



Estudo da correlação entre os ensaios de laboratório PDL e CBR

Ezequiel Martins Gonçalves, Francis Flaviano Fernandes, Leonardo Alves Alvarenga, Raphaela Kelly Dias Nascimento, Samuel Rocha Marques

(oiff@yahoo.com.br) (alvesleo98@hotmail.com), (raphaelakelly99@gmail.com), (samuelrocha2010@yahoo.com.br)

Professor orientador: Harley Francisco Viana (harley.viana@prof.una.br)

Coordenação de curso de Engenharia Civil

Resumo

O ensaio PDL (Penetrômetro Dinâmico Leve) é um ensaio geotécnico de campo cuja realização é simples e rápida, além de apresentar um baixo custo de execução. Esse ensaio tem sido muito utilizado em outros países e atualmente vem ganhando espaço no cenário brasileiro. Considerando esse contexto, o presente artigo busca correlacionar os resultados dos ensaios PDL (Penetrômetro Dinâmico Leve) e CBR (*California Bearing Ratio*), realizados em laboratório em corpos de prova de solo argiloso e solo com pedregulhos. Para isso, foi coletada uma quantidade de amostras de solo, realizada suas classificações e, posteriormente, a preparação dos corpos de prova para os ensaios. A partir dos resultados obtidos foi desenvolvido um gráfico de dispersão e, adotando-se uma regressão linear, obteve-se uma equação que correlaciona o índice CBR com a resistência de ponta (q_d) obtida no ensaio PDL. Os resultados obtidos sugerem uma correlação positiva entre a resistência de ponta e o CBR.

Palavras-chave: Ensaio Geotécnico; Correlação; PDL; CBR.

1. INTRODUÇÃO

Independentemente da dimensão da estrutura de engenharia a ser construída, é necessário o adequado conhecimento das condições do subsolo, pois este deverá ter resistência suficiente e adequada ao tipo de fundação empregada. Existem várias maneiras de se investigar o solo, entretanto, devido ao custo e rapidez, os ensaios de campo são os mais utilizados. Conforme ressaltado por Sarnaglia, Pires e Silva (2017), no processo de escolha do método de investigação do solo deve-se analisar as vantagens e desvantagens de cada metodologia investigativa considerando as características da obra.

Segundo Souza (2007) Dentre as principais investigações geotécnicas utilizadas para a obtenção de parâmetros dos solos e rochas pode-se citar: sondagem, ensaios de campo, ensaio de laboratório. A sondagem é usada para a obtenção de dados geotécnicos que auxiliam no dimensionamento de obras a partir de um conhecimento mais amplo da geologia local. É a ferramenta mais utilizada para a determinação de parâmetros geotécnicos de solos e rochas. Por sua vez, o ensaio de campo se realiza no local da obra através de equipamentos portáteis, sem necessidade de grande envolvimento de pessoal e de equipamentos caros. Além da determinação dos parâmetros geotécnicos, também define parâmetros geométricos do terreno, como a espessura, a densidade e a água presente no solo. Já no ensaio realizado em laboratório são utilizadas amostras de solos e rochas com o objetivo de determinar os parâmetros geotécnicos. Esse método possibilita obter dados de um



local inacessível, como por exemplo, de um local com obstáculos naturais, como uma montanha.

O PDL (Penetrômetro Dinâmico Leve), é um ensaio de campo, regulamentado primeiramente pela norma DIN 4094 (1964), que já é utilizado em alguns países do mundo e vem ganhando espaço no cenário brasileiro. Esse método apresenta como vantagens a utilização de equipamentos simples, que podem ser facilmente transportados, e a simplicidade do ensaio que pode ser realizado por apenas duas pessoas (SARNAGLIA; PIRES; SILVA, 2017; ALVES FILHO, 2010).

Pereira (2010) destaca que esse método é altamente utilizado para obtenção da compacidade de solos ao relacionar seu nível de deformidade e indicadores de resistência.

O ensaio CBR surgiu na década de 20, nos Estados Unidos da América, devido a grande necessidade de manutenção e construção de novas estradas e rodovias e, foi ganhando espaço à medida que se provou eficiente e de extrema importância para estudo de estruturas de pavimentos de aeroportos militares durante a 2ª guerra mundial. Logo, a AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) reconheceu o ensaio em esfera mundial, conforme a afirmação feita por Souza (2007).

Contudo, a falta de maiores informações sobre o ensaio geotécnico PDL em relação aos mais usuais gera a necessidade de realização de mais estudos relacionados e, até mesmo, estudos a fim de realizar a correlação dos seus resultados com os obtidos por meio de ensaios convencionais. Nesse sentido, o presente trabalho apresentará um estudo sobre a correlação entre os resultados obtidos pelos ensaios de laboratório PDL e CBR para dois tipos de solos argilosos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico serão abordados os principais temas que envolvem a pesquisa realizada. Diante disso, os principais conceitos de maior relevância sobre o assunto a ser desenvolvido serão abordados.

2.1 Classificação dos solos

Calado *et al.* (2020) define o material solo como:

(...) um conjunto de agregados naturais de grãos minerais constituídos por processos de intemperismo ou meteorização de rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química (...). Assim, o solo pode ser compreendido como camada viva, em contínua mudança e evolução a partir da modificação das rochas e da ação de processos pedogenéticos que são conduzidos por agentes físicos, químicos e biológicos.

Existem diversos métodos com fins de classificação dos tipos de solos existentes, e conforme descrito por Silva e Sampaio (2007), um dos métodos mais antigos de classificação é a granulometria, regulamentado no Brasil pela norma NBR 7181.

O ensaio de granulometria pode ser dividido em três etapas: peneiramento grosso, peneiramento fino e sedimentação. O peneiramento é realizado em solos cujas partículas apresentam diâmetros maiores que 0,075mm (#200). Nesse processo, são utilizadas séries de peneiras que, por sua vez, auxiliam no fator determinante da porcentagem de material retido ou passante em cada ensaio



(FRONZA *et al.*, 2020). Na tabela 1 são apresentados os números das peneiras e seus respectivos diâmetros de passagem.

Tabela 1 - Numeração das peneiras

Nº	Abertura(mm)	Nº	Abertura(mm)
2"	50	16	1,2
1 ½"	38	30	0,6
1"	25	40	0,42
¾ "	19	60	0,25
⅜ "	9,5	100	0,15
4	4,8	200	0,075
10	2		

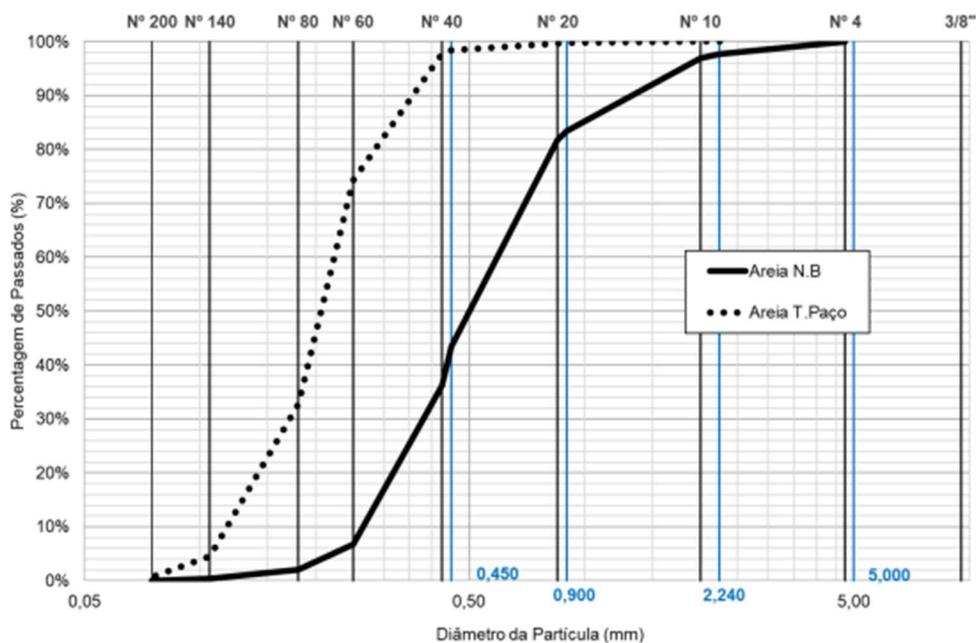
Fonte: Elaborado pelos autores

O peneiramento grosso é aplicado a partículas de diâmetro maior que 2 mm, ao passo que o peneiramento fino, são partículas menores que esse valor.

A análise granulométrica por sedimentação tem como base a Lei de Stokes e se aplica à análise granulométrica de solos finos. É importante saber que o método busca realizar a separação dos grãos através de um meio aquoso, onde as partículas sedimentam de acordo com seu diâmetro (LIMA e LUZ, 2001).

A partir dos resultados desses métodos é possível a obtenção de dados para obtenção das curvas granulométricas. Com a curva granulométrica definem-se as frações texturais de solo presentes na amostra considerando-se as faixas de diâmetro de cada fração, como ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Curva granulométrica.





Por meio da análise do gráfico acima é possível indicar a predominância de um determinado tipo de fração de solo presente em um corpo amostral e assim realizar a classificação do solo.

2.2 Ensaio CBR

Segundo Marson (2004), nos EUA, na década de 20, devido ao crescimento da demanda de manutenção da malha viária e construções de rodovias de grandes dimensões, surgiram novas pesquisas de avaliações do solo que resultaram no surgimento do ensaio Califórnia Bearing Ratio (CBR).

No Brasil, durante a década de 50, o Engenheiro Murilo Lopes de Souza desenvolveu um estudo que fez adaptações ao método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Nesse método, utiliza-se o CBR em algumas situações, como na utilização de gráficos para o dimensionamento do pavimento e na determinação das equivalências de operação entre diferentes cargas por eixo e a carga por eixo padrão (Medina, 1988).

No âmbito nacional, as normas que definem a metodologia do ensaio de CBR são a ABNT NBR 9895/87 – Solo – Índice de Suporte Califórnia, implementado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a DNER-ME 049/94 – Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia, que deve ser utilizada para amostras não trabalhadas. Ambas as normas seguem a mesma metodologia, no entanto, elas divergem na quantidade de leituras das penetrações. Porém, essa diferença de execução não interfere no resultado do ensaio, já que as leituras utilizadas em ambas as normas para determinação do CBR são apenas duas, às penetrações de 2,54 mm e 5,08 mm.

Segundo Souza (2007), no ensaio de CBR, a resistência à penetração de uma amostra saturada compactada é mensurada de acordo com o método de Proctor. Nesse processo é necessário um pistão com seção transversal de 49,6 mm de diâmetro, que penetra a amostra a uma velocidade de 1,27 mm/min. Em suma, o ensaio é composto por três etapas: compactação do corpo-de-prova, colocação do corpo-de-prova em imersão para obtenção da curva de expansão e, por fim, medida da resistência à penetração. Essas etapas são descritas a seguir.

a) Compactação dos corpos-de-prova: cada amostra deve ser compactada com 5 diferentes teores de umidade, conforme o método Proctor, sendo que o número de golpes depende da energia de compactação, conforme a tabela 2:

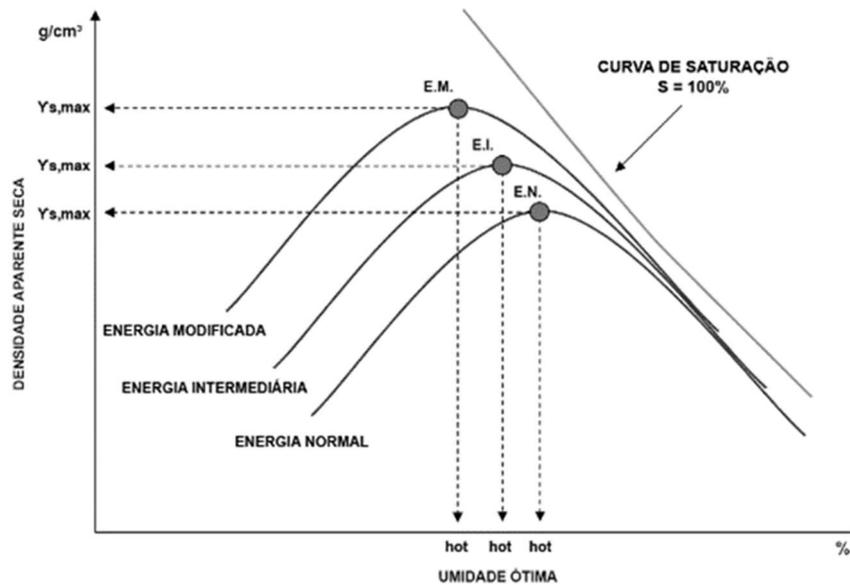
Tabela 2 - Número de golpes correspondente a cada energia de compactação

Energia	Número de golpes
Normal	12
Intermediária	26
Modificada	55

Fonte: elaborado pelos autores

A partir dos resultados da compactação obtém-se um gráfico que correlaciona a massa específica aparente seca com o teor de umidade ($\rho_s \times W$), conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2 - Gráfico Densidade aparente seca x Umidade ótima.



Fonte: Suportesolos (2018)

b) Obtenção da curva de expansão: após o processo de compactação são eliminados 2 corpos de prova ramo muito seco e o ramo muito saturado, ficando apenas com o ramo seco, ótimo e saturado, se deve colocar o corpo-de-prova dentro do molde cilíndrico, onde fica imerso por quatro dias, medindo-se a expansão de 24 em 24 horas.

c) Medida da resistência à penetração: terminando a fase anterior, deve ser realizado o ensaio de penetração no corpo-de prova, onde um pistão de 49,6 mm de diâmetro penetra uma amostra a uma velocidade de 1,27 mm/min. Então se faz as leituras de penetrações de 0,63; 1,25; 2,50; 5,00; 7,50; 10,00; 12,5 mm, correspondentes aos tempos de leituras determinados pela norma. Por último, encontram-se os valores de carga, ao se multiplicarem as leituras efetuadas pela constante do anel de penetração.

2.3 Ensaio PDL

A Sondagem a Penetrômetro Dinâmico Leve (DPL) é um método de ensaio geotécnico que é realizado, geralmente, em campo. É um dos métodos de investigação que possui maior facilidade em ser executado, possibilitando sua realização em locais com índice de acessibilidade relativamente difícil. Contudo, ainda não existe uma norma brasileira que rege esse método de ensaio.

A norma alemã DIN 4094 (1964) descreve os procedimentos para a realização desse ensaio. Durante o processo, é cravado um certo número de hastes verticalmente através do impacto causado pela queda livre de um peso, considerando variações de alturas e velocidades de cravação demandadas para a necessidade do ensaio. São, em média, registrados 15 a 30 golpes em um intervalo de 60 segundos. Os resultados obtidos permitem caracterização da estratigrafia local e as resistências dos solos compressíveis.

O índice de resistência à penetração, N_{PDL} , se refere à quantidade de golpes efetuados com finalidade de cravar a ponteira cônica em uma profundidade determinada de solo. A figura 3 ilustra a execução desse ensaio.

Figura 3 - Realização do ensaio PDL em laboratório



Fonte: Elaborado pelos autores

A variável representativa para obtenção dos resultados do ensaio é a resistência de ponta (q_d), calculada por meio da expressão:

$$q_d = \left(\frac{P \cdot N \cdot H}{A \cdot S} \right) \cdot \left(\frac{P}{P + P'} \right) \quad (1)$$

onde, P = peso do martelo;

P' = peso das hastas, cabeçote e ponta;

H = altura de queda do martelo;

N = número de golpes;

A = área da ponta do cone;

S = trecho penetrado pela ponta para N golpes.

2.4 Correlações entre o ensaio PDL e ensaios de laboratório

Na literatura, encontram-se trabalhos que estudaram a correlação entre os resultados do Ensaio PDL e os resultados obtidos por outros métodos de ensaios geotécnicos. Sarnaglia, Pires e Silva (2017) estabeleceram correlações entre os parâmetros geotécnicos obtidos no ensaio PDL com os parâmetros obtidos pelos ensaios CPT_{AD} (*Cone Penetration Test* adaptado), CBR e SPT (*Standard Penetration Test*). Os resultados alcançados indicaram um nível de correlação mediana entre o PDL e SPT e evidenciaram a concordância dos parâmetros geotécnicos obtidos pelos ensaios PDL, CPT e CBR.

A equação (2) mostra a relação obtida pelo estudo que permite a correlação entre o índice CBR e o valor de q_d :

$$\text{CBR} = 0,0029 \cdot q_d + 0,666 \quad (2)$$

Martins e Miranda (2003), a partir de uma regressão linear, observou uma correlação forte entre os ensaios PDL e CPT, com coeficientes de determinação $R^2 = 0,869$.

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa classifica-se, do ponto de vista da natureza, como aplicada e apresenta uma abordagem predominantemente quantitativa. Quanto ao objetivo proposto, trata-se de uma pesquisa descritiva. Os procedimentos técnicos usados nesta pesquisa foram o levantamento bibliográfico e pesquisa experimental. O estudo foi desenvolvido com apoio de um laboratório de solos que atua na cidade de Itabira-MG e região, disponibilizando profissionais, materiais e equipamentos para realização dos ensaios. Todos os ensaios foram realizados dentro de suas normas e procedimentos vigentes. Os solos utilizados foram coletados em um Aterro de Erosão (ver figura 4) em uma região da cidade de Itabira. Foi coletado cerca de 50 Kg de material para realizar os ensaios.

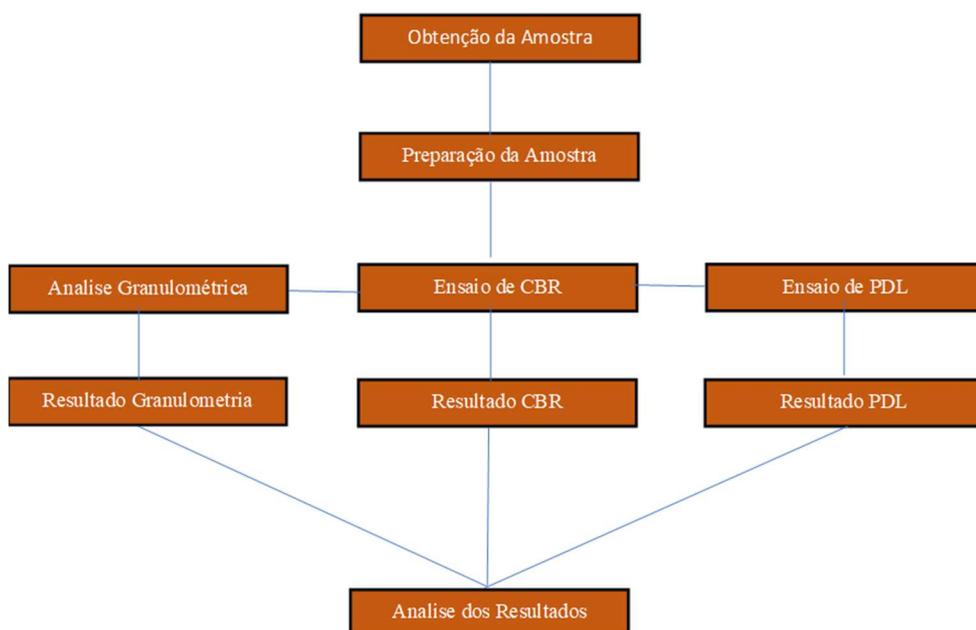
Figura 4 - Realização da coleta do material



Fonte: Elaborado pelos autores

Após a coleta, prepararam-se as amostras para a realização dos ensaios de granulometria, Índice de Suporte Califórnia (CBR) e PDL. A figura 5 exibe um fluxograma que contém as atividades realizadas no presente trabalho.

Figura 5 - Fluxograma da pesquisa realizada



Fonte: Elaborado pelos autores

3.1 Preparação da Amostra

Após a realização dos procedimentos de identificação das amostras coletadas, realizou-se a secagem das mesmas. Inicialmente, as amostras ficaram expostas ao ar para que suas umidades se aproximassem da umidade higroscópica (secagem prévia). Com as amostras já secas, foram feitos o quarteamento de modo a se obter uma porção representativa para os ensaios de granulometria (próximo de 1kg para solos com diâmetro menor que 5mm conforme o parágrafo 5.1.2.2 da norma NBR 6457:2016). Em seguida, as porções escolhidas foram passadas na peneira de 76mm, e o material retido foi desprezado). A figura 6 ilustra a secagem prévia da amostra.

Figura 6 - Secagem prévia da amostra



Fonte: Elaborado pelos autores

3.2 Ensaio de Granulometria

Após a preparação das amostras foram realizadas as análises granulométricas dos solos, tendo por base a norma NBR 7181:2016. Essa norma estabelece o método para realização do ensaio, que pode ser realizado por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. Para o estudo foi utilizada a granulometria por peneiramento que permite a obtenção da porcentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada.

Para isso, logo de início foram necessários os seguintes equipamentos: almofariz com mão de gral, conforme ilustrado na figura 7, onde foi efetuado a desagregação dos torrões de argila encontrados nas amostras, peneira 2 mm, 0,42 mm e duas bandejas com a tara conhecida.

Figura 7 - Desagregação dos torrões de argila



Fonte: Elaborado pelos autores

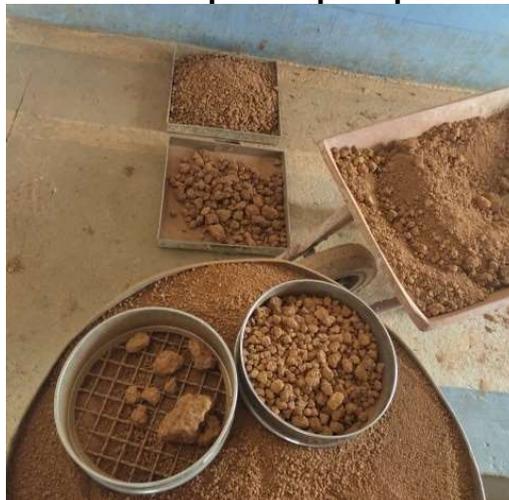
Foram pesadas as amostras obtidas pelos processos anteriores e anotado sua massa na ficha de granulometria. Em seguida, todas as amostras foram passadas na peneira de 2 mm. O material retido foi retornado ao almofariz para se desmanchar os torrões de argila, obtendo-se apenas as partículas sólidas.

Logo após essa separação, obteve-se duas porções: material grosso, que são os retidos na peneira 2 mm, e o material fino, sendo o material passante na peneira 2 mm. Foi colocado o material grosso em uma bandeja identificada e deixado de molho para facilitar a lavagem do mesmo. Do material fino foram retiradas três cápsulas das amostras, que foram encaminhadas à estufa a uma temperatura de 110 °C por 24 horas. Por meio desse processo a umidade higroscópica foi determinada.

Do material fino, foi retirado mais cerca de 200g. Essa quantidade de material foi deixada submersa na água em uma bandeja, e, em seguida, foi registrado o peso obtido na ficha.

Posteriormente, procedeu-se à lavagem do material retido na peneira de 2mm a fim de remover possíveis argilas agregadas nas partículas maiores. O material passante na peneira de 2 mm foi lavado na peneira de 0,075 mm, removendo-se qualquer argila das amostras. Logo após o processo anterior foi levado para a estufa as duas bandejas para a realização da secagem. O próximo passo foi o peneiramento, a figura 8 ilustra a amostra pronta para peneiramento.

Figura 8 - Amostra pronta para peneiramento



Fonte: Elaborado pelos autores



Para o peneiramento do material grosso foram necessárias as peneiras: 50,8 mm, 38 mm, 25,4 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0mm, onde o material foi passado por cada uma, sendo calculada e anotado a massa retida acumulada em cada peneira. Para o peneiramento do material fino foram necessárias as peneiras: 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm 0,075 mm, usando o mesmo processo do material grosso.

Após as informações obtidas através de fórmulas de acordo com a NBR 7181:2016 (Parágrafo 5) foram obtidas as porcentagens de cada material passante nas peneiras, determinando-se as frações dos solos: pedregulho, areia grossa, areia fina, siltes e argila. Com base nesses dados, juntamente com os resultados dos ensaios de consistência, LL (Limite de liquidez) e LP (Limite de plasticidade), foram obtidas as informações para classificar os solos, conforme a tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de solos HRB

Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira nº200)							Materiais Siltosos e Argilosos (mais de 35% passando pela peneira nº200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal 2,00 mm 0,42 mm 0,074 mm	50 máx 30 máx 15 máx	50 máx 25 máx	51 mín 10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	36 mín
Características da fração que passa na peneira 0,42 mm											
Limite de Liquidez (%)	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de Plasticidade (%)	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			

Fonte: Manual de Técnicas de Pavimentação

3.3 Limite de Liquidez

O ensaio deve ser executado em condições ambientais que minimizem a perda de umidade do material, preferencialmente deve ser realizado em ambientes climatizados. Do mesmo material utilizado para o peneiramento fino foi retirado cerca de 200 g do material passante na peneira de 0,42 mm para execução do LL.

Em seguida, foi tomada metade da quantidade da amostra preparada de acordo com os critérios acima. Essa quantidade de material foi colocada em uma cápsula de porcelana e adicionou-se água destilada em pequenas quantidades, amassando e remexendo vigorosamente com auxílio de uma espátula flexível de forma a obter uma pasta homogênea com a consistência necessária para iniciar o ensaio.

Após a mistura pronta, transferiu-se com a ajuda de uma espátula a massa da cápsula para a concha de forma que a espessura não ultrapassasse a ordem de 10 mm. Então, as amostras foram divididas em duas partes com auxílio de um cinzel fazendo uma ranhura central.

Após esse procedimento, apoiando o aparelho de Casagrande em uma superfície rígida, já com a ranhura devidamente feita, foi iniciado o ensaio girando a manivela e fazendo a contagem dos golpes até as ranhuras se unirem 13 mm de



comprimento aproximadamente. Com auxílio da espátula, uma parte das amostras onde o solo se uniu foi coletada e colocada em uma cápsula para determinar sua umidade, registrando o número de golpes em que isto ocorreu.

Posteriormente, o material foi retornado para a cápsula de porcelana, adicionado água e homogeneizado durante três minutos. Repetiram-se os processos anteriores no aparelho Casagrande e anotou-se o número de golpes obtidos referente a umidade daquele ponto. Esses procedimentos foram repetidos por mais três vezes dentro o intervalo de 15 a 35 golpes.

Após a obtenção dos 5 pontos, elaborou-se o gráfico para a obtenção do limite de liquidez, no qual a ordenada, em escala logarítmica, representa os números de golpe e as abscissas, em escala aritmética, os teores de umidade correspondentes. Assim, ajustou-se uma reta pelos pontos, obtendo-se, em seguida, o teor de umidade correspondente a 25 golpes, que é o limite de liquidez do solo. O valor obtido foi expresso em porcentagem aproximando-o para o número inteiro mais próximo.

Na impossibilidade de se conseguir a abertura da ranhura ou do seu fechamento com mais de 25 golpes considera-se que a amostra ensaiada não apresenta o limite de liquidez (situação indicada pela sigla NL).

3.4 Limite de Plasticidade

Para a obtenção do limite de plasticidade deve-se tomar parte da amostra separada pelos processos citados acima. Parte das amostras foram inseridas em uma cápsula de porcelana e, em seguida, adicionou-se água destilada em pequenas porções, amassando e mexendo vigorosamente e continuamente com auxílio da espátula até obter uma pasta homogênea de consistência plástica. O tempo de homogeneização deve estar entre 15 e 30 minutos, sendo maior o tempo usado para solos argilosos.

Dessa mistura, foi coletada cerca de 10 g da amostra e formou-se uma pequena “bolinha” que, em seguida, foi colocada sobre uma placa de vidro esmerilhada. Com a palma da mão foi aplicada uma pressão suficiente nas amostras, rolando até que se formasse um material cilíndrico, conforme gabarito (diâmetro de 3mm e comprimento de 10 cm). Nas situações em que as amostras se quebraram ou trincaram antes de atingir o diâmetro de 3 mm o material foi retornado à cápsula de porcelana. Em seguida, adicionou-se mais água e homogeneizou-se novamente durante 3 minutos. Ao obter um cilindro conforme o gabarito de comparação, tomou-se parte do material, onde a amostra se fragmentou, e inseriu-o em uma cápsula para determinar sua umidade.

Por norma, foi repetido esse processo para obter pelo menos três valores de umidade que não se divergiam da média em mais de 5%.

O resultado final, média de pelo menos três valores de umidade considerados satisfatórios, foi expresso em forma de porcentagem arredondando as casas decimais para número inteiro mais próximo. É importante citar que caso não seja possível obter o cilindro com 3 mm deve-se considerar que as amostras não sejam plásticas ou não apresentem o limite de plasticidade (situação indicada pela sigla NP).

3.5 Ensaio de CBR

Após a preparação das amostras (Item 3.1) e análise granulométrica (Item 3.2) descritos acima, foi iniciado o ensaio de CBR com o peneiramento do material para determinar as proporções retidas em cada peneira:

Passando primeiramente pela peneira de 3" depois na ¾" e por fim na 4,8mm. Na peneira de 3" ou 76,2mm o material retido foi desprezado. Na ¾ ou 19mm, o material retido nesta peneira, sendo superior a 10% do material, foi substituído pelo passante da mesma e pelo retido na peneira de 4,8mm, os materiais inferiores aos 10% foram desprezados. Por fim a peneira de 4,8mm, após o peneiramento do material, o que ficou retido, sendo superior a 7% do material, foi mantido no ensaio, entretanto os materiais inferiores aos 7% foram desprezados. (Regra utilizada para materiais finos).

Usando-se as proporções adequadas obtidas anteriormente, 5 amostras foram pesadas com 6 Kg cada para cada solo, retirando a umidade higroscópica das mesmas.

Em seguida foi recolhido 1 amostra de 6 Kg, adicionado água na mesma usando uma proveta graduada até se obter uma umidade até 5% abaixo da ótima presumível para o primeiro ponto, para encontrar o próximo ponto adicionasse água até que a amostra atinja mais 2% da umidade encontrada anteriormente e assim sucessivamente para os demais. Conforme figura 9, foi anotado a porcentagem de água adicionada, homogeneizado e iniciado o processo de compactação (Proctor Normal), considerando 5 camadas de 12 golpes, cada.

Figura 9 - Obtenção de uma umidade até 5% abaixo da ótima presumível.



Fonte: Elaborado pelos autores

No próximo passo foi removido o excesso superior a borda e pesado esse material. Foi retirado uma amostra para umidade, e em seguida repetido o processo para as demais amostras até que, obteve-se a densidade máxima e a umidade ótima. Após o processo imergir 6 corpos de provas (2 Ramo seco, 2 Ótimo e 2 Saturado) durante 96 horas em um tanque de cura, conforme figura 10, foi inserido sobre os mesmos o relógio comparador para medição da expansão ou extração dos solos.



Figura 10 - Corpos de prova emergidos no tanque de cura



Fonte: Elaborado pelos autores

Após a cura, foi retirado o material e escorrido por 15 minutos, posteriormente foi dado início ao processo de rompimento na Prensa do CBR (Pressão / Tempo = Penetração) conforme figura 11, e registrado todas as leituras obtidas através do relógio comparador (do anel dinamométrico).

Figura 11 - Rompimento na Prensa do CBR



Fonte: Elaborado pelos autores

O resultado do ensaio do CBR é a leitura obtida multiplicada pela constante do anel dividida pelo constante padrão, obteve-se o resultado após o processo descrito, contudo, foi repetido o processo para os demais corpos de provas, onde o resultado do CBR foi o maior resultado obtido entre eles (Ramo seco, Ótimo e Saturado).

3.6 Ensaio de PDL

Após a obtenção da Classificação da amostra e do ensaio de CBR, o primeiro passo seguido foi a calibração do equipamento de PDL, dados obtidos através do procedimento estabelecidos pela norma Europeia EM ISO 22476-2:2005, tendo o estatuto Padrão Britânico, onde especifica as dimensões dos equipamentos a ser utilizados.

De acordo com as especificações exigidas, foi executado o ensaio para verificação da tensão admissível dos Solos (kg/cm^2), nas mesmas condições e com os mesmos corpos de provas que foram executados o CBR. Assim, o equipamento foi posicionado na vertical em cima do corpo de prova, onde foi levantado o martelo a uma altura de 50 cm (haste Guia) e deixado cair livremente, após a repetição dos golpes foi anotado a quantidade de golpe em que a haste penetrou até atingir 11 cm. Para esta pesquisa foi utilizado um martelo de 10kg, e uma queda de 0,50 m de altura para penetração da haste no solo. A figura 12 ilustra o ensaio de PDL.

Figura 12 - Ensaio PDL



Fonte: Elaborado pelos autores

Com essa quantidade de golpes e com a altura de penetração foi realizado o cálculo para obtenção dos resultados. A tabela 4 mostra os dados do equipamento e a fórmula utilizada.

Tabela 4 - Parâmetros do ensaio PDL

Medidas	Padrão	Utilizado	Unidade
Peso martelo (M)	10±0,1	9,942	kg
Peso do batente (B)	-	0,657	kg
Peso de cada vara (V)	-	2,146	kg
Peso de cada vara (V)	-	2,999	kg
Altura de queda (H)	500±10	490,0	mm
Seção da ponteira (S)	-	7,350	cm ²
Peso da ponteira (X)	-	0,493	kg
Peso do cabeçote (Z)	-	0,766	kg
Nº de varas (I)	-	1	unid.
Penetração (A)	-	50,0	cm
Alfa	-	0,63	-
Beta	-	10,00	-

Rd	=	$\frac{M \times H}{S \times (M + B + X + Z + (I \times V))}$	X	N	=	T(kg/cm ²)			
				A					
Coeficientes (a) de acordo com o tipo de material									
a =	1,00	Areia grossa e cascalho, medianamente compacto							
a =	0,75	Solos arenosos de fofoa muito compacto							
a =	0,50	Solos argilosos de Consistência média a rija							
a =	0,30	Argila mole (turfa, lodo, solos de compactidade muito fraca e consistência mole).							

Fonte: Elaborado pelos autores

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Granulometria do material

A porcentagem passante em cada peneira para cada solo estudado é mostrada nas tabelas 5 e 6, respectivamente. Verifica-se que os solos 1 e 2 são compostos por pedregulho, areia grossa, areia fina e silte + argila.


Tabela 5 - Resultado do ensaio de Granulometria para o solo 1

UMIDADE HIGROSCÓPICA					ANÁLISE GRANULOMETRICA						
RECIPIENTE N°	10	12	25	-	PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA SECA		% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL		
					N°	MM	RETIDO	PASSADO			
SOLO ÚMIDO + TARA	54,43	52,20	48,29	g							
SOLO SECO + TARA	53,40	51,53	47,64	g					100,00		
TARA	20,93	21,08	21,36	g					100,00		
ÁGUA	1,03	0,67	0,65	g					100,00		
SOLO SECO	32,47	30,45	26,28	g					99,73		
TEOR DE UMIDADE	3,17	2,20	2,47	%					98,40		
MÉDIA	2,61			%	PENEIRAMENTO FINO						
A) AMOSTRA TOTAL ÚMIDA				2120,54	g	PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA SECA		% QUE PASSA DA AMOSTRA PARCIAL	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
B) SOLO SECO RETIDO PELA PENEIRA 10				33,18	g	N°	MM	RETIDO	PASSADO		
C) SOLO ÚMIDO PASS. PENEIRA 10 = (A-B)				2087,36	g	N° 40	0,42	7,74	189,73	96,08	94,54
D) SOLO SECO PASS. PENEIRA 10 = C/1 + H				2034,27	g	N° 200	0,074	5,63	184,1	93,23	91,74
E) AMOSTRA TOTAL SECA = B + D				2067,45	g						
RESUMO DA GRANULOMETRIA	PEDREGULHO			1,6	%	PESO DA AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA				202,62	g
	AREIA GROSSA			3,86	%						
	AREIA FINA			2,8	%	PESO DA AMOSTRA PARCIAL SECA				197,47	g
	SILTE + ARGILA			91,74	%						

Fonte: Elaborado pelos autores

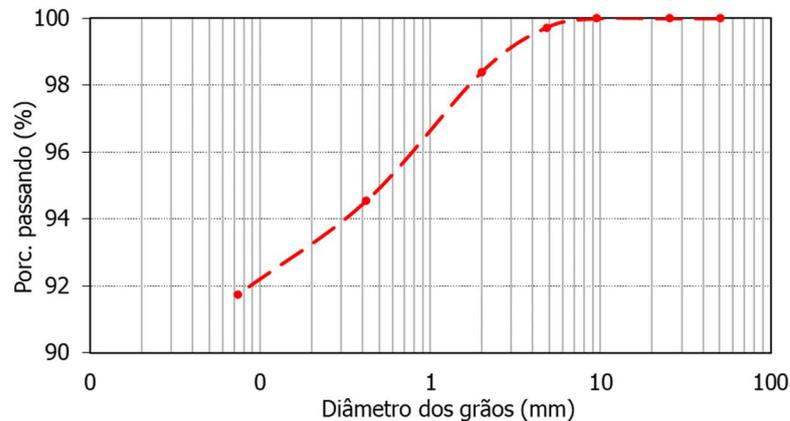
Tabela 6 - Resultado do ensaio de Granulometria para o solo 2

UMIDADE HIGROSCÓPICA					ANÁLISE GRANULOMETRICA						
RECIPIENTE N°	2	18	17	-	PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA SECA		% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL		
					N°	MM	RETIDO	PASSADO			
SOLO ÚMIDO + TARA	68,91	62,88	83,24	g							
SOLO SECO + TARA	67,68	62,19	82,32	g					100,00		
TARA	19,89	19,71	22,10	g					95,43		
ÁGUA	1,23	0,69	0,92	g					86,96		
SOLO SECO	47,79	42,48	60,22	g					79,77		
TEOR DE UMIDADE	2,57	1,62	1,53	%					67,51		
MÉDIA	1,91			%	PENEIRAMENTO FINO						
A) AMOSTRA TOTAL ÚMIDA				3354,48	g	PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA SECA		% QUE PASSA DA AMOSTRA PARCIAL	% QUE PASSA DA AMOSTRA TOTAL
B) SOLO SECO RETIDO PELA PENEIRA 10				1075,92	g	N°	MM	RETIDO	PASSADO		
C) SOLO ÚMIDO PASS. PENEIRA 10 = (A-B)				2278,56	g	N° 40	0,42	47,12	151,20	76,24	51,47
D) SOLO SECO PASS. PENEIRA 10 = C/1 + H				2235,86	g	N° 200	0,074	48,99	102,21	51,54	34,79
E) AMOSTRA TOTAL SECA = B + D				3311,78	g						
RESUMO DA GRANULOMETRIA	PEDREGULHO			32,49	%	PESO DA AMOSTRA PARCIAL ÚMIDA				202,11	g
	AREIA GROSSA			16,04	%						
	AREIA FINA			16,68	%	PESO DA AMOSTRA PARCIAL SECA				198,32	g
	SILTE + ARGILA			34,79	%						

Fonte: Elaborado pelos autores

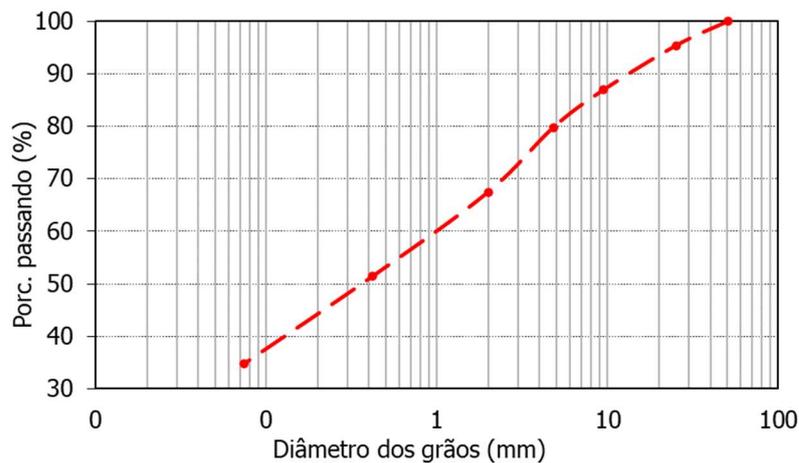
As figuras 13 e 14 apresentam as curvas granulométricas dos solos 1 e 2, respectivamente. Os solos 1 e 2 apresentam maior percentagem de argila + silte, totalizando, aproximadamente, 91,74%, 34,79%, respectivamente.

Figura 13 - Curva Granulométrica para o solo 1



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 14 - Curva Granulométrica para o solo 2



Fonte: Elaborado pelos autores

4.2 Limites de consistência

Juntamente com o resultado da granulometria foram obtidos resultados dos ensaios de LL e LP. Os resultados obtidos para o solo 1 são apresentados na tabela 7. Para o solo 1, o limite de liquidez (LL) é 43,90% e o limite de plasticidade (LP) é 13,59%. O solo 2 não apresentou LL devido a impossibilidade de se conseguir a abertura da ranhura ou do seu fechamento com mais de 25 golpes e, também, não apresentou LP devido a impossibilidade de obter o cilindro com 3 mm moldando o corpo de prova.

O Limite de liquidez e Limite de Plasticidade são importantes para realização dos ensaios geotécnicos CBR e PDL devido os resultados dos mesmos indicarem uma pré análise dos solos estudados, logo, caso o solo obter um teor de umidade fora dos padrões indicados é possível concluir que os resultados dos ensaios não serão apropriados.

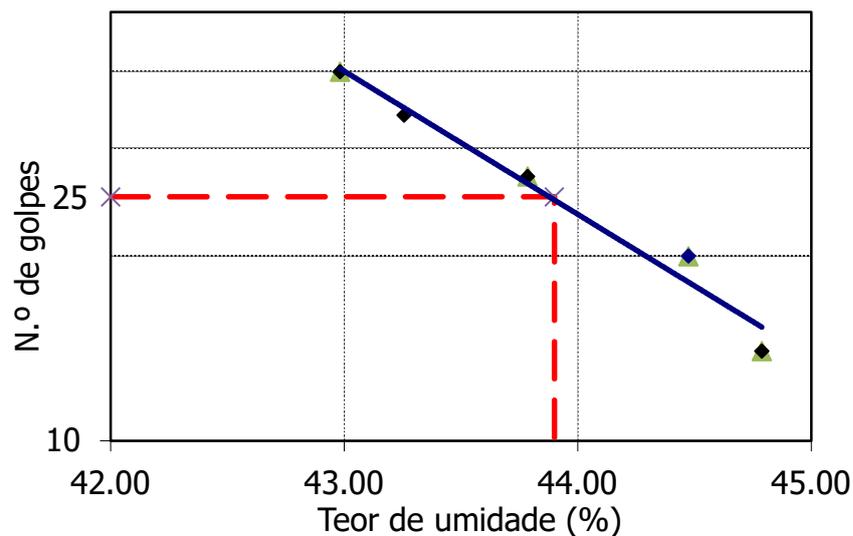
Tabela 7 - Resultado do ensaio de LL e LP para o solo 1

LIMITE DE LIQUIDEZ							LIMITE DE PLASTICIDADE				
CÁPSULA N°	-	11	26	24	10	38	21	36	45	34	28
CÁPSULA + SOLO ÚMIDO	g	19,15	17,49	16,06	16,77	14,76	8,35	7,97	7,26	8,71	7,37
CÁPSULA + SOLO SECO	g	15,23	13,93	12,96	13,47	12,01	8,07	7,72	7,11	8,36	7,19
PESO DA CÁPSULA	g	6,11	7,70	5,88	6,05	5,87	5,97	5,81	6,13	5,68	5,82
PESO DA ÁGUA	g	3,92	3,56	3,10	3,30	2,75	0,28	0,25	0,15	0,35	0,18
PESO DO SOLO SECO	g	9,12	6,23	7,08	7,42	6,14	2,10	1,91	0,98	2,68	1,37
% DE ÁGUA	%	42,98	57,14	43,79	44,47	44,79	13,33	13,09	15,31	13,06	13,14
N° DE GOLPES	-	40	34	27	20	14	N° de amostras selec.			4	
RESUMO DOS ENSAIOS							LIMITE DE LIQUIDEZ			43,90	%
							LIMITE DE PLASTICIDADE			13,59	%
							ÍNDICE DE PLASTICIDADE			30,31	%

Fonte: Elaborado pelos autores

A figura 15 exibe o gráfico n° de golpes versus teor de umidade para o solo 1.

Figura 15 - Limite de Liquidez (solo 1)



Fonte: Elaborado pelos autores

4.3 Classificação do solo

Com os resultados, foi determinado o índice de grupo, classificação HRB conforme a tabela 3 e o tipo de solo. O solo 1 foi caracterizado como argiloso pois o mesmo possui uma porcentagem passante mínima de 36% na peneira de abertura nominal de 0,074 mm, um limite de liquidez maior que 41%, índice de plasticidade maior que 11% e o índice de grupo menor que 20.

O solo 2 foi caracterizado como solo com pedregulho pois o mesmo apresentou uma porcentagem máxima de 35% que passa na peneira de abertura de 0,074 mm, não apresentou Limite de liquidez e limite de plasticidade e o índice de grupo foi igual a 0. A tabela 8 indica os índices de grupos e as respectivas classificações dos solos 1 e 2.

Tabela 8 - Classificação dos solos

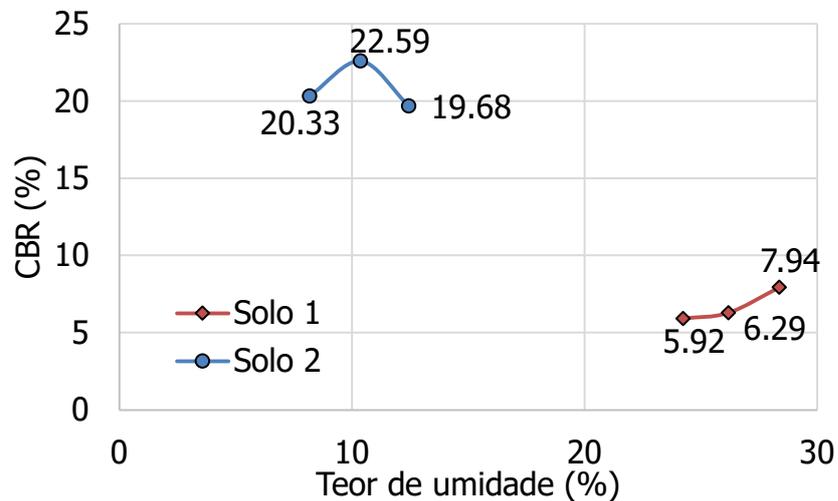
SOLOS	1	2
ÍNDICE DE GRUPO	16,8	0
CLASSIFICAÇÃO HRB	A-7-6	A-2-4
TIPO DE SOLO	ARGILOSO	SOLO COM PEDREGULHO

Fonte: Elaborado pelos autores

4.4 Ensaio CBR

Os resultados do ensaio CBR realizado nos três corpos de prova do solo 1 e três corpos de prova do solo 2 são apresentados na figura 16 que exibe o CBR(%) encontrado em função do teor de umidade (%).

Figura 16 - Gráfico CBR versus teor de umidade para o solo 1 e 2

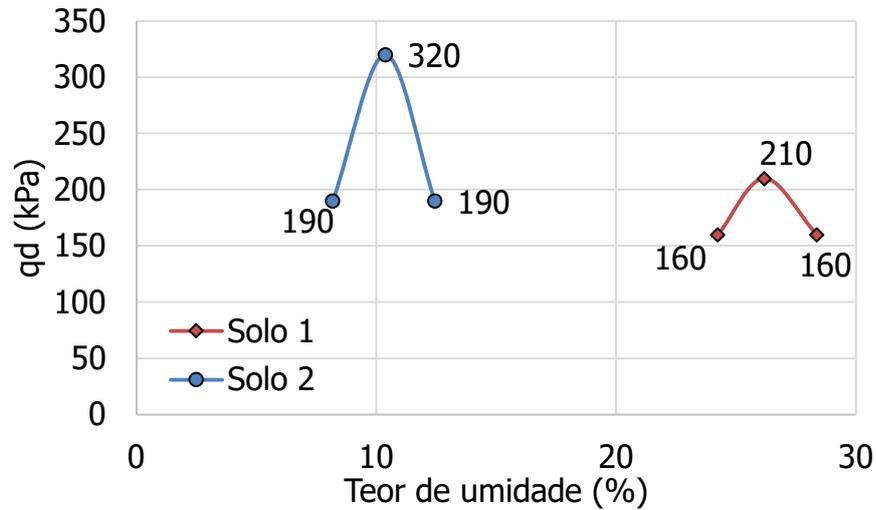


Fonte: Elaborado pelos autores

4.5 Ensaio de PDL

Foi determinada a resistência de ponta de cada corpo de prova. A figura 17 exibe a variação da resistência de ponta (q_d) em função do teor de umidade (w) do solo 1 e 2.

Figura 17 - Gráfico PDL versus teor de umidade para o solo 1 e 2

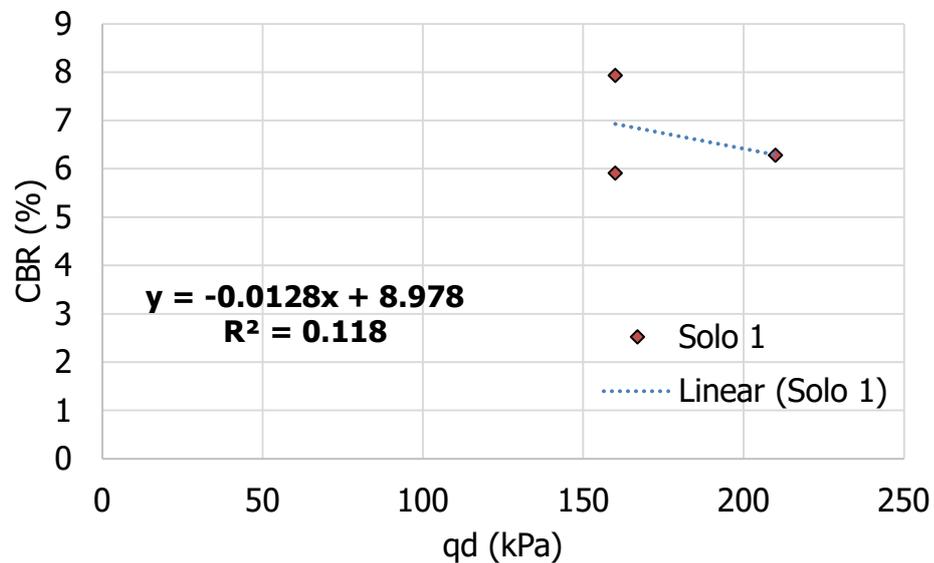


Fonte: Elaborado pelos autores

4.6 Correlação CBR x PDL

A partir dos dados das figuras 16 e 17, foi desenvolvido um gráfico de dispersão contendo o índice CBR e a resistência de ponta de cada corpo de prova (solo 1 e solo 2). Aplicando-se uma regressão linear simples foi gerada uma equação que relaciona essas variáveis, conforme figuras 18 e 19.

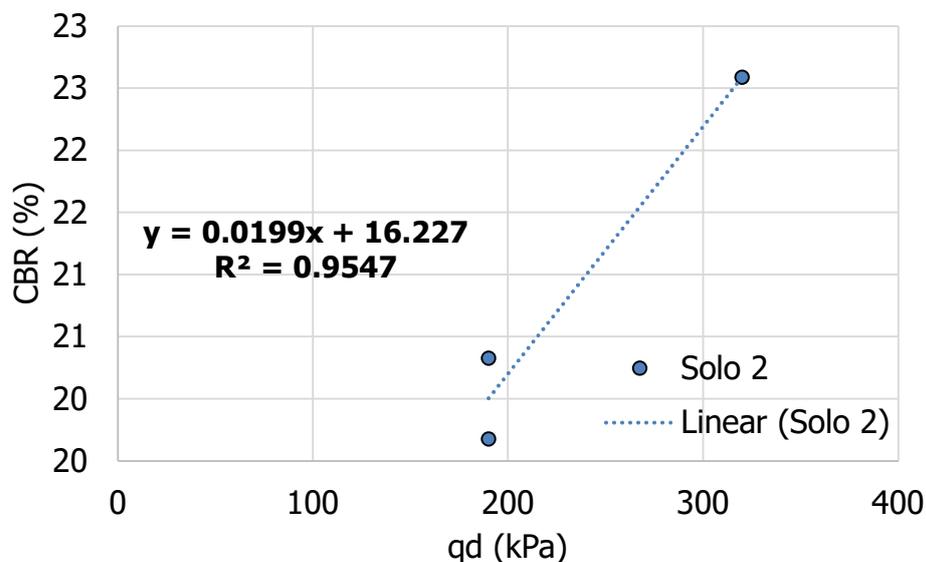
Figura 18 - Gráfico resistência de ponta versus CBR para o solo 1



Fonte: Elaborado pelos autores



Figura 19 - Gráfico resistência de ponta versus CBR para o solo 2

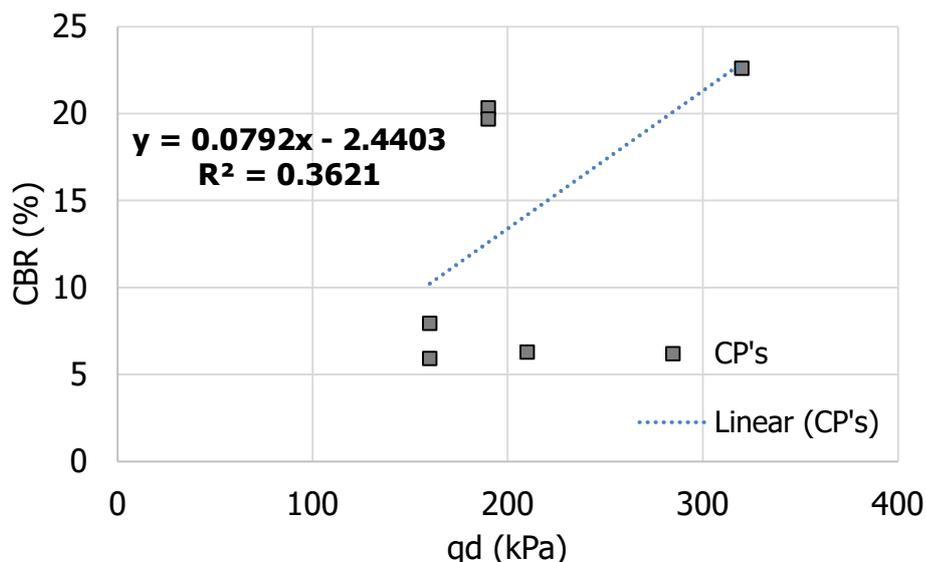


Fonte: Elaborado pelos autores

Foi observado na figura 18 que o processo de regressão linear do solo 1 forneceu um coeficiente de determinação $R^2 = 11,8 \%$, mostrando ser uma correlação fraca, onde 11,8% da variação do CBR é explicada pela variação da resistência de ponta do ensaio PDL (qd). Já na figura 19 observou-se que o processo de regressão linear do solo 2 forneceu um coeficiente de determinação $R^2 = 95,4 \%$, mostrando ser uma correlação forte.

Foi desenvolvido um gráfico de dispersão, entre o índice CBR e a resistência de ponta considerando, de forma conjunta, os resultados obtidos para os dois tipos de solos, conforme figura 20.

Figura 20 - Gráfico resistência de ponta versus CBR



Fonte: Elaborado pelos autores

A partir da figura 20, percebe-se que o processo de regressão linear forneceu um coeficiente de determinação $R^2 = 36,2\%$, evidenciando uma relação fraca entre as variáveis.

CONCLUSÕES

O presente artigo avaliou a correlação entre os resultados dos ensaios PDL (Penetrômetro Dinâmico Leve) e CBR (*California Bearing Ratio*), realizados em laboratório em corpos de prova de solo argiloso e solo com pedregulhos. Verificou-se uma correlação positiva entre a resistência de ponta e o CBR na maioria das análises realizadas. O coeficiente de correlação obtido para o solo argiloso sugeriu uma correlação forte entre os resultados do PDL e CBR. Para o solo com pedregulhos, a correlação foi fraca.

Com os resultados obtidos da correlação, pode-se observar que os ensaios de CBR e PDL têm finalidades parecidas. O ensaio CBR envolve medidas de pressão/penetração com força contínua, e o PDL, a pressão/penetração com impacto sobre o material. Portanto, o ensaio de laboratório CBR fornece um estudo mais completo do material, assim, pode-se obter resultados em que o material se encontra na pior situação. Entretanto, o PDL fornece uma análise dos parâmetros do material obtidos in loco, na condição natural a que se encontra, se tornando um ensaio mais limitado, apesar da sua versatilidade e praticidade de execução.

Considerando outros estudos similares ao aqui apresentado, percebe-se uma grande eficiência do PDL na obtenção rápida de parâmetros de um determinado solo. Esse método apresenta várias vantagens como a possibilidade de ser aplicado a locais de difícil acesso e o baixo custo envolvido em sua execução.

Cabe ressaltar que o estudo realizado neste trabalho é introdutório, dada a baixa quantidade de corpos de prova ensaiados. Foram utilizados apenas 6 corpos de provas para a análise da correlação entre os ensaios devido ao curto prazo para realização do trabalho. Portanto, como sugestão para trabalhos futuros propõe-se o emprego de uma maior quantidade de corpos de prova para o estudo da correlação entre os ensaios PDL e CBR.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos dado saúde e força para superar todas as dificuldades durante o processo. A nossas famílias, pais, irmãos, filhos, por compreender nossa ausência enquanto nos dedicávamos a este curso, pelo incentivo, apoio incondicional e todo o amor depositado sobre nós durante esse período.

Ao Centro Universitário UNA Itabira, seu corpo docente, direção, administração e todos os nossos professores que foram essenciais no nosso processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendemos ao longo dos anos do curso.

Ao nosso orientador Harley Francisco Viana, por todo o suporte no tempo que lhe coube, por abdicar de seus tempos vagos para nos auxiliar, pelas suas correções e incentivos.

Ao laboratório, pela disponibilização de seus aparatos além do fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho e aos seus laboratoristas José Virtuoso e José Luciano por todo auxílio, disponibilidade e dedicação ao nos dar todo o suporte necessário para as pesquisas.



Aos nossos colegas de curso, com quem convivemos intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que nos permitiram crescer não só como pessoa, mas também profissionalmente.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES FILHO, Carlos Eduardo Sales. **Correlações para obtenção de parâmetros geotécnicos de argilas compressíveis com utilização do penetrômetro dinâmico leve**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Ouro Preto. 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia**. Rio de Janeiro, 1987.

BARRA, R. B. M. et al. **Elaboração de rede PERT/CPM na indústria da construção civil através da utilização do software MS Project: Um estudo de caso**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2013, Salvador/BA, 2013.

CALADO, Ana Claudia Almeida et al. **Análise pedológica e geotécnica na avaliação da suscetibilidade à erosão e dispersão dos solos do Estado do Ceará**. In: XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **DNER-ME 049/94: Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro, 1994.

DIN 4094-1. **Subsoil-Field Investigations-Part 1: Cone Penetration Tests**, Berlin, 25p, 1964.

DIN EN ISO 22476-1:2013. **Geotechnical Investigation And Testing - Field Testing - Part 1: Electrical Cone And Piezocone Penetration Test**. Berlin, 2012.

FRONZA, C. S. et al.; **Determinação da granulometria e análise das condições operacionais do peneiramento de painço (*Panicum miliaceum*)** Disponível em: <<https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/15966/13087>>

LIMA, Rosa Malena Fernandes; LUZ, José Aurélio Medeiros da. **Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes**. Revista Escola de Minas, v. 54, p. 155-159, 2001.

MARSON, M. **Análise Crítica da Classificação MCT para Solos Tropicais. p 216. Dissertação de Mestrado**. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos



Campos, 2004.

MANUAL DE TÉCNICA DE PAVIMENTAÇÃO. Disponível em: <http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao_rodoviaria_hr_b.pdf>

MARTINS, Cátia Vanessa Macedo. **Análise Granulométrica e Distribuição dos Parâmetros de Forma e Textura de Areias Através do Processamento de**

Imagens Digitais. Dissertação de mestrado - Universidade do Porto, 2020.

MARTINS, J.; MIRANDA, T. **Ensaio de Penetração nos Solos Graníticos da Região Norte de Portugal. Algumas Correlações**. Universidade do Minho, 2003. Disponível

MEDINA, J. **Notas Históricas acerca da Mecânica dos Pavimentos** – In: 23ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO. Florianópolis, RS, 1988. V. 01 p. 330 – 345.

PEREIRA, Telma Carreira. **Uma contribuição para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de materiais granulares compactos, com recurso penetrômetro dinâmico ligeiro**. Dissertação de mestrado - Universidade do Porto, 2010.

SARNÁGLIA, M. C.; PIRES, P. J. M.; SILVA, R. S. **Estudo das Correlações entre o Ensaio PDL e os Ensaio CBR, CPT e SPT**. Projectus, v. 2, n. 2, 4. Maio, 2018.

SILVA, Fernanda Arruda Nogueira Gomes da; SAMPAIO, João Alves. **Análise Granulométrica Por Peneiramento**. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2007. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1020/1/Cap%203%20Peneiramento.pdf>>.

SOUZA, A. R. **Estudo comparativo dos ensaios de CBR e Mini-CBR para solos de Uberlândia – MG, 114p**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

SUPORTE. **Compactação de Solos - Ensaio Geotécnicos - O Ensaio e as Energias de Compactação**. Disponível em:

<<https://www.suportesolos.com.br/blog/compactacao-de-solos-ensaios-geotecnicos-o-ensaio-e-as-energias-de-compactacao/68/>>. Acesso em: 1 set. 2022.

ZAINÉ, José Eduardo. **Mapeamento geológico- geotécnico por meio do Método do detalhamento progressivo: Ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2000.

Ata da defesa de trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil

Às 20:30 horas do dia 05 do mês de dezembro de 2022, reuniu-se para a defesa pública *online*, por meio da plataforma Zoom, junto ao Centro Universitário UNA - Itabira, a Banca Examinadora de Trabalho de Conclusão de Curso para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **Estudo da correlação entre os ensaios de laboratório PDL e CBR**, escrito pelos alunos Ezequiel Martins Gonçalves, Francis Flaviano Femandes, Leonardo Alves Alvarenga, Raphaela Kelly Dias Nascimento, Samuel Rocha Marques, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Abrindo a sessão, o Presidente da Banca, Professor orientador Harley Francisco Viana após dar conhecimento aos presentes do procedimento de defesa, passou a palavra aos alunos para apresentação oral do trabalho. Após a apresentação do trabalho, os alunos foram arguidos pelos membros da banca. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se, sem a presença dos alunos e do público, para julgamento e expedição do resultado final. A banca examinadora atribuiu as seguintes notas:

	Trabalho escrito (10)	Apresentação Oral (10)
Notas	8,8	8,5
Média Aritmética	8,7	

Os alunos foram considerados **APROVADOS** com Nota Final 8,7, sendo esse resultado final comunicado publicamente pelo Presidente da Banca Examinadora.

A publicação do conceito final fica condicionada a postagem de uma cópia definitiva da versão digital do trabalho em pdf (incluir a folha de assinaturas assinada) no RUNA, com todas as correções solicitadas pela banca, bem como da autorização para publicação do trabalho pelo Centro Universitário Una - Itabira (termo de cessão de direitos).

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Banca Examinadora.



Prof. Harley Francisco Viana
Prof. Orientador



Profa. Bruna Gobbo Aguiar
Examinador 1



Prof. Edcarlos A. Nunes Coura
Examinador 2

Itabira, 5 de dezembro de 2022.