do solo, e a quantificação das frações do solo, (SUPORTE SONDAgens E INVESTIGAÇÃO, 2018).

Para a quantificação destas frações de solo utiliza-se primeiramente o peneiramento para quando as frações forem grossa ou areia fina, e a sedimentação para quando se tratarem em silte e/ou argilas. Basicamente deve-se designar o tamanho, as porcentagens e o peso das amostras de solo a serem classificadas, baseando na fração total sugerida para análise. A classificação engloba, portanto, dados oriundos da distribuição das

parcelas do solo, levando em consideração o tamanho das partículas, (SUSPENSION, 2005).

A importância para a engenharia é quantificada pelo fato de que cada solo, com cada composição específica devido à presença das várias partículas com determinadas dimensões existentes para um tipo de solo, vão responder de forma diferente às especificações exigidas para o uso construtivo, como por exemplo, apresentar CBR satisfatório para pavimentação, ou percentual de expansão minimamente baixo para execução favorável de fundações, dentro outros.

Caputo (1988) apresenta a utilização do aparelho de Casagrande como a forma mais simples dentre os diversos métodos de análise por sedimentação, sendo este mais frequentemente usado nos laboratórios de Mecânica dos Solos. Adiciona-se o fato de que ele é baseado na lei de Stokes (1850), “a qual estabelece uma relação entre o diâmetro da partícula e sua velocidade de sedimentação em um meio líquido de viscosidade e peso específico conhecidos”, ou seja, a velocidade em que o solo precipita é diretamente proporcional a seu tamanho.

Com relação à classificação do solo, foram realizadas através dos dois parâmetros determinados pelo SUCS e AASHTO, ambas distintas entre si, principalmente pelo fato da AASHTO tratar da classificação do solo para fins rodoviários (subleito e leito) enquanto que pelo SUCS, a classificação é mais generalizada, onde os solos são classificados em 6 grupos, sendo “C” para argilas inorgânicas, “G” para pedregulhos, “M” para siltes inorgânicos e areias finas e “O” para siltes e argilas orgânicos (CASTRO, 2019).

2.2.6 Estado da Arte: Compactação, Expansão e CBR

Podendo ser um processo manual ou mecânico, a compactação do solo busca reduzir a quantidade de vazios e, assim, melhorar sua resistência, tornando-o mais estável. É um procedimento fácil e de extrema relevância pelos seus consideráveis resultados sobre a estabilização de maciços terrosos, relacionando-se, com problemas de pavimentação e barragens (FUREGATTI, 2012).

Em 1933 foi proposto pelo engenheiro americano Ralph Proctor o ensaio para indicar uma umidade ótima e um certo peso específico máximo. Este ensaio, denominou-se Ensaio Normal de Compactação de Proctor (ou AASHTO Standard), padronizado pela ABNT, (Suporte Sondagens e Investigações, 2018). Baseia-se na compactação de uma amostra dentro de um recipiente cilíndrico, com cerca de 1000 cm³, em três ou cinco camadas sucessivas, sob um determinado número de golpes de um soquete de acordo com o tipo de energia solicitada, pesando 2,5 kg, caindo de uma

distância de 30cm de altura. O ensaio é realizado diversas vezes, pois apresenta diferentes teores de umidade, o que gera em um peso específico aparente para cada amostra. Com estes valores em mão, é possível obter a Curva de Compactação (REINERT; REICHERT, 2016).

A curva de compactação de solos com finos apresenta uma curva mais regular com um pico pronunciado, enquanto que para os solos granulares sem finos, como por exemplo areias limpas – que apresenta granulometria uniforme, por serem bastante permeáveis apresentam pouca sensibilidade ao teor de água, aumentando o peso específico seco para baixos teores de umidade, em função das tensões capilares entre as partículas (SANTOS, 2008).

Por definição a expansibilidade é a disposição que corpos possuem de dilatar e expandir na presença de água e se contrair ao perderem umidade, o que é um fator negativo para a construção civil, pelo fato de que muitas vezes não se tem dados históricos dessa expansibilidade e não se pode prever este fator com precisão. Como é exposto por Silva (2012), “Solos expansivos são encontrados em todos os cinco continentes e são particularmente difundidos em regiões áridas e semiáridas. Em alguns países subdesenvolvidos, os edifícios foram construídos sem qualquer conhecimento da presença de solos expansivos”.

O ensaio relacionado ao índice de expansão do solo durante o período de saturação por imersão do corpo-de-prova apresenta o comportamento que se precisa para um solo com fins construtivos satisfatórios. O DNIT através do Manual de Pavimentação publicado em 2006 apresenta valores tabelados de valores esperados de CBR para os solos classificados pelo SUCS. Estes valores serão avaliados na seção resultados e discussões deste artigo (DNIT, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Escolha do Trecho de Estudo e Coleta de Material

A definição do trecho a ser estudado foi a primeira etapa para realização das análises e caracterização do solo a serem definidas. O trecho não pavimentado está localizado dentro do município de Goiânia, tendo como referência a GO-462, logo após a Faculdade de Veterinária e Zootecnia (UFG), sentido Nova Veneza.

Figura 2 – Delimitação do trecho a ser estudado.



Fonte: Adaptado do Google Earth PRO (2020).

A próxima etapa a ser seguida é a de coleta do solo, que obedecerá aos procedimentos de acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), onde é estipulado que a captação de amostras deve ser realizada entre 100 a 200 metros no sentido longitudinal e com profundidade entre 60 a 100 centímetros abaixo da regularização do subleito. Com o auxílio de uma picareta e utilizando uma trena para medição da profundidade do furo, foram obtidas amostras de 6 pontos distintos do trecho, contendo cerca de 60kg cada, nomeados de acordo com a sua respectiva numeração de acordo com o ponto que se encontrava. A coleta de Material realizada de um ponto das Amostras pode ser observada logo na Figura 3 a seguir:

Figura 3 – Coleta de Amostra do Ponto 3.



Fonte: Autor Próprio (2019).

Esta coleta de amostragem, passará por uma secagem prévia e preparação do material que será analisado seguindo os procedimentos da ABNT NBR 6457/2016, e possibilitará a realização dos ensaios para o desenvolvimento deste artigo. É possível verificar a secagem prévia do material logo a seguir, realizada no estoque dos laboratórios do bloco “J” da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, no setor Leste Universitário, em Goiânia:

Figura 4 – Coleta de Amostra do Ponto 3.



Fonte: Autor Próprio (2019).

3.2 Ensaio do Teor de Umidade (NBR 6457/2016)

Para realização do Teor de Umidade da amostra, foi primeiramente realizada a preparação das amostras conforme ABNT NBR 6457/2016.

Materiais padrão para preparação de amostras para ensaios de caracterização:

- A norma NBR 6457/2016 preconiza a utilização das seguintes aparelhagens: Almofariz, mão de gral recoberta de borracha; Repartidor de amostras (*utilizado corteador*); Bandejas metálicas; Balança de precisão, com resoluções de 0,01 g, 0,1 g e 0,5 g, e sensibilidade compatíveis; Peneiras de aberturas 2mm e 4,75mm; Estufa capaz de manter a temperatura entre 60 °C e 65°C e entre 105 °C e 110°C; Capsulas metálicas.

Figura 5 – Aparelhagem de Destorroamento – Destaque às Peneiras de 2mm e 4,75 mm, e Mão de Gral.



Fonte: Autor Próprio (2019).

De acordo com a norma, toma-se certa quantidade de material em função da dimensão dos grãos maiores contidos na amostra. Tomada a amostra de solo, pesou-se e em seguida efetuou a homogeneização por meio do destorroamento, utilizando as peneiras de duas métricas, o almofariz e a mão de grau, até obter cerca de 80% de solo destorroado.

Utilizando um fundo coletor e duas peneiras de 2 mm e 4,75 mm respectivamente, peneirou-se a amostra coletada duas vezes. Na primeira vez o que passou direto para o fundo coletor já estava pronto, o que ficou retido na peneira de 4,75 mm foi colocado novamente no almofariz para um segundo destorroamento. Passou-se pela peneira novamente a amostra, caso ainda houvesse algum solo retido na peneira de 4,75 mm, efetuou-se o descarte do mesmo. Segue ilustrativo na Figura 6.

Figura 6 – Processo de Destorroamento até o último material retido na peneira 4,75 mm.



Fonte: Autor Próprio (2019).

Para o ensaio de caracterização de teor de umidade, separou-se uma determinada quantidade de solo em duas cápsulas metálicas numeradas, pesou-se as cápsulas, anotando sua massa inicial e a tara das cápsulas vazias e logo após, levou-se para a estufa, à temperatura de 105°C. Usualmente é utilizado um intervalo de 16 a 24 horas, tempo necessário de acordo com a NBR 6457/2016, para o material apresentar constância de massa.

Dado o intervalo, retirou-se as cápsulas da estufa e levou-as para temperatura ambiente. A amostra não foi para o dessecador. Pesou-se novamente as cápsulas, determinando assim a massa final (seca) da amostra.

3.3 Ensaio de Massa Específica (ABNT NBR 6508/1984)

Materiais padrão para preparação de amostras para ensaios de Determinação de Massa Específica:

- A norma NBR 6508/1984 preconiza a utilização das seguintes aparelhagens: Estufa com temperatura entre 60 e 65 °C ou 105 a 110 °C; Aparelho de dispersão, com hélice metálica substituíveis e copo munido de chicana metálicas; Picnômetro de 500 cm³, calibrado a 20 °C, com a respectiva curva de calibração (variação de massa do picnômetro cheio de água, até a marca da referência, em função da temperatura); Bomba de vácuo com registro, capaz de aplicar um vácuo de 88 kpa (66cm de Hg a 0°C), para remoção do ar aderente as partículas do solo; Termômetro graduado em 0,1; Balança que permita pesar nominalmente até 1,5 kg, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível; Funil de vidro; Conta gotas; Chapa aquecedora.

A norma do ensaio de caracterização prevê tomar certa quantidade de material do solo, cerca de 250 g de amostra preparadas anteriormente de acordo com a ABNT NBR 6457.

Com esta quantidade de solo, leva-se a amostra para a peneira de 4,75 mm. O que ficar retido, passa pelo processo de destorroamento apenas 1 vez para homogeneizar o máximo possível de solo. A norma prevê após esse processo, recolher-se a quantidade tal em torno de 50 g para solos argilosos e siltosos e 60 g para solos arenosos (massa inicial de solo M1), e determinar umidade higroscópica mediana das cápsulas após preparo na estufa.

O picnômetro de capacidade referente à 500 cm³, é preparado com água destilada, e possui a sua massa inicial obtida –valor para simples precisão. A massa do picnômetro cheio de água destilada até a marca de referência deve ser obtida (M3), assim como a temperatura igual (Ti). A norma preconiza que o material fique por imersão durante 12h.

Com o preparo de homogeneização concluído, leva-se a amostra de solo para o copo de dispersão. Acrescenta-se água destilada até cerca de metade do volume do copo. A norma prevê dispersão por 15 min. Transferi-se a amostra para o picnômetro com auxílio do funil de vidro, lavando o copo de dispersão e o funil com água destilado para completa remoção do material, tomando precaução para evitar eventual perda de material.

Após adicionar água destilada até cerca de metade do volume do picnômetro, deve-se colocá-lo sobre chapa aquecedora por 30 minutos, ou aplicar vácuo através de bomba de, no mínimo 88kpa, durante pelo menos 15min, agitando o picnômetro em intervalos regulares de tempo. No caso de não ter tido a remoção total do ar, a norma prevê que deve-se colocar o picnômetro em banho-maria durante 30 min, adicionando água destilada para compensar a evaporação. Mede-se a temperatura referente à (Tf).

Com o auxílio do conta-gotas, adiciona-se água destilada no picnômetro até que base do menisco fique na marca de referência. Pesa-se o conjunto picnômetro, água e solo, valor referente à massa (M2).

3.4 Ensaio da Determinação do Limite de Liquidez (ABNT 6459/2016)

Materiais padrão para preparação de amostras para ensaios de Determinação do Limite de Liquidez:

- A norma NBR 6459/2016 preconiza a utilização das seguintes aparelhagens: Estufa com temperatura entre 60 e 65 °C ou 105 a 110 °C; Cápsulas; Espátula de Lâmina Flexível; Aparelho de Casagrande padronizado; Cinzel padronizado; Pares de vidro de relógio com tampa – este aparelho não foi usado; Balança de capacidade 200g e precisão 0,01g;

A norma prevê que o primeiro passo a ser realizado é a verificação do aparelho de Casagrande em diferentes quesitos como altura de restituição, características da base, massa do conjunto concha + guia, entre outros.

É separada então uma amostra de solo argiloso preparado conforme ABNT NBR 6457, anteriormente citada e descrita. A norma preconiza tomar metade da amostra, colocar em cápsula de porcelana e ir umedecendo a amostra com água destilada amassando-a com vigor por 15 a 30 minutos.

A partir desta etapa, prende-se o solo na concha, até 2/3 da altura da concha. Com o cinzel, corta-se em pinzel (inclinado) o solo em concha, no sentido vertical, até que se enxergue o fundo da concha, conforme processo da Figura 7. Inicia-se então com as voltas na manivela (2 por segundo), para efetuar as batidas até que a ranhura se fechem em 13mm.

Figura 7 – Processo de Preparação da amostra com água destilada, e concha para série de Golpes.



Fonte: MENDES (2020).

Retira-se a amostra de solo na região em que a ranhura se fecha, e a coloca em uma cápsula com numeração. Pesa-se a cápsula com o solo (Amostra Úmida + Tara) em gramas.

Figura 8 – Momento em que a ranhura se fecha aos 32 golpes.



Fonte: MENDES (2020).

A norma preconiza obter pontos variando entre 35 e 15 golpes.

Realiza-se então, o mesmo processo para a segunda série de golpes, onde é previsto que a umidade deve variar aproximadamente em 28 golpes. Retira-se a amostra de solo na região em que a ranhura se fecha, e a coloca em uma cápsula de com numeração. Pesa-se a cápsula com o solo (Amostra Úmida + Tara) em gramas.

Para terceira série de golpes, a ranhura deve se fechar abaixo de 20 golpes. Com o acréscimo de 2ml de água destilada. Retira-se a amostra de solo na região em que a ranhura se fecha, e a coloca em uma cápsula de com numeração. Pesa-se a cápsula com o solo (Amostra Úmida + Tara) em gramas.

Na quarta série de golpes, a ranhura deve se fechar abaixo de 15 golpes. Com o acréscimo de 2ml de água destilada. Retira-se a amostra de solo na região em que a ranhura se fecha, e a coloca em uma cápsula de com numeração. Pesa-se a cápsula com o solo (Amostra Úmida + Tara) em gramas.

Na quinta e última série de golpes, a ranhura deve se fechar, também, abaixo de 15 golpes. Com o acréscimo de 2ml de água destilada. Retira-se a amostra de solo na região em que a ranhura se fecha, e a coloca em uma cápsula de com numeração. Pesa-se a cápsula com o solo (Amostra Úmida + Tara) em gramas.

Todas as cápsulas são colocadas na estufa para secagem, e retiradas após ± 24 horas. Pesa-se todas as cápsulas em gramas.

3.5 Ensaio de Determinação do Limite de Plasticidade (ABNT NBR 7180/1984)

Materiais padrão para preparação de amostras para ensaios de Limite de Plasticidade:

- A norma ABNT NBR 7180/1984 preconiza a utilização das seguintes aparelhagens: Cápsulas; Espátula; Balança de pesagem nominal de 200g, com resolução de 0,01g; Gabarito Cilíndrico com 3mm de diâmetro e 10cm de comprimento; Placa de vidro quadrada, de superfície esmerilhada; Peneira 0,42 mm; Balança de Precisão; Estufa.

Após a coleta da amostra de solo, é passado na peneira de 0,48mm. O que ficar retido destorroa-se e volta para a peneira. O que ficar retido novamente, é descartado.

Em seguida, o material da amostra colhido após peneiramento, é colocado no recipiente de alumínio e adicionado água destilada. Com o uso de uma proveta, adiciona-se primeiramente duas medidas de 10ml, seguidas de uma de 5,1ml, duas de 5ml, sete de 2ml, uma de 2,1ml e uma de 1ml, amassando a amostra de solo vigorosa e continuamente, até formar uma pasta homogênea de consistência plástica.

A norma prevê que o tempo de homogeneização da amostra esteja compreendido entre 15 a 30 minutos, sendo que para solos argilosos este intervalo se delonga.

Logo após esse procedimento, deve-se pegar 10g de material, fazer o formato de uma pequena bola e iniciar rolagem sobre uma placa de vidro com a palma da mão até chegar na forma semelhante ao do cilindro gabarito.

Em seguida a amostra deve atingir ao diâmetro de 3mm e 10cm de comprimento, correspondente ao gabarito de comparação, e transferida imediatamente para a cápsula de alumínio com destino à estufa, para determinação da umidade das amostras. Toma-se o peso das cápsulas vazias (Tara) e o peso das cápsulas com o cilindro de solo e com umidade (S+A+T) todos em gramas.

Figura 9 – Utilização do Gabarito Cilíndrico para confecção da amostra normatizada.



Fonte: MENDES (2020).

Após horas na estufa, as cápsulas são retiradas e pesadas. Essa medida corresponde à massa seca da amostra de solo mais a tara da cápsula (S+T).

3.6 Ensaio de Granulometria e Classificação dos Solos

De acordo com a NBR7181/1984 são utilizados os seguintes materiais para a realização do ensaio de granulometria: Estufa capaz de manter temperatura entre 60°C, e 65°C e entre 105°C, 110°C; Balança que permita pesar nominalmente 200g, 1,5kg, 5kg e 10kg, com resoluções de 0,01g, 0,5g e 1g respectivamente compatíveis; Recipientes adequados, tais como dessecadores que determinam guardar amostras sem variação de umidade; Aparelho de dispersão por 15min com hélice metálica substituíveis e copo munido de chicana metálicas; Proveta de vidro, com cerca de 450mm de altura e 65mm de diâmetro com traços de referência indicando 1,000cm³ a 20°C; Decímetro de bulbo simétrico calibrado, 20°C e com resolução de 0,001, graduado de 0,995 a 1,050; Termômetro graduado em 0,1°C de 0°C a 5°C; Relógio com indicação de segundos; Béquer de vidro, com capacidade de 250cm³; Proveta de vidro, com capacidade de 250cm³ e resolução de 2 cm³; Tanque para banho, com dimensões adequadas à imersão das provetas até o traço de referência, capaz de manter a temperatura da suspensão aproximadamente durante a fase de sedimentação; Peneiras de 50; 38; 25; 19; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075mm de acordo com a NBR5734; Escova com cerdas metálicas; Agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa de fundo; Bagaeta de vidro; Bisnaga (piceta).

Inicia-se pelo peneiramento grosso. Toma-se certa quantidade (1.000g) de material de solo do tipo secado ao ar previamente. Este valor corresponde à massa total do solo seco (Mt). Realiza-se então o peneiramento da amostra com suas respectivas peneiras.

Para peneiramento fino, prosseguiu-se com o ensaio. Após a estufa e sem a utilização do agitador mecânico, peneira-se a amostra pelas peneiras de número 1,2mm;

0,6mm; 0,25mm; 0,15mm e 0,075 mm, sendo que para cada material retido nas peneiras, pesa-se a fração retida. Este valor de massa retida será pertinente para a determinação do percentual de material de solo retido nas peneiras, principalmente para a de 0,075 mm a fim de classificar o solo.

Figura 10 – Processo de Peneiramento Fino.



Fonte: MENDES (2020).

3.7 Ensaios de Compactação, Expansão e CBR

Para realização do ensaio de Compactação pelo Método de Proctor Normal a ABNT NBR 7182 prescreve a utilização dos seguintes materiais: Balanças de precisão, com resoluções de 1g e 0,01g, e sensibilidade compatíveis; Peneiras de 19 e 4,8 mm, de acordo com a ABNT NBR 5734; Estufa com temperatura entre 105°C e 110°C; Cápsulas metálicas, para determinar o teor de umidade; Bandejas metálicas; Régua de aço biselada com comprimento de 30cm. Utilizou-se o paquímetro para as medições; Espátulas de lâmina flexível; Cilindro metálico (cilindro de Proctor) – contém o molde cilíndrico, sua base, cilindro, um colarinho e disco espaçador metálico; Soquete com massa de 2,5kg ou 4,5kg, possui um aparelho de controle de caimento, de 305 mm. Utilizado o soquete pequeno com as respectivas dimensões apresentadas; Proveta de vidro com capacidade de 1.000 cm³ e 500 cm³. Utilizou-se somente proveta de plástico com capacidade de 1000 ml; Desempenadeira de madeira com 13cm x 25cm; Extrator de corpo-de-prova; Conchas metálicas; Base rígida preferencialmente feita de concreto com massa superior a 100 kg. Utilizou-se base de madeira; Papel filtro com diâmetro igual ao do molde empregado; Extensômetro com curso mínimo de 10mm, graduado em 0,01mm; prensa normatizada a uma velocidade constante de 12,7 mm/min; Tanque que permite a imersão do corpo-de-prova;

O ensaio segue o que prevê em norma (ABNT NBR 7182) para a execução do ensaio sem reaproveitamento de material (solo), sobre amostra preparada com secagem previa até a umidade higroscópica.

Os cilindros utilizados para a execução do ensaio, foram os da empresa Betusolos Geotecnia e Consultoria, possuindo todas as suas medidas

referentes ao peso do molde, diâmetro, altura e volume (contando o espaço já ocupado pelo disco espaçador), já gabaritadas de acordo com a Figura 11:

Figura 11 – Volumes e Massas de Molde de acordo com o seus respectivos Cilindros.

N	PESO	DIÂMETRO	TABELA DE CILINDROS		VOLUME
			ÁREA DE PL	ALTURA	
4420	15,20	3,1416	10,25	18,10	
4228	15,15	3,1416	11,33	20,0	
3834	15,22	3,1416	11,31	20,8	
4852	15,26	3,1416	11,35	20,8	
5176	15,15	3,1416	11,35	20,8	
4200	15,16	3,1416	11,35	20,8	
3528	15,32	3,1416	11,44	20,8	
4006	15,26	3,1416	11,44	20,8	
4084	15,18	3,1416	11,3	20,47	
4970	15,36	3,1416	11,12	20,61	

Fonte: Autor (2020).

Em seguida divide-se a amostra em cinco porções definidas dentro do cilindro, para concordar com os valores tabelados da NBR 6457 (Tabela 1), referente à energia de compactação que prevê as cinco camadas de compactação para o cilindro grande, a um número de 12 golpes e uma altura do disco espaçador igual a 63,5mm. A montagem das camadas foram realizadas em cima de papel filtro alocado no fundo do cilindro.

Tabela 1 – Energias de Compactação.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete	Grande	Grande	Grande
	Número de camadas	5	5	5
	Número de golpes por camada	12	26	55
	Altura do disco espaçador (mm)	63,5	63,5	63,5

Fonte: NBR 7182 (1986).

Os golpes com o soquete foram aplicados perpendicularmente sobre cada camada com movimentos de círculo, e movimento de cruz para cada círculo de soquete finalizado. A compactação de cada camada foi procedida de ligeira escarificação conforme preconizado na norma.

Figura 12 – Compactação da Primeira e última Camada com o Soquete.



Fonte: Autor Próprio (2020).

Na última camada, retira-se o cilindro complementar para rasar o material com a ajuda de uma régua. Retira-se o molde cilíndrico da base e pesa-se o conjunto na balança. Por subtração do peso do cilindro vazio, obtém-se o peso úmido do solo compactado.

Através do cálculo de umidade do solo obtida pelas cápsulas retiradas da estufa, estima-se seu peso específico e determina-se os pontos necessários para traçar a curva de compactação a respeito de cada cilindro.

Posteriormente aos métodos realizados anteriormente, retira-se o disco espaçador, inverte-se o cilindro e coloca-se um prato perfurado com uma haste de expansão, sobre ele dois pesos anelares, que totalizam uma massa de 2,0kg. Adapta-se na haste de expansão a haste do extensômetro e ajusta-se a leitura inicial, correspondente à 0,00mm – ponteiro maior no zero e ponteiro menor no 1.

Em seguida imergir-se o corpo de prova no tanque e efetua-se as leituras a cada 24h, por um período de 4 dias. Obtendo-se assim a leitura e expansão do solo confinado lateralmente.

Figura 13 – CP em Imersão.



Fonte: Autor Próprio (2020).

A norma preconiza que após o período de embebição, deve-se retirar o CP da imersão e deixar escoar a água por 15 minutos antes de prosseguir para a penetração pela prensa especificada e normatizada.

Coloca-se o conjunto na prensa e procede-se ao assentamento do pistão de penetração no solo. As leituras realizadas no extensômetro do anel dinamométrico medem encurtamentos diametrais provenientes da atuação das cargas, e, portanto, obtém-se a correspondência entre as leituras efetuadas e as cargas atuantes. Traça-se a curva pressão x deformação e calcula-se o ISC percentual para as pressões padrão. O Intervalo Penetração (mm) x Tempo (min) pode ser observado na ao lado direito da Figura 14:

Figura 14 – Ajuste do Cilindro para o Ensaio de Penetração e Penetração (mm) x Tempo (min).



Fonte: Autor Próprio (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em função da perda de material ocasionado de maneira desconhecida dentro do laboratório de Hidráulica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, alguns resultados não puderam ser definidos da maneira desejada, sendo necessária a diminuição das análises completas dos pontos analisados. Tal atitude não infringiu nenhuma das normas apresentadas ao decorrer do artigo, e podem ser consultadas nos tópicos a seguir.

4.1 Teor de Umidade

Em função da perda de material ocasionado de maneira desconhecida dentro do laboratório de Hidráulica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, alguns resultados não puderam ser definidos da maneira desejada, sendo necessária a diminuição das análises completas dos pontos analisados. Tal atitude não infringiu nenhuma das normas apresentadas ao decorrer do artigo, e podem ser consultadas nos tópicos a seguir. Após toda a realização de preparo da Amostra descrita na Metodologia, é possível efetuar os cálculos de acordo com a norma para previsto para o Teor de Umidade:

$$h(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_f - T_{ara}} \times 100 \quad (1)$$

em que h é o percentual de teor de umidade, M_i a massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em gramas (g), T_{ara} a massa do solo úmido mais a massa do recipiente, em gramas (g) e M_f a massa do solo seco mais a massa do recipiente, em gramas (g).

Tabela 2 – Dados para cálculo do Teor de Umidade (%)

Teor de Umidade – Ponto 01		
Cápsulas	19	03
Mi (g)	39,24	39,70
Tara (g)	14,10	12,25
Mf (g)	38,14	38,35
h (%)	4,58	5,17
Teor de Umidade – Ponto 03		
Cápsulas	7	23
Mi (g)	36,85	36,36
Tara (g)	12	12,38
Mf (g)	35,85	35,30
h (%)	4,19	4,65
Teor de Umidade – Ponto 06		
Cápsulas	01	17
Mi (g)	32,80	33,21
Tara (g)	12,40	13,19
Mf (g)	31,87	32,24
h (%)	4,78	5,09

Fonte: Autor Próprio (2020).

A média do Teor de Umidade dos pontos apresentados acima são de 4,87%, 4,42% e 4,93% respectivamente. Em comparação com os limites para teor de umidade preconizados na ABNT NBR 6457 e por CAPUTO (1994), estes valores estão dentro dos limites de umidade ótima presumível.

4.2 Massa Específica

Em detrimento da perda de Material ocorrida ao longo do semestre passado, o ensaio de Massa Específica não pôde ser realizado. Entretanto, com a devida autorização do professor orientador Marcelo Tsuyoshi Haraguchi, foi possível utilizar os dados anteriormente captados do mesmo trecho que está sendo analisado neste artigo, durante um estudo do solo realizado no Local. Os resultados apresentados a seguir, são a média de cada Ponto de acordo com os resultados obtidos ao longo da análise do mesmo trecho analisado neste artigo:

Tabela 3 – Resultados para Ensaio de Massa Específica do Solo (g/cm³).

	Massa Específica
Ponto 01	1,18
Ponto 02	1,15
Ponto 03	0,93
Ponto 04	1,18
Ponto 05	1,04
Ponto 06	1,14

Fonte: Marcelo Tsuyoshi Haraguchi (2020).

Estes valores de massa específica do solo estão dentro do parâmetro especificado pela norma de 0,02 g/cm³ e dos valores previstos para solo argiloso (0,90 a 1,25 g/cm³). Pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e menor sua porosidade total, fator positivo quando parametrizado em relação à compactação na engenharia civil.

4.3 Limite de Liquidez

Através dos Valores obtidos após todo o processo de preparação da Amostra conforme a ABNT NBR 6457, foi possível obter os seguintes valores obtidos dos pontos 01, 03 e 06 de acordo com as Tabelas 4, 5 e 6:

Tabela 4 – Determinação do Limite de Liquidez do Ponto 1.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	22	33	57
C + S + A g	16,00	18,57	18,85
C + SOLO g	14,83	16,62	17,27
CÁPSULA g	11,52	11,20	12,76
ÁGUA g	1,17	1,95	1,58
SOLO g	3,31	5,42	4,51
UMIDADE %	35,3	38,0	35,0
GOLPES	18	23	31

Tabela 5 – Determinação do Limite de Liquidez do Ponto 2.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	47	83	73
C + S + A g	18,02	17,35	15,27
C + SOLO g	17,01	15,70	14,07
CÁPSULA g	12,64	11,11	10,86
ÁGUA g	1,81	1,85	1,20
SOLO g	4,37	4,59	3,21
UMIDADE %	36,8	35,9	37,4
GOLPES	15	20	27

Tabela 6 – Determinação do Limite de Liquidez do Ponto 3.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	94	23	32
C + S + A g	18,28	18,73	16,93
C + SOLO g	16,47	16,88	15,32
CÁPSULA g	11,56	11,62	10,85
ÁGUA g	1,81	1,85	1,61
SOLO g	4,91	5,26	4,47
UMIDADE %	36,9	35,2	36,0
GOLPES	25	26	24

Fonte: Autor Próprio (2020).

Através destes resultados, foi confeccionado o gráfico da reta de escoamento ($Y = ax + b$), para determinação do Limite de Liquidez da amostra de solo à 25 golpes exatos de cada ponto, a seguir nos Gráficos 1, 2 e 3:

Gráfico 1 – Ponto 01.

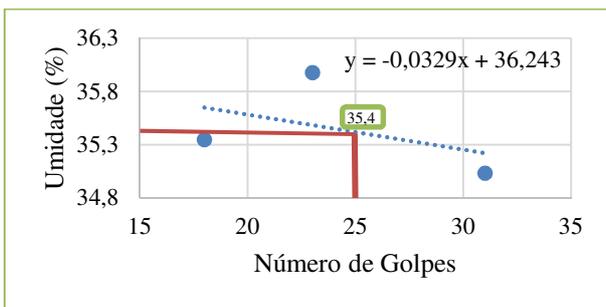


Gráfico 2 – Ponto 03.

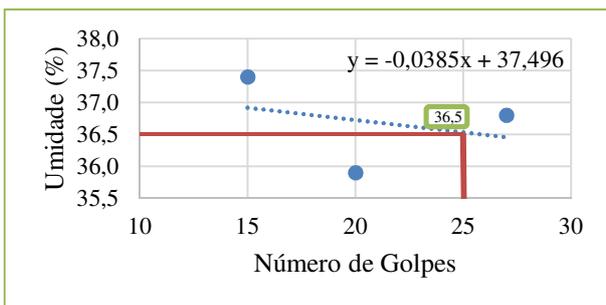
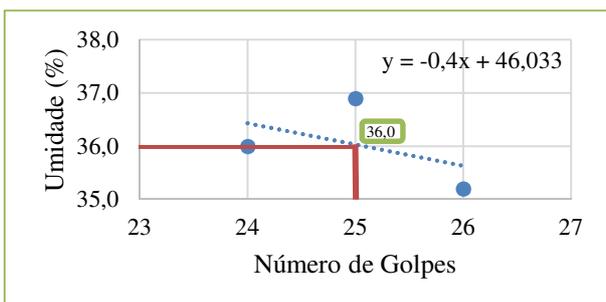


Gráfico 3 – Ponto 06.



Fonte: Autor Próprio (2020).

Através da representação gráfica, a umidade limite de liquidez, a partir da qual o solo tem comportamento líquido, é referente a $WL = 35\%$ para o solo argiloso de estudo do Ponto 01, $WL = 37\%$ para o solo do Ponto 03 e $WL = 36\%$ para o solo do Ponto 06. Estes valores representam a presença característica dos finos da argila, porém não de uma forma tão expressiva quando comparado com os resultados para solos argilosos. O solo do se mostrou, em resultado, bem próximo do solo tipo franco-argilo-arenoso.

4.4 Limite de Plasticidade

Seguindo os procedimentos normatizados pela ABNT NBR 7180/1984 de Determinação do Limite de Plasticidade, foi realizada a determinação do Limite de Plasticidade da amostra de solo em estudo, utilizando os dados apresentados nas seguintes Tabelas a seguir, referente aos Pontos 01, 03 e 06 respectivamente:

Tabela 7 – Determinação do Limite de Plasticidade do Ponto 1.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	85	7	122
C + S + A g	15,13	14,55	13,43
C + SOLO g	14,55	14,00	13,05
CÁPSULA g	12,82	12,09	11,56
ÁGUA g	0,58	0,55	0,38
SOLO g	1,73	1,91	1,49
UMIDADE %	33,5	28,8	25,5
GOLPES	Umidade Média (LP) = 29,28		

Tabela 8 – Determinação do Limite de Plasticidade do Ponto 3.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	53	30	130
C + S + A g	13,37	14,82	14,38
C + SOLO g	12,92	14,30	13,83
CÁPSULA g	11,35	12,57	12,00
ÁGUA g	0,45	0,52	0,55
SOLO g	1,57	1,73	1,83
UMIDADE %	28,7	30,1	30,1
GOLPES	Umidade Média (LP) = 29,59		

Tabela 9 – Determinação do Limite de Plasticidade do Ponto 6.

LIMITE DE LIQUIDEZ			
CÁPSULA Nº	42	145	109
C + S + A g	14,34	14,71	15,65
C + SOLO g	13,81	14,10	15,06
CÁPSULA g	12,09	12,19	13,11
ÁGUA g	0,53	0,61	0,59
SOLO g	1,72	1,91	1,95
UMIDADE %	30,8	31,9	30,3
GOLPES	Umidade Média (LP) = 31,00		

Fonte: Autor Próprio (2020).

Com os valores do Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) em mãos, é possível obter os valores do índice de Plasticidade de cada Ponto através da equação:

$$IP = LL - LP \quad (2)$$

Sendo assim, apresentando um Índice de Plasticidade (IP) de 6,12 para o Ponto 01, 6,91 para o Ponto 03 e 5,00 para o Ponto 06. Os solos de estudo podem ser classificados então, através do índice de plasticidade, como fracamente plástico por apresentarem índices de plasticidade entre um e sete ($7 \leq IP \leq 15$), de acordo com a classificação exprimida por CAPUTO (1988).

4.5 Granulometria e Classificação dos Solos

Para o peneiramento grosso, iniciou-se a análise pelo índice de umidade das cápsulas amostradas, conforme demonstrado na tabela 2, sendo o teor e umidade adotado o mesmo considerado para o experimento de determinação de umidade. Organizou-se os valores de massa total da amostra M_t em gramas, o teor de umidade adotado em porcentagem, e a massa total seca em gramas. Para as fórmulas apresentadas na tabela, conforme as tabelas 10, 11 e 12 a seguir:

Tabela 10 –Dados Sistematizados - Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 01.

AMOSTRA < No. 10	AMOSTRA TOTAL SÉCA (g):	528,43
RECIP. No.	AMOSTRA TOTAL ÚMIDA	538,65
	RÉTIDO PEN. N. 10 (g)	308,40
	PASSANDO PEN. N.10 ÚMIDA (g)	230,25
	PESO DA ÁGUA	4,37
	PASSANDO PEN. N.10 (g) SECA	225,88
	AMOSTRA TOTAL SECA	534,28
RETIDO No. 10	AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA	100,00
RECIP. No.	AMOSTRA MENOR N. 10 SECA	98,10

Tabela 11 –Dados Sistematizados - Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 03.

AMOSTRA < No. 10	AMOSTRA TOTAL SÉCA (g):	561,85
RECIP. No.	AMOSTRA TOTAL ÚMIDA	572,71
	RÉTIDO PEN. N. 10 (g)	237,93
	PASSANDO PEN. N.10 ÚMIDA (g)	334,78
	PESO DA ÁGUA	6,35
	PASSANDO PEN. N.10 (g) SECA	328,43
	AMOSTRA TOTAL SECA	566,36
RETIDO No. 10	AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA	100,00
RECIP. No.	AMOSTRA MENOR N. 10 SECA	98,10

Tabela 12 –Dados Sistematizados - Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 06.

AMOSTRA < No. 10	AMOSTRA TOTAL SÉCA (g):	491,46
RECIP. No.	AMOSTRA TOTAL ÚMIDA	500,96
	RÉTIDO PEN. N. 10 (g)	237,71
	PASSANDO PEN. N.10 ÚMIDA (g)	263,25
	PESO DA ÁGUA	4,99
	PASSANDO PEN. N.10 (g) SECA	258,26
	AMOSTRA TOTAL SECA	495,97
RETIDO No. 10	AMOSTRA MENOR N. 10 ÚMIDA	181,44
RECIP. No.	AMOSTRA MENOR N. 10 SECA	178,00

Fonte: Planilhas de Compactação Betusolos Geotecnia (2020).

Para os valores das Tabelas 13, 14 e 15:

Tabela 13 –Dados Sistematizados pertinentes ao Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 01.

PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO						
PENEIRAS POL	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm
3"	0,00		0,00	0,00	100,00	76,2
2"	0,00		0,00	0,00	100,00	50,8
1 1/2"	0,00		0,00	0,00	100,00	38,1
1"	0,00		0,00	0,00	100,00	25,4
3/4"	0,00		0,00	0,00	100,00	19,1
1/2"						12,7
3/8"	1,40		0,26	0,26	99,74	9,52
4	126,00	56,22	23,58	23,85	76,15	4,76
10	981,00	33,88	57,72		42,28	2,00
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO						
40	55,15	56,22	23,77	81,49	18,51	0,42
200	30,39	30,98	13,10	94,59	5,41	0,074
Fundo						

Tabela 14 –Dados Sistematizados pertinentes ao Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 03.

PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO						
PENEIRAS POL	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm
3"	0,00		0,00	0,00	100,00	76,2
2"	0,00		0,00	0,00	100,00	50,8
1 1/2"	0,00		0,00	0,00	100,00	38,1
1"	0,00		0,00	0,00	100,00	25,4
3/4"	0,00		0,00	0,00	100,00	19,1
1/2"						12,7
3/8"	0,00		0,00	0,00	100,00	9,52
4	788,20	27,84	27,84		72,16	4,76
10	179,73	31,63	59,47		40,53	2,00
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO						
40	56,93	58,03	23,52	82,99	17,01	0,42
200	36,20	36,90	14,96	97,95	2,05	0,074
Fundo						

Tabela 15 –Dados Sistematizados pertinentes ao Peneiramento Grosso e Fino – Ponto 06.

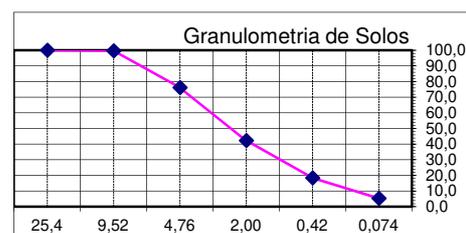
PENEIRAMENTO GROSSO MATERIAL RETIDO						
PENEIRAS POL	PESO g	% DA AMOSTRA MENOR No. 10	% AMOSTRA TOTAL	% ACUMULADA	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL	PENEIRAS mm
3"	0,00		0,00	0,00	100,00	76,2
2"	0,00		0,00	0,00	100,00	50,8
1 1/2"	0,00		0,00	0,00	100,00	38,1
1"	0,00		0,00	0,00	100,00	25,4
3/4"	0,00		0,00	0,00	100,00	19,1
1/2"						12,7
3/8"	81,00		16,24	16,24	83,76	9,52
4	123,93	24,85	41,10		58,90	4,76
10	172,97	34,63	75,73		24,21	2,00
PENEIRAMENTO FINO MATERIAL RETIDO						
40	40,58	41,36	10,02	85,80	14,20	0,42
200	32,89	33,53	8,12	93,92	6,08	0,074
Fundo						

Fonte: Planilhas de Compactação Betusolos Geotecnia (2020).

As Tabelas demonstram que o percentual passante na peneira de 75,1 mm foi de 100% em todas as amostras, ou seja, as amostras apresentaram partículas menores, representando um cascalho com presença de finos de diâmetro maiores que 9,52mm. Os resultados obtidos mostram que o percentual passante na peneira de 0,075mm foram bastante significativos.

Com todo os dados em mãos, traçou-se automaticamente a curva granulométrica do solo estudado conforme os Gráficos 4, 5 e 6 adiante:

Gráfico 4 – Distribuição Granulométrica – Ponto 01.



Fonte: Planilhas Betusolos Geotecnia (2020).

Gráfico 5 – Distribuição Granulométrica – Ponto 03.

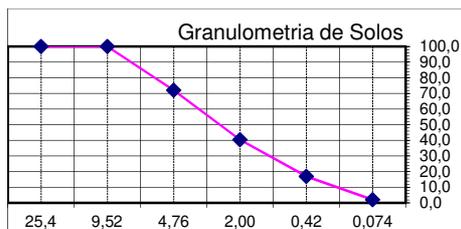
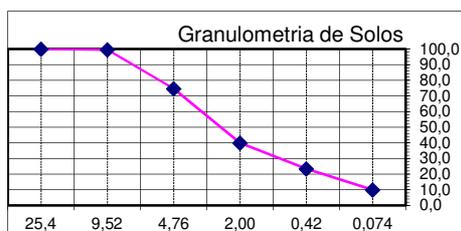


Gráfico 6 – Distribuição Granulométrica – Ponto 06.



Fonte: Planilhas Betusolos Geotecnia (2020).

Através dos Gráficos de Distribuição Granulométrica, podemos Observar no Ponto 01 uma Composição de 56% de Pedregulho, 32% de Areia e 12% de Silte + Argila. No Ponto 03, uma Composição de 58% de Pedregulho, 32% de Areia e 10% de Silte + Argila e no Ponto 06, uma Composição de 75% de Pedregulho, 15% de Areia e 10% de Silte + Argila.

Faz-se referência ao Índice de CNU, que representa o coeficiente de conformidade da amostra de solo, representado pela Eq. 2, com relação aos diâmetros correspondentes à 60% e 10% do material passante:

$$CNU = D_{60} \div D_{10} \quad (2)$$

E também ao CC, índice de curvatura dado pela Eq. 3:

$$CC = (D_{30})^2 \div (D_{10} \times D_{60}) \quad (3)$$

Apresentando os seguintes dados de acordo com a Tabela 16:

Tabela 16 – Dados para cálculo do Teor de Umidade (%)

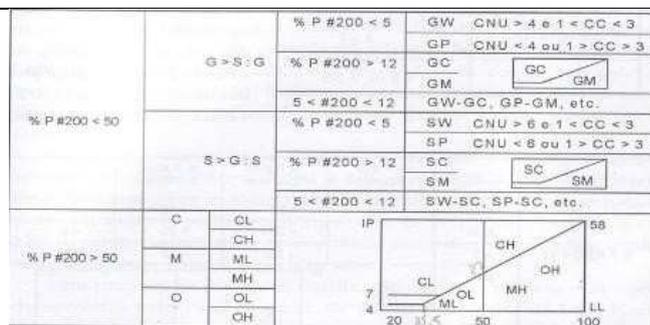
	Ponto 01	Ponto 03	Ponto 06
D60	3,20	3,50	3,4
D30	0,49	0,50	0,48
D10	0,09	0,10	0,075
CNU	35,6	35,0	45,3
CC	0,83	0,71	0,90

Fonte: próprio autor (2020).

Classifica-se então o solo de acordo com os parâmetros do SUCS e AASHTO.

Para o Sistema Unificado de Classificação dos Solos, SUCS, utilizou-se da Tabela 17 a seguir:

Tabela 17 – Carta de Plasticidade Para Solos Finos.



Fonte: Casagrande, 1930.

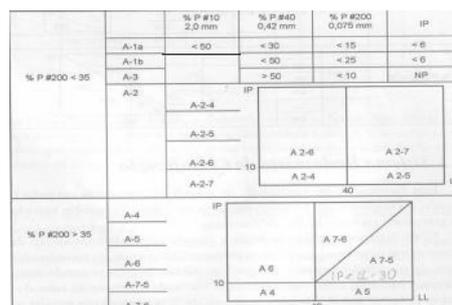
Com os dados em mãos, iniciou-se a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados foi o grupo procurado. Para a peneira de número 200, correspondente à 0,075 mm, o percentual passante em relação ao peneiramento fino foi menor que 10% em todas as amostras. Olhando para a tabela, coluna 1, classifica-se os solos em GROSSOS, por apresentarem percentual passante menor que 50%. Prosseguiu-se a análise para a segunda coluna, caminhando pela primeira linha. Analisou-se o intervalo de G, pedregulho, e S, areia no gráfico.

Para a peneira de número 200, correspondente à 0,075 mm, o percentual passante em relação ao peneiramento fino foi menor que 10% em todas as amostras. Olhando para a tabela, coluna 1, classifica-se os solos em GROSSOS, por apresentarem percentual passante menor que 50%. Prosseguiu-se a análise para a segunda coluna, caminhando pela primeira linha. Analisou-se o intervalo de G, pedregulho, e S, areia no gráfico. Como o Ponto 01 não satisfaz a condição de conter-se nos valores de $1 < CC < 3$ ao mesmo tempo que satisfaz a condição para $CNU > 4$, não há como o solo ser bem graduado ou classificado como GW. Já nos Pontos 03 e 06 temos um meio termo, com um Pedregulho bem graduado, Pedregulho Argiloso, ou mal graduado Siltoso, podendo ser GW-GC, GP-GM, etc.

Este tipo de solo geralmente recalca menos que o normal, se acomoda bem e apresenta adensamento majorado, garantindo a vida útil da construção.

Para o Sistema Rodoviário de Classificação (AASHTO), considerou-se a Tabela 18 a seguir:

Tabela 18 – Classificação AASHTO.



Fonte: Castro, 2019.

Assim como para a classificação por meio da tabela de classificação do SUCS, com os dados de laboratório, iniciou-se a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados foi o grupo procurado.

Para a peneira de número 200, correspondente à 0,075 mm, o percentual passante em relação ao peneiramento fino é menor que 30% em todas amostras. Analisando a primeira coluna, segue-se a primeira linha, por apresentar percentual passante de material de solo < 35%. Pulou-se a segunda coluna, e analisou-se o percentual referente à peneira de número 10, para 2,0 mm, referente à < 50%. Seguiu-se na primeira linha terceira coluna para a peneira de número 40, equivalente a 0,425mm, para um valor de < 30%. O percentual retido na peneira de número 200, referente à 0,075mm, para um valor de percentual passante igual a < 15%, portanto, possuindo um Índice de plasticidade $IP < 6$ em todos os Pontos.

É necessário identificar a família do tipo de solo através do análise da Tabela 19, referente à Classificação HRB:

Tabela 19 – Carta de Plasticidade Para Solos Finos.

Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando na #200)						Materiais Siltosos ou Argilosos (mais de 35% passando na #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7*	
Grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
% que passa												
# 10	50 máx.											
# 40	30 máx. 50 máx.	51 mín.										
# 200	15 máx. 25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.		
Limite de Liqueidez (%)				40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.	40 máx. 41 mín.		
Índice Plasticidade (%)	6 máx.	NP		10 máx. 10 máx.	11 mín. 11 mín.	11 mín. 11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín. 11 mín.	11 mín. 11 mín.		
Índice de Grupo	0	0		0	4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.		
Materiais que predominam	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltoosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos		
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom						Fraco a pobre					

Fonte: Casagrande, 1930.

Iniciou-se a classificação da esquerda para a direita, por eliminação. O primeiro grupo da esquerda que satisfazer os dados foi o grupo procurado. Sabe-se que os solos estão na faixa de excelente à bom, pois já foi comprovado que é um solo de material granular com menos de 35% passantes na peneira de 0,075mm. A classe a que estes solos pertencem é A-1-a, pois o fator limitante é o valor do passante para a peneira de número 40 como dentro do máximo estipulado referente a 30%. Utilizando-se dos dados apresentados pela UDESC, e adotando os mesmos valores apresentados em todas as amostras, temos que $a = 35$; $b = 15$; $c = 40$ e $d = 10$. O valor do índice de Grupo é igual a:

Calcula-se então, o Índice de Grupo (IG), pela equação da Figura 15:

Figura 15 – Índice de Grupo.

Índice de Grupo (IG): $IG = 0,2 \cdot a + 0,005 \cdot a \cdot c + 0,01 \cdot b \cdot d$

Onde:

p: teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200.

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35) a varia de 0 a 40 e 0,2. a varia de 0 a 8.

$b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15) b varia de 0 a 40 e 0,01. $b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40) c varia de 0 a 20 e 0,005. $a \cdot c$ varia de 0 a 4.

$d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10) d varia de 0 a 20 e 0,01. $b \cdot d$ varia de 0 a 8.

$IG_{máx} = 0$ $IG_{máx} = 20$

IG - o resultado final obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima.

Fonte: UDESC, 2019.

Utilizando-se dos dados apresentados pela UDESC, e adotando os mesmos valores apresentados em todas as amostras, temos que $a = 35$; $b = 15$; $c = 40$ e $d = 10$. O valor do índice de Grupo é igual a:

$$IG = 0,2 \times 35 + 0,005 \times 35 \times 40 + 0,01 \times 15 \times 10 = 15,2 \quad (4)$$

Arredondando o resultado para 16, temos os valores limitantes característicos de:

Figura 16 – Caracterização do Índice de Grupo.

Índice de Grupo IG	Caracterização
$0 < IG < 5$	Ótimo
$5 < IG < 10$	Bom
$10 < IG < 15$	Ruim
$15 < IG < 20$	Péssimo

Fonte: UDESC, 2019.

A caracterização apresentada pelo cálculo do Índice de Grupo, apresentou índice péssimo. Isso significa que o solo é ruim, e que mesmo compactado, continuará a possuir comportamento ruim. Portanto, para fins de pavimentação, o solo não é recomendado pois não terá resistência satisfatória exigida para o emprego do solo a este fim.

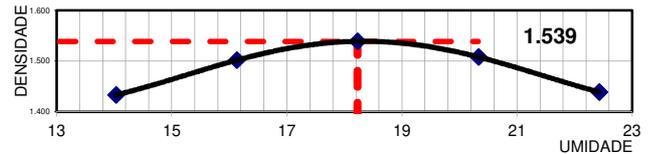
4.6 Compactação, Expansão e CBR

Para efetuar o gráfico da Curva de Compactação, é necessário determinar os cinco pontos da curva, correspondentes aos cinco cilindros analisados que possuem cada um uma umidade percentual, onde, possivelmente dois deles estarão na zona seca (ramo da esquerda da curva), um próximo à umidade ótima e os outros dois na zona úmida (ramo da direita da curva). Os valores obtidos nos ensaios de cada ponto, foram inseridos e estão representados nas células de cor amarela nas Tabelas 20, 21 e 22, sistematizada e disponibilizada para o seguinte ensaio através da Betusolos Geotecnia e Engenharia LTDA. O restante dos valores sem o preenchimento de cor da célula foram calculados automaticamente.

Tabela 20 – Dados do Ensaio de Compactação coletados durante o ensaio do Ponto 1

COMPACTAÇÃO					PESO MATERIAL		
ÁGUA ADICION. (g)	520	640	760	880	1000		
% ÁGUA ADICION.	8,7	10,7	12,7	14,7	16,7	6000	
UMIDADE ADICION. %	9,1	11,2	13,3	15,4	17,5	PESO MAT. SECO	
UMI. COMPACTAÇÃO %	14,0	16,1	18,2	20,3	22,4	5721	
Nº DO MOLDE	49	66	5	74	18	CILINDROS	
M + S + A (g)	8.085	8.095	8.525	8.490	8.065	Nº	PESO
M - MOLDE (g)	4.724	4.488	5.176	4.688	4.288	49	4724
S + A (g)	3.361	3.607	3.349	3.802	3.777	66	4488
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,617	1,720	1,807	1,818	1,823	5	5176
DENS. CONVERT. kg/m³	1,488	1,554	1,604	1,586	1,562	74	4688
DENS. SECA kg/m³	1,419	1,482	1,530	1,512	1,490	18	4288

Gráfico 9 – Ponto 06.



Fonte: Planilhas de Compactação Betusolos Geotecnia (2020).

Tabela 21 – Dados do Ensaio de Compactação coletados durante o ensaio do Ponto 3

COMPACTAÇÃO					PESO MATERIAL		
ÁGUA ADICION. (g)	520	640	760	880	1000		
% ÁGUA ADICION.	8,7	10,7	12,7	14,7	16,7	6000	
UMIDADE ADICION. %	9,0	11,1	13,2	15,3	17,4	PESO MAT. SECO	
UMI. COMPACTAÇÃO %	13,5	15,6	17,6	19,7	21,8	5746	
Nº DO MOLDE	36	13	40	3	27	CILINDROS	
M + S + A (g)	7.804	7.330	8.190	7.275	7.350	Nº	PESO
M - MOLDE (g)	4.776	4.026	4.734	3.834	4.146	36	4776
S + A (g)	3.028	3.304	3.456	3.441	3.204	13	4026
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,464	1,617	1,678	1,672	1,566	40	4734
DENS. CONVERT. kg/m³	1,347	1,461	1,490	1,458	1,342	3	3834
DENS. SECA kg/m³	1,290	1,399	1,427	1,396	1,285	27	4146

Todos os cilindros foram submetidos ao mesmo processo de energia (compactação por Proctor), porém justamente pela variação do teor de umidade, os valores de densidade seca são variáveis e é possível definir então, qual a umidade ótima para o solo, que resultará na densidade máxima a ser atingida pelo processo de compactação in situ.

Tabela 22 – Dados do Ensaio de Compactação coletados durante o ensaio do Ponto 1

COMPACTAÇÃO					PESO MATERIAL		
ÁGUA ADICION. (g)	520	640	760	880	1000		
% ÁGUA ADICION.	8,7	10,7	12,7	14,7	16,7	6000	
UMIDADE ADICION. %	9,1	11,2	13,3	15,4	17,5	PESO MAT. SECO	
UMI. COMPACTAÇÃO %	14,0	16,1	18,2	20,3	22,4	5718	
Nº DO MOLDE	27	11	63	43	17	CILINDROS	
M + S + A (g)	7.490	7.255	8.085	8.095	8.340	Nº	PESO
M - MOLDE (g)	4.146	3.598	4.284	4.362	4.700	27	4146
S + A (g)	3.344	3.657	3.801	3.733	3.640	11	3598
DENS. ÚMIDA kg/m³	1,634	1,744	1,820	1,815	1,762	63	4284
DENS. CONVERT. kg/m³	1,504	1,576	1,615	1,583	1,510	43	4362
DENS. SECA kg/m³	1,433	1,502	1,539	1,508	1,439	17	4700

Esse gráfico representa que a densidade máxima do solo estudado é de valor equivalente à 1,53 kg/cm³, para uma umidade ótima de 18,20% referente ao cilindro de número 5 do Ponto 01, densidade máxima do solo estudado de valor equivalente à 1,43 kg/cm³, para uma umidade ótima de 17,60% referente ao cilindro de número 40 do Ponto 03 e densidade máxima do solo estudado de valor equivalente à 1,54 kg/cm³, para uma umidade ótima de 18,20% referente ao cilindro de número 63 do Ponto 06. Estes valores são considerados ótimos pela definição do processo de compactação, que consiste na redução dos vazios do solo, aumentando a resistência do mesmo, quando submetido a um determinado teor de umidade.

Fonte: Planilhas de Compactação Betusolos Geotecnia (2020).

Estes valores de massa específica do solo estão dentro do parâmetro especificado pela norma de 0,02 g/cm³ e dos valores previstos para solo argiloso (0,90 a 1,25 g/cm³). Pode-se afirmar que, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e menor sua porosidade total, fator positivo quando parametrizado em relação à compactação na engenharia civil.

Com estes dados, o gráfico dos Pontos 01, 02 e 03 são, portanto, gerados, expressando a Curva de Compactação dos Solos estudados:

Gráfico 7 – Ponto 01.

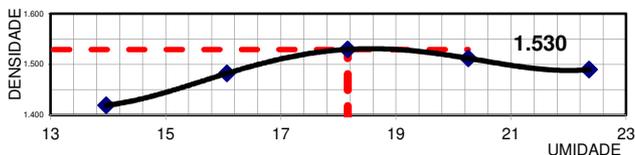
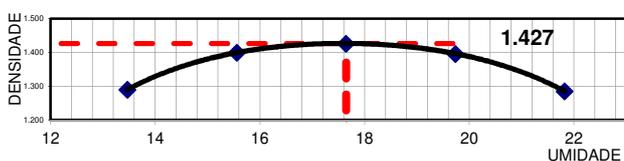


Gráfico 8 – Ponto 03.



Fonte: Planilhas de Compactação Betusolos Geotecnia (2020).

Para o processo de compactação é importante trabalhar-se nestes dados de margem ótimos, pois além de garantir eficiência na aplicação de energia durante o processo e consequentemente reduzir custos, garante que o solo estará resistindo aos esforços que nele serão considerados em termos de construção civil, como por exemplo, evita que o solo recalque mais que o previsto pelos coeficientes de segurança normativos.

Para as leituras de expansão, conforme a norma preconiza, foram observados a cada 24 horas os cilindros, para a anotação dos dados de expansão. Foram analisados somente 3 cilindros de cada ponto neste ensaio, correspondentes à água adicionada de 10,7%, 12,7% e 14,7%, que irão compor as Tabelas a seguir, para determinação do percentual de expansão do solo estudado dos Pontos 01, 03 e 06:

Tabela 23 – Valores do Ensaio de Expansão do Ponto 01.

ENSAIO DE EXPANSÃO							
Altura:	115,2	Molde n°:	66	Molde n°:	5	Molde n°:	74
Data	Horas	Leitura (mm)	%	Leitura (mm)	%	Leitura	%
27/10/2020	0	1,00		1,00		1,00	
28/10/2020	24	1,02		1,05		1,01	
29/10/2020	48	1,05		1,09		1,02	
30/10/2020	72	1,08	0,07	1,10	0,09	1,03	0,03

Fonte: Autor Próprio (2020).

Tabela 24 – Valores do Ensaio de Expansão do Ponto 03.

ENSAIO DE EXPANSÃO							
Altura:	115,2	Molde n°:	13	Molde n°:	40	Molde n°:	3
Data	Horas	Leitura (mm)	%	Leitura (mm)	%	Leitura	%
17/11/2020	0	1,00		1,00		1,00	
18/11/2020	24	1,03		1,08		1,00	
19/11/2020	48	1,09		1,10		1,03	
20/11/2020	72	1,10	0,09	1,12	0,10	1,05	0,04

Tabela 25 – Valores do Ensaio de Expansão do Ponto 06.

ENSAIO DE EXPANSÃO							
Altura:	115,2	Molde n°:	11	Molde n°:	63	Molde n°:	43
Data	Horas	Leitura (mm)	%	Leitura (mm)	%	Leitura	%
24/11/2020	0	1,00		1,00		1,00	
25/11/2020	24	1,03		1,06		1,00	
26/11/2020	48	1,06		1,08		1,01	
27/11/2020	72	1,08	0,07	1,10	0,09	1,02	0,02

Fonte: Autor Próprio (2020).

Onde o percentual de expansão é encontrado através da equação presente na norma ABNT NBR 9895 referente à expansão através da Eq. 3:

$$\text{Expansão} = \frac{\Delta h}{h} \quad (5)$$

Para Δh como sendo a variação da altura do material após a expansão, e h a média das alturas do cilindro medidas pelo paquímetro.

Apresenta-se o também os gráficos para as curvas de expansão:

Gráfico 10 – Curva Expansão x Intervalo de Tempo — Ponto 01.

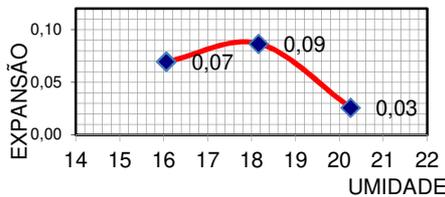


Gráfico 11 – Curva Expansão x Intervalo de Tempo — Ponto 03.

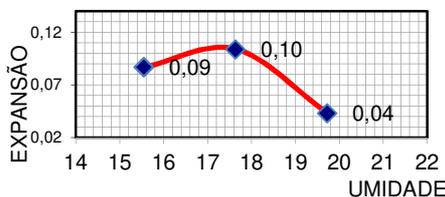
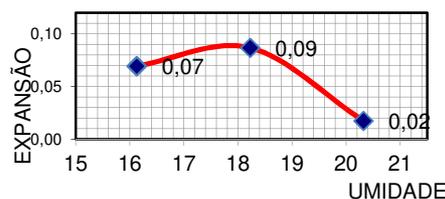


Gráfico 12 – Curva Expansão x Intervalo de Tempo — Ponto 06.



Fonte: Planilhas Betusolos Geotecnia (2020).

O solo analisado é considerado expansível, porém com um percentual bem pequeno de expansão. Para Silva (2012), uma amostra para ser considerada expressiva sua expansão deve ser referente a um valor de 27,5%.

Para a determinação do CBR ou como é conhecido no Brasil, ISC (Índice de Suporte Califórnia), foi efetuada as leituras previstas na prensa da penetração em mm e da leitura do extensômetro também em mm, como indicadas no Quadro 2 da norma, e demonstradas nas Tabelas 26, 27 e 28 deste artigo, utilizando para o ensaio os cilindros de 12,7 por cento de umidade adicionada.

Tabela 26 – Leitura na Prensa para Determinação do ISC do Ponto 1.

Molde n° 5						
Pene (mm)	Tempo (min)	Leitura Extens (mm)	Press Kg/Cm²	Press Padr Kg/Cm²	ISC %	
0,63	0,5	11	1,41			
1,27	1,0	24	2,82			
1,90	1,5	34	3,90			
2,54	2,0	43	4,87	70,31	6,93	
3,81	3,0	56	6,28			
5,08	4,0	64	7,14	105,46	6,77	
6,35	5,0	69	7,69			
7,62	6,0	71	7,90			

Tabela 27 – Leitura na Prensa para Determinação do ISC do Ponto 3.

Molde n° 40						
Pene (mm)	Tempo (min)	Leitura Extens (mm)	Press Kg/Cm²	Press Padr Kg/Cm²	ISC %	
0,63	0,5	24	2,82			
1,27	1,0	28	3,25			
1,90	1,5	32	3,68			
2,54	2,0	34	3,90	70,31	5,55	
3,81	3,0	40	4,55			
5,08	4,0	52	5,85	105,46	5,54	
6,35	5,0	58	6,50			
7,62	6,0	65	7,25			

Fonte: Planilhas Betusolos Geotecnia (2020).

Tabela 28 – Leitura na Prensa para Determinação do ISC do Ponto 6.

Molde n° 63						
Pene (mm)	Tempo (min)	Leitura Extens (mm)	Press Kg/Cm²	Press Padr Kg/Cm²	ISC %	
0,63	0,5	6	0,87			
1,27	1,0	20	2,38			
1,90	1,5	30	3,47			
2,54	2,0	37	4,22	70,31	6,01	
3,81	3,0	47	5,31			
5,08	4,0	52	5,85	105,46	5,54	
6,35	5,0	55	6,17			
7,62	6,0	62	6,93			

Fonte: Planilhas Betusolos Geotecnia (2020).

Para os valores de Pressão em Newtons, foi utilizado a Eq. 6 a seguir:

$$\text{Press} = 0,3282 \times \text{Leitura do Extensômetro (mm)} \quad (6)$$

Utilizou-se da fórmula preconizada pela norma ABNT DNIT 172/2016 e utilizou-se da mesma norma para o cálculo do Índice de Suporte Califórnia de acordo com as pressões padrões de 70,31 kg/cm² e 105,46 kg/cm²,

para as respectivas penetrações de 2,54mm e 5,08mm. Para a Eq. 7 referente ao cálculo do percentual de ISC:

$$ISC (\%) = \frac{\text{Pressão Calculada ou Corrigida}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100 \quad (7)$$

Para os solos estudados de classificação granulométrica referentes à GP (Cascalho mal graduado), GW (Pedregulho bem graduado) e GC (Pedregulho Argiloso) determinada pelo SUCS, segue a Tabela 29 do DNIT apresentando a seguir os prováveis valores de CBR:

Tabela 29 –Valores Prováveis de CBR para os Grupos de SUCS.

Solos	CBR
GW	40 a mais de 80
GP	30 a mais de 60
GM	20 a mais de 60
GC e SW	20 a 40
SP e SM	10 a 40
SC	5 a 20
ML, CL, CH	15 a menos de 2
MH	10 a menos de 2
OL, OH	5 a menos de 2

Fonte: DNIT (2006).

Nos ensaios realizados, os solos apresentaram um índice de CBR inferior ao indicado pelo DNIT. Isso significa que os solos não são satisfatórios para fins de pavimentação, sendo que para este, o solo empregado deve apresentar um índice percentual maior a fim de prover a resistência necessária a este fim.

5 CONCLUSÕES

Em relação ao teor de umidade esperado para solos secos ao ar, a norma prevê uma variação em torno de 3% e 5% da umidade ótima presumível. A média do Teor de Umidade dos pontos apresentados neste artigo são de 4,9%, 4,4% e 4,9% respectivamente, exprimindo o resultado com aproximação de 0,1%.

A análise dos resultados encontrados para determinação da massa específica, levou a conclusão de serem favoráveis em relação ao que se apresenta segundo a NBR 6508, cumprindo as instruções preconizadas pela norma de acordo com concordância de resultados.

A umidade limite de liquidez (LL), a partir da qual o solo tem comportamento líquido, é referente a 35% para o solo presente no Ponto 01, 37% para o solo presente no Ponto 03 e 36% para o solo presente no Ponto 06. Através dos cálculos normatizados, os valores para o Índice e o Limite de Plasticidade do solo dos Pontos 01, 03 e 06 estudados neste artigo de caracterização são, 29,28%, 29,59% e 31,0%, respectivamente.

O solo foi classificado como GP, ou Pedregulho Mal Graduado no Ponto 03, e GW ou Pedregulho bem graduado/GC ou Pedregulho Argiloso nos Pontos 01 e

06 de acordo com o SUCS, referentes à família A-1-a, através da classificação da AASHTO, com Índice de grupo considerado Péssimo para emprego em leito e subleito de rodovias.

Por meio do ensaio de Compactação Proctor Normal, obteve-se uma curva de compactação do solo, indicando uma Densidade máxima de 1,53 kg/cm³, para uma umidade ótima de 18,20% no Ponto 01, densidade máxima de 1,43 kg/cm³, para uma umidade ótima de 17,60% no Ponto 03 e densidade máxima de 1,54 kg/cm³, para uma umidade ótima de 18,20% no Ponto 06.

Para o ensaio de expansão de um solo saturado confinado lateralmente após 72 horas, obteve-se uma expansão percentual de 0,09% nos Pontos 01 e 06, e 0,10% no Ponto 03. Em seguida foram realizadas leituras no intervalo de tempo de cada penetração, dos Pontos 01, 03 e 06, para índices de CBR 6,93%; 5,55% e 6,01%, respectivamente, para as pressões padrão preconizadas.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Maria Elizabeth Dias Pereira e Laurindo José Rosa Pereira, por terem auxiliado nesta jornada da qual nunca serei grato o suficiente por todo o apoio prestado em um dos momentos mais importantes de minha vida. Gostaria de agradecer a todos os meus amigos que prestaram palavras de solidariedade e autoconfiança em situações das quais eu jamais esquecerei. Meus agradecimentos a Janaina Moreira Mendes, por ser minha parceira de Iniciação Científica e ter colaborado de maneira primordial para o desenvolvimento desta pesquisa. À Moaby Alves Carvalho e Diogo Nunes Barbosa, por terem oferecido de bom grado a utilização do laboratório da empresa Betusolos Geotecnia e Consultoria LTDA para realização dos ensaios e a oportunidade de trabalhar em um lugar esplêndido, e ao Professor orientador Marcelo Tsuyoshi Haraguchi pela apresentação do tema desde a Iniciação Científica, e que se estendeu até ao desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, J. C. S. de. Estudo e verificação de patologias em estradas não pavimentadas e suas soluções/ João Carlos Silva – Rio de Janeiro. 59 folhas. Projeto (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5734: Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico. Dezembro, 1989.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457-Versão Corrigida: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Março, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459 - Versão Corrigida 2017: Solo - Determinação do limite de liquidez. Dezembro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm - Determinação da Massa Específica. Outubro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade. Dezembro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. ABNT. Rio de Janeiro, p. 9. 2016.
- BRAGA, F. L. N.; GUIMARÃES, G. R.; Avaliação De Rodovias Não Pavimentadas: Uma Ferramenta Para O Gerenciamento De Malhas Viárias. Revista Pensar: Engenharia, Belo Horizonte – MG, v. 2, n. 1, jan. 2014.
- BRITO, K. N. N.; JUNIOR, L. F. da M.; SANTO, L. C. et al. Características dos Solos Goianos. Mato Grosso: Universidade do Estado do Mato Grosso, 2014. Disponível em: <
<http://files.euriconeto2.webnode.com/200000070-9b75f9c6f5/GO.pdf>>. Acesso em: 25 de abr. 2020.
- Caputo, H. P. (1988). Mecânica dos Solos (6ª ed., Vol. 1). Rio de Janeiro: LTC.
- DE ALMEIDA, G. C. (2005). Caracterização Física e Classificação dos Solos.
- FUREGATTI, S. A. Avaliação da variabilidade das características geotécnicas relacionadas aos processos erosivos com ensaios IN SITU. 467 folhas. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola de engenharia de São Carlos, 2012.
- IPR, I. D. P. R.-. DNIT 160 - Solos – Determinação da expansibilidade – Método de ensaio. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Rio de Janeiro, p. 7. 2012.
- Latossolos vermelhos, 8 de jan. de 2013. Disponível em: <
http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjaywi02wx5ok0q43a0r9rz3uhk.html>. Acesso em: 30 de abr. de 2020.
- Mapeamento de Solos (1:250.000), 31 de jan. de 2018. Disponível em: <
<http://www2.sieg.go.gov.br/post/ver/226836/mapeamento-desolos-1:250.000>>. Acesso em: 25 de abr. de 2020.
- Ortigão, J. A. (2007). Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos (3ª ed.). Rio de Janeiro: Terratek.
- Reinert, D. J., & Reichert, J. M. (2016). Propriedades Físicas do Solo. Santa Maria.
- Santos, J. A. (Fevereiro de 2008). Obras Geotécnicas - Compactação (Elementos Teóricos). Fonte: IST - Instituto Superior Técnico: http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf
- Suporte Sondagens e Investigações . (11 de Janeiro de 2017). CBR ou ISC - Ensaio Geotécnicos - O Ensaio mais utilizado pelo Engenheiro de Pavimento. Fonte: Suporte Sondagens e Investigações: <http://www.suportesolos.com.br/blog/cbr-ou-isc-ensaios-geotcnicos-oensaio-mais-utilizado-pelo-engenheiro-de-pavimento/32/>
- Suporte Sondagens e Investigação. (20 de Agosto de 2018). Análise Granulométrica do Solo - Ensaio Geotécnicos - A Curva e os Tipos de Análise. Fonte: Suporte Sondagens e Investigações: <http://www.suportesolos.com.br/blog/anlise-granulomtrica-do-soloensaios-geotcnicos-a-curva-e-os-tipos-de-anlise/72/>
- Suspension. (2005). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 297 a 300.
- TEIXEIRA, C. F. Análise dos Recalques de um Aterro Sobre Solos Muito Moles da Barra da Tijuca – RJ. 326 folhas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2012.
- UDESC.(2019).Fonte:[http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao__rodo viaria__hrb.pdf](http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao__rodo%20viaria__hrb.pdf)