

Procedimentos Básicos de Sondagens e Ensaios para projetos



GEOPAVING
ENGENHARIA

**A TEORIA
VIVIDA NA PRÁTICA!**

E-book para alunos e profissionais da Engenharia Civil



Quem Sou?

Olá! Eu quero te dar boas vindas ao nosso E-book sobre Procedimentos Básicos para Sondagens e Ensaios para Projetos de Pavimentação. Vou me apresentar, meu nome é Leandro Moraes, sócio-fundador da Geopaving Engenharia. Graduado pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo, especialista em pavimentação.

Atuo com ensaios laboratoriais de solos, misturas asfálticas e concreto há 19 anos.

Comecei minha trajetória profissional como laboratorista executando ensaios de pavimentação, geotecnia e concreto. Como Gerente de laboratório, contribuí com projetos e controle tecnológico de obras como PE40A (Ligação Peru-Bolívia), BR-116 (Vitória da Conquista - BA), SP-255 (Avaré - SP), SP-147 (Bofete - SP), Aeroportos de Recife, João Pessoa e Campina Grande, Hidroelétrica Eletroprimavera (Pimenta Bueno - RO), além de dezenas de vias urbanas e edificações na cidade de São Paulo.

Ao longo desses anos, notei que grande parte dos engenheiros e profissionais de engenharia desconhecem a importância das sondagens e ensaios geotécnicos e também as aplicações práticas que influenciam diretamente nas técnicas construtivas.

Nessa perspectiva, criei esse e-book para você, que quer difundir e ampliar o conhecimento prático da mecânica dos solos e ter um papel de destaque na sua vida profissional.

Vem comigo nessa leitura!

O QUE VOCÊ VAI APRENDER COM ESSE E-BOOK?

O que é projeto?

Serviços necessários para projetos de dimensionamento de pavimento.

Definição dos solos

Origem e constituição

Sondagem a trado

Cava de pavimento

Compactação

CBR

Análise granulométrica

Limites de consistência

Classificação MCT - Pastilhas

INTRODUÇÃO

O que é projeto?

Projeto conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar a obra ou serviço, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento, e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução.

Você conhece os serviços e ensaios necessários para um projeto de dimensionamento de pavimento?

Todo projeto necessita de estudos preliminares e um bom projeto de dimensionamento de pavimento, necessita de dados precisos e confiáveis para obter a melhor alternativa técnica e econômica.

Esses dados são divididos em 2 fases: a primeira é a fase de investigação em campo, que é feita através das sondagens a trado e aberturas de cavas no pavimento.

A a segunda, é a fase de análises dos solos, onde as amostras coletadas são levadas para um laboratório especializado e então, realiza-se um conjunto de ensaios geotécnicos para determinar as características físicas e mecânicas dos materiais e com isso, definir a melhor opção, com o melhor custo benefício.

Antes de falarmos dos procedimentos, vamos entender o conceito e a origem dos solos.

Definição dos solos

A definição de solo segundo o dicionário é a superfície da crosta terrestre onde pisamos; chão; terra. Contudo, em Mecânica dos solos não há uma definição clara e intuitiva. Do ponto de vista da engenharia, solo pode ser considerado todo material que pode ser escavado manualmente com emprego de pá, picareta, ou outros equipamentos, sem a necessidade de explosivos.

O que você precisa saber é que o solo basicamente é formado por 3 fases: sólida (minerais), líquida (umidade presente) e gasosa (ar em seus poros). Sendo assim, a análise do comportamento mecânico dos solos deve levar em consideração a interação das partículas sólidas, água e ar, tendo em vista que as duas últimas são complementares, a máxima presença de uma implica na ausência da outra.

A presença de água nos solos pode ocorrer de 4 maneiras. São elas: Água de constituição, água higroscópica, água capilar e/ou água gravitacional.

Origem e constituição

Todo solo tem origem na decomposição das rochas pela ação das intempéries. O processo físico-químico normal de decomposição de rochas é contração e expansão térmica das rochas sãs que leva ao fraturamento mecânico, e que pode ser associado à penetração de água pelas fissuras ou forças expansivas de minerais constituintes na rocha. Esses fatores isolados ou em conjuntos levam à decomposição física das rochas resultando na redução das suas dimensões em matacões, britas, pedregulhos, areias, siltes e argilas.

Um exemplo é o granito que é uma rocha formada por feldspato, mica e quartzo, que fratura sob alternância de calor e chuva e começa a sofrer ataques químicos pela água acidulada. Com isso, o quartzo após decomposição dará origem à areias e pedregulhos e o feldspato às argilas.

Outro exemplo é a decomposição da rocha basalto que após à ação química dá origem predominantemente ao argilomineral. Não apareceria nesse solo a fração areia, pois basalto não contém quartzo.

Os solos podem ser classificados em saprolítico e laterítico. Saprolítico é o solo residual jovem que preserva a estrutura herdada; e laterítico, solos que com ação das intempéries apresentam óxidos hidratados de ferro ou alumínio.

A análise da cor dos solos pode ser um instrumento auxiliar em sua classificação genética. Os solos lateríticos apresentam coloração vermelha a amarela e, solos transportados ou alteração de rocha apresentam-se cinzentos, amarelados e róseos.

SONDAGEM A TRADO



Sondagem a trado é um método de investigação geotécnica que possibilita a identificação das camadas do solo, determinação do lençol freático (quando existente) e coleta de amostras para ensaios em laboratório.

É fundamental para projetos de pavimentação. Coleta-se amostras deformadas do subleito com profundidade de até 1.50 m para determinação da compactação e caracterização do solo.

Você conhece o procedimento de sondagem a trado?

É um procedimento muito simples e consiste na escavação para coleta de amostras a cada metro perfurado ou sempre que houver variação de material. Pode ser realizada com trado manual (concha ou cavadeira), ou então, mecânico.



A sondagem a trado possui algumas limitações, entre elas, a impossibilidade de perfurar abaixo do nível d'água ou utilizar em camadas com pedregulho. Um matacão de 10 cm é suficiente para paralisar a sondagem.

CAVA DE PAVIMENTO

Cava de pavimento é um método destrutivo de investigação das espessuras, das camadas e materiais utilizados na composição da infraestrutura. Os dados obtidos são preponderantes para análises de projetos de restauração do pavimento.



Esse método permite a realização de ensaios tecnológicos das amostras coletadas no pavimento, por exemplo, densidade aparente e umidade das camadas de base, sub-base e subleito e a correlação com os ensaios de compactação.





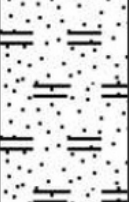
Você conhece o procedimento de sondagem a trado?



Para abertura de cavas utiliza-se equipamentos mecânicos para aberturas de poços de inspeção com diâmetro de 1,0 x 1,0 m e profundidade de até 1,50 m para identificação das camadas do pavimento existente, ao longo da via e na faixa de rolamento especificadas, assim como, para coleta de amostra do subleito.

Exemplo de perfil

Uma sondagem realizada pela equipe da Geopaving, apresentou os seguintes dados:

		Perfil Individual de Sondagem a Trado - NBR 9603:2015			
Cliente:					
Obra:					
Furo CV-12					
N.A (m)	Prof. (m)	Perfil Geológico	Descrição do Material	Cota (m)	Registro Fotográfico
	0,12		Revestimento asfáltico		
	0,24		BGS		
			Silte arenoso, róseo	1	
Seco	1,50				
				2	Informações complementares Cota: - Data: 24/01/2021 Coordenada (Norte): Coordenada (Este): Sondador: Leandro N.A Final: Seco Observações:
				3	

Como realizar a classificação táctil-visual dos solos?

Para identificação dos solos tendo como base o seu comportamento, existem alguns testes manuais e visuais que são simples e permitem distinguir os diferentes tipos de solos.

O Manual de Pavimentação do DNIT (2006) explica 5 testes.

1) Teste Visual

É o mais simples e intuitivo, consiste na observação da cor, forma, tamanho dos grãos e constituição mineralógica.

permite distinguir solos grossos (pedregulhos e areias) e solos finos (siltes e argilas).



2) Teste do tato

Resume-se em apertar e friccionar entre os dedos a amostra de solo.

Os solos macios indicam comportamento argiloso e os solos ásperos evidenciam comportamento arenoso

3) Teste do corte

Baseia-se em cortar uma amostra com uma lâmina fina e analisar a superfície do corte.

Os solos com superfície rugosa representam comportamento arenoso e superfície lisa denotam comportamento argiloso.



4) Teste da dilatância

Consiste em colocar na palma da mão uma pasta de solo e bater levemente uma das mãos contra a outra e observar o aparecimento de água na superfície da pasta e o posterior desaparecimento.

Os solos arenosos reagem prontamente ao teste e solos argilosos não reagem.

5) Teste de resistência seca

Tem como finalidade tentar desagregar, pressionando com o polegar, uma amostra seca de solo.

Se a resistência for elevada evidencia solos de comportamento argiloso e baixa resistência indicam solos de comportamento arenoso.



ENSAIO DE COMPACTAÇÃO



Para iniciar o ensaio de compactação, também conhecido como Proctor, devemos adicionar água com auxílio de uma proveta até a obtenção de umidade em torno de 5% da umidade ótima, conforme mostro na imagem ao lado.

Realizamos a compactação com emprego do soquete em cilindros de massa e volumes conhecidos, de acordo com a energia especificada, nivelamos a superfície do cilindro e pesamos o conjunto.



O teor de umidade do ponto compactado é determinada de uma porção de solo do centro do corpo de prova extraído.

Logo após, adicionar 2% de água.

Repetir o procedimento até completar 5 pontos para obtenção da curva de compactação.

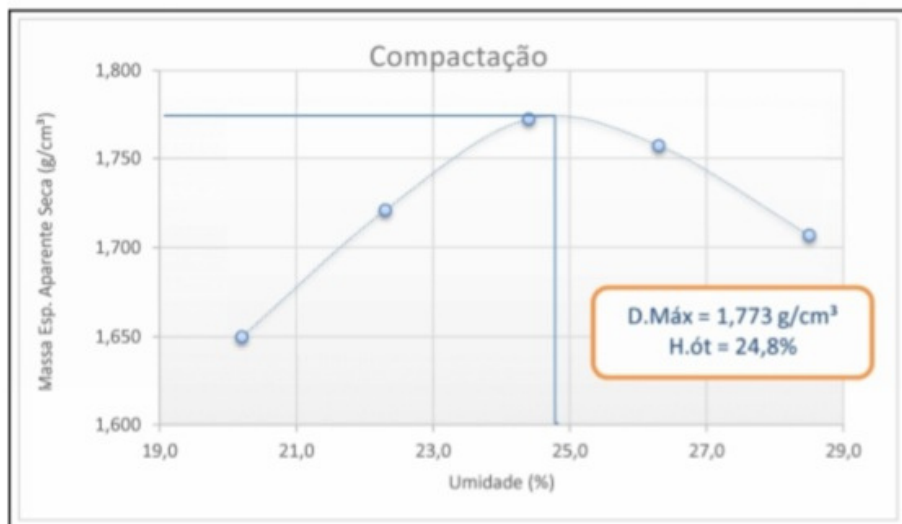
Você sabe para que serve o ensaio de compactação?

Utilizamos esses parâmetros geotécnicos para determinação do grau de compactação das camadas do aterro.

Exemplo prático

Um ensaio realizado no laboratório da Geopaving, apresentou os seguintes valores:

Compactação						
Ponto	Nº	1	2	3	4	5
Massa Esp. Ap. Seca	g/cm ³	1,650	1,721	1,772	1,757	1,707
Umidade						
Teor de Umidade	%	20,2	22,3	24,4	26,3	28,5



Com os valores calculados, plotamos no gráfico cartesiano, a Massa Específica Aparente Seca no eixo das ordenadas (Y) e umidade no eixo das abscissas (X).

Podemos observar que obtivemos o ponto 1 e 2 no ramo seco, onde ocorre uma desordem na distribuição das partículas do solo em virtude de não possuir água suficiente para lubrificação das partículas e permitir que a energia da compactação ordene a melhor distribuição. Isso ocorre no ponto 3 próximo a umidade ótima.

E por sua vez, os pontos 4 e 5 no ramo saturado, a excessiva umidade não permite o rearranjo das partículas, sendo que a água presente causa perda de coesão e atrito entre elas

O resultado final é o valor correspondente ao ponto máximo da massa específica aparente seca no gráfico e a umidade correspondente a esse ponto.

ENSAIO DE CBR



O ensaio de Índice de Suporte Califórnia, também conhecido como CBR (Califórnia Bearing Rácio) é um procedimento para obter a resistência ou capacidade de suporte de materiais de camadas de pavimento além de determinar a variação de volume do solo em contato com a água.

A imagem ao lado ilustra a equipe Geopaving compactando corpos de prova em cilindros de volumes conhecidos para determinação da resistência e expansão.

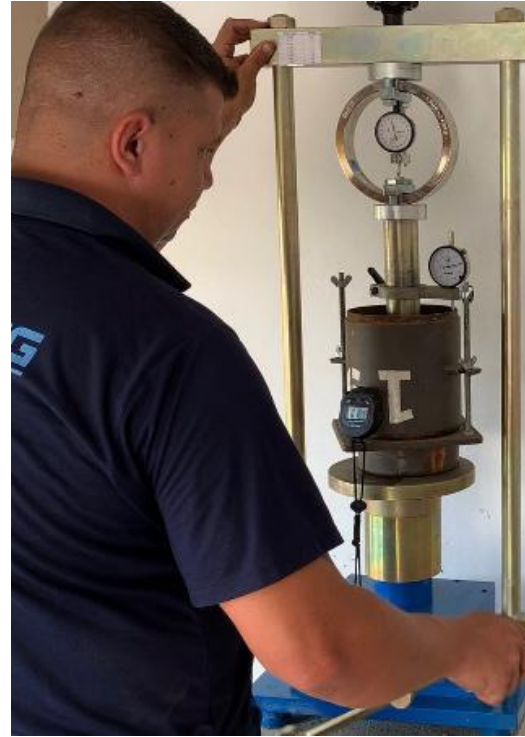
Os cilindros compactados são levados para tanques onde ficarão recobertos de água, acoplados por extensômetros a fim de medir a expansão do solo após 96h de imersão.



ROMPIMENTO DE CBR

O rompimento é realizado, medindo-se a pressão obtida nos corpos de prova compactados e correlacionando com a pressão produzida na mesma penetração de uma brita padronizada. Na imagem ao lado, eu mostro o rompimento do corpo de prova.

O CBR está para o solo o que a compressão está para o concreto. Mas apesar de ser uma medida de resistência, o resultado é expresso em porcentagem e não em MPa.



A velocidade de ruptura deve ser de 1,27 mm/minuto.

Curiosidade: 1kgf/cm³ equivale à 0,1 MPa.

Você sabe para que serve o ensaio de CBR?

Utilizamos esses parâmetros para verificação do potencial de ruptura do subleito, além de analisar o desempenho e dimensionar as estruturas do pavimento.

O dimensionamento de pavimento determina que para utilização como base, o CBR mínimo deve ser de 60%, para sub-base mínimo de 20% e para reforço, basta apenas ter resistência superior à do subleito.

Cálculo de CBR e Expansão

Vamos calcular os valores de CBR e Expansão através do exemplo prático abaixo:

Ruptura					Expansão			
Penetração		Tempo (min)	Leitura (µm)	Pressão (kg/cm²)	Data	Tempo	Leitura	Altura Inicial (mm)
pol.	cm							
0,025	0,064	0,5	17	1,71	17/05/2021	0 h	1,00	114,5
0,500	0,127	1	34	3,42	18/05/2021	96h	1,73	
0,075	0,191	1,5	52	5,13	19/05/2021	48 h	1,87	Expansão (%)
0,100	0,254	2	69	6,84	20/05/2021	72 h	1,92	
0,150	0,381	3	88	8,71	21/05/2021	96 h	1,95	0,83
0,200	0,508	4	107	10,58				
0,300	0,762	6	144	14,32				
0,400	1,016	8	182	18,06				
Penetração (Pol.)		CBR	CBR Final					
0,1		9,6	9,9					
0,2		9,9						

Resultados	
D.Máx:	1,610 g/cm³
H.Ótima:	22,2 %

Energia da Compactação			Secagem prévia:	
<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Intermediária	<input type="checkbox"/> Modificada	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não

Graficamente, plotamos os valores das pressões calculadas no eixo das ordenadas (Y) e tempo no eixo das abscissas (X). O ISC, é o maior valor encontrado, para as leituras de 1" e 2", com o tempo de 2 e 4 minutos respectivamente.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Pressão Calculada}}{\text{Pressão Padrão}} \times 100$$

E a variação de volume do solo em contato com a água é determinado após 96h de imersão através de leituras no relógio comparador.

$$\text{Expansão} = \frac{(\text{Leitura Final} - \text{Leitura Inicial})}{\text{Altura do Cilindro}} \times 100$$

Utilizamos esses dados para definir a viabilidade ou não, da utilização do solo para um determinado projeto de pavimentação ou terraplenagem.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

O solo é classificado em função dos critérios granulométricos, ou seja, recebem designações segundo as dimensões de suas partículas. Basicamente, os solos são formados por areias, siltes e argilas.

A análise granulométrica tem por finalidade a determinação das porcentagens, em massa, das frações constituintes do solo. O ensaio é realizado passando uma amostra do solo por um conjunto de peneiras de malhas quadradas e com dimensões padronizados, pesando-se as porções retidas em cada abertura e calculam-se as porcentagens passantes em cada peneira.



Qual diferença entre granulometria simples e por sedimentação?

A análise granulométrica simples permite apenas conhecer os materiais com diâmetros superiores à 0,075 mm e a granulometria por sedimentação permite obter as frações exatas de pedregulhos, areias, siltes e argilas.

O ensaio de sedimentação é baseado na Lei de Stokes que relaciona o tamanho das partículas com a velocidade com que ela sedimenta. Sendo assim, quanto maior a partícula (areia) mais rapidamente ela irá se depositar no fundo da proveta e quanto menor (argila) mais tempo ficará em suspensão.



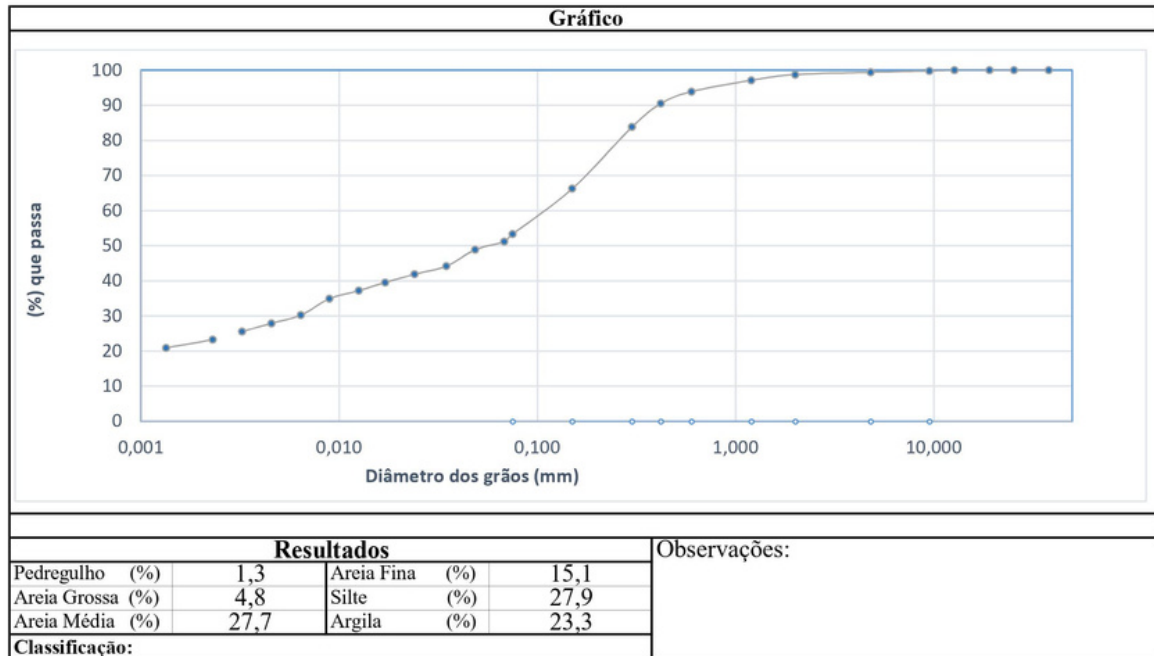
As leituras são realizadas com um densímetro de bulbo simétrico.

O intervalo de leituras é 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 min, 1, 2, 4, 8 e 24 h.



Exemplo Gráfico

Um ensaio realizado no laboratório da Geopaving, apresentou os seguintes valores:



Com os valores calculados, plotamos no gráfico semilogarítmico, a porcentagem passante no eixo das ordenadas (Y) e o diâmetro dos grãos no eixo das abscissas (X).

Em resumo, os solos são classificados conforme abaixo:

Pedregulho: Maior que 2,0 mm

Areia Grossa: Entre 2,0 mm e 0,6 mm

Areia Média: Entre 0,6 mm e 0,2 mm

Areia Fina: Entre 0,2 mm e 0,06 mm

Silte: Entre 0,06 mm e 0,02 mm

Argila: Menor que 0,02 mm

LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Os limites de consistência, também chamados de Limites de Atterberg são 2 ensaios complementares, o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade.



O Limite de Liquidez (LL), é um ensaio realizado utilizando um aparelho chamado Casagrande que é munido de uma concha, onde o solo é moldado e com o uso do cinzel, abre-se uma ranhura no solo.

Esse aparelho desenvolvido pelo cientista Artur Casagrande usa a energia potencial para fazer a acomodação de uma amostra de solo.

A gira a manivela do aparelho com uma velocidade de 2 golpes por segundo e contar quantos golpes foi necessário para o fechamento da ranhura. Esse processo é feito com 5 umidades diferentes e o intervalo de 35 a 15 golpes.

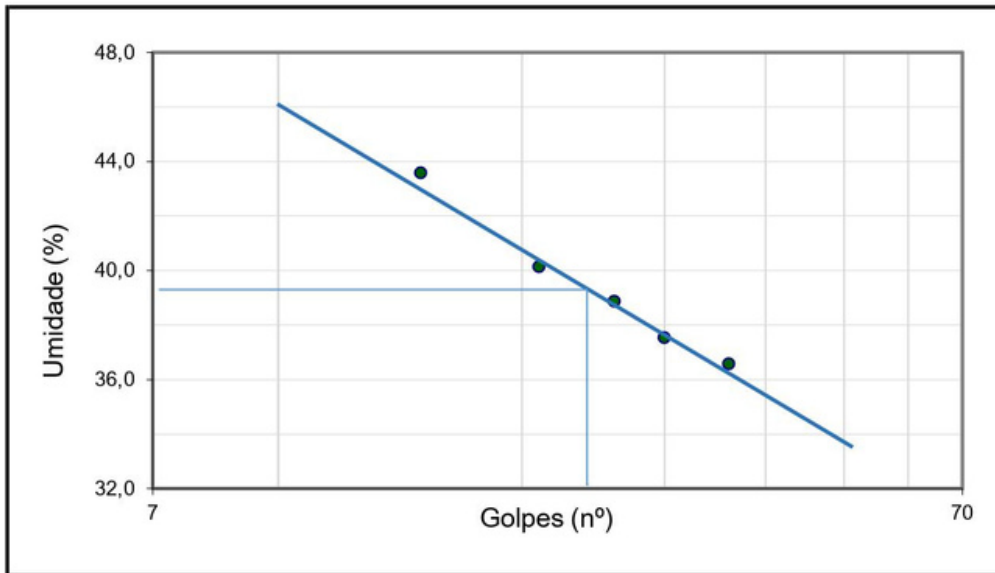
E o seu complementar, o Limite de Plasticidade (LP), que explicando de forma simples, consiste em pressionar uma porção do solo em uma placa de vidro porosa para verificar se o solo pode ou não ser moldado até atingir diâmetro de 3 mm.



Esses ensaios são importantes para entendermos o comportamento do solo com relação à água e principalmente para analisarmos se o solo tem comportamento mais ou menos compressível.

Cálculo e representação gráfica

O cálculo do ensaios de limites de Liquidez e Plasticidade são basicamente determinação da umidade dos solos em cada ponto.



Com os valores calculados, plotamos no gráfico semilogarítmico, a umidade no eixo das ordenadas (Y) e os golpes no eixo das abscissas (X).

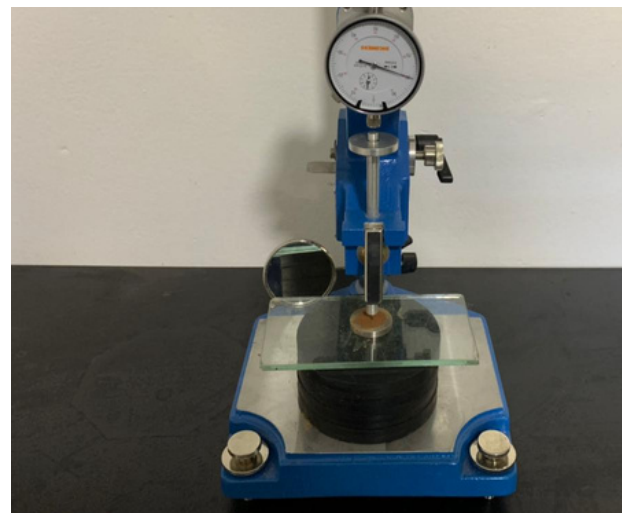
O resultado de LL é o valor correspondente ao ponto do gráfico correspondente a 25 golpes.

CLASSIFICAÇÃO MCT - PASTILHAS

A Classificação MCT pelo método das Pastilhas é o procedimento mais simples e rápido para determinar o comportamento dos solos tropicais, que em poucas palavras são classificados em lateríticos ou saprolíticos.



É realizado adotando dois parâmetros: a contração do solo e a penetração obtida com uma agulha padrão.



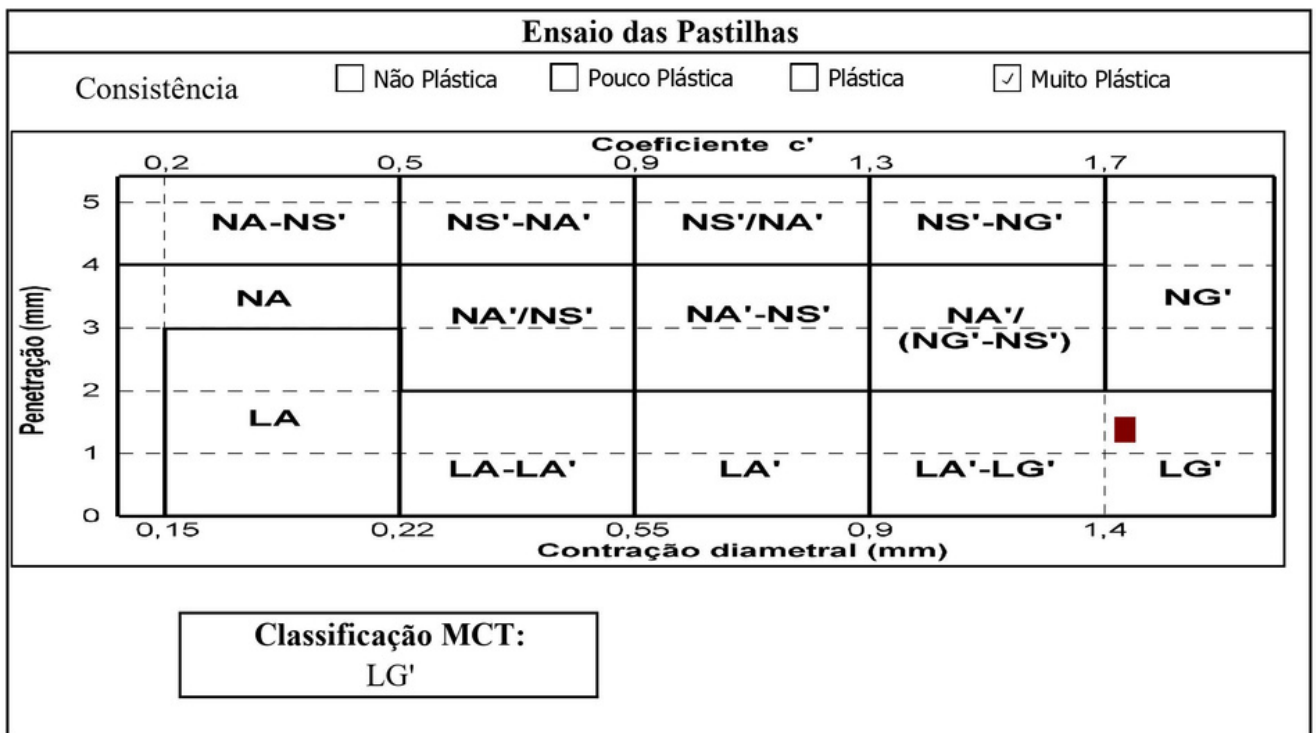
Exemplo Gráfico

Um ensaio realizado no laboratório da Geopaving, apresentou os seguintes valores:

Contração Média: 1,49 mm

Penetração Média: 1,28 mm

E esses dois valores são plotados em um gráfico para obtenção do resultado final.



De forma resumida, solos argilosos tendem a ter maior contração e solos siltosos menores resistências à penetração.

E SE NÃO REALIZARMOS AS SONDAGENS E ENSAIOS ADEQUADOS? QUAIS AS CONSEQUÊNCIAS PARA O SEU PROJETO?

A não realização de sondagens e ensaios geotécnicos pode acarretar grandes problemas para a obra.

Imagina uma rodovia com patologias por conta do dimensionamento inadequado?

Um dimensionamento com dados imprecisos quanto à resistência mecânica e comportamento dos solos afetam diretamente na vida útil do pavimento e no custo de execução e principalmente no custo de manutenção preventiva e corretiva.

A manutenção preventiva pode custar 5 vezes o valor do custo de execução. Um grande impacto econômico!

E a manutenção corretiva pode chegar a 25 vezes o valor da execução. Prejuízo econômico e ambiental!!!

E ENTÃO, GOSTOU DO E-BOOK?

Espero ter ajudado você a compreender os ensaios de compactação, CBR e controle tecnológico de aterros. Meu objetivo é divulgar a importância do acompanhamento técnico, realização de ensaios e difundir as melhores práticas construtivas para as obras de engenharia.

E nossa interação não precisa parar por aqui, no meu Instagram "@geopaving" publico frequentemente conteúdos que podem auxiliá-lo, e se tiver alguma dúvida, pode me encaminhar por direct, certamente tentarei ajudar da melhor maneira possível.

Forte abraço e te espero nas redes sociais. Até lá!

