AVALIAÇÃO DE ÍNDICES FÍSICOS, MECÂNICOS E ESTRUTURAIS DO SOLO, APLICADO A PAVIMENTAÇÃO.

EMANOEL RAMON DE MORAIS[1]

RESUMO

O presente artigo aborda uma linha de pesquisas teórica e experimental, avaliando os índices físicos, mecânicos e estruturais dos solos, para uso na pavimentação. Identificar os fatores que compromete a qualidade do solo e encontrar a umidade ótima e o nível de compactação para pavimentação desejada através de ensaios para determinar, limite de liquidez, limite de plasticidade, análise granulométricos e mecânicos (compactação). Os resultados demostraram a grande importância para o engenheiro civil analisar o solo com mais rigor, não devendo simplesmente analisar em sua totalidade, tão somente, através de uma amostra, pois o solo é extremamente complexo e que varia de lugar para lugar.

PAPAVRAS-CHAVES: SOLO. ÍNDICES FÍSICOS, ESTRUTURAIS. PAVIMENTAÇÃO.

EVALUATION OF PHYSICAL, MECHANICAL AND STRUCTURAL INDEXES OF THE SOIL, APPLIED TO PAVING.

ABSTRACT

This article discusses a range of theoretical and experimental researchs, assessing the physical, mechanical and structural indices of soils for use in paving. Identify the factors that affects the quality of soil and find the optimum moisture content and the compression level desired paving through tests to determine liquid limit, plastic limit, particle size distribution analysis and mechanical (compression). The results demonstrated the great importance for the civil engineer to analyze the soil with more rigor and should not simply look at the all, so only through a sample, because the soil is extremely complex and it varies from place to place.

KEYWORDS: PHYSICAL INDEXES. STRUCTURAL INDEXES. PAVING.

1. INTRODUÇÃO

Na pavimentação existem diversos tipos de matérias a serem utilizados para sua construção, bem como: solos, ligantes, cimento, cal, polímeros, água, dentre outros. Porém para delimitação do tema foi trabalhado sobre o material solo por apresentar grande importância na construção civil em geral. Na pavimentação, o solo necessita de grande controle, pois tratar-se de obras linearmente extensas onde se

[1]Universidade Potiguar (UNP/RN); e-mail: emanoelramon@outlook.com>

encontra uma diversidade de solos com características variadas. Por tanto o engenheiro deve reconhecer que o solo é extremamente complexo que varia de lugar para lugar e que não podemos simplesmente analisar em sua totalidade, tão somente, através de uma amostra. Portanto, a importância de estudar o solo está no fato de que com isso se obtém-se uma maior estabilidade dos solos e, consequentemente, da obra através do uso de métodos adequados e fundamentos científicos pertinentes, visando o aprimoramento das técnicas construtivas a fim de se evitar riscos de grandes amplitudes em três dimensões: proprietário, projetista e construtor [4].

Segundo Caputo [4], para o engenheiro civil é de suma importância conhecer a origem dos solos da região em que ira trabalhar e, também, ter informações relativas à formação dos mesmos. Engenheiros civis devem ter em conta, quando trabalharem com o solo, pois estão lidando com um material intrinsecamente variável e complexo.

O comportamento dos solos não pode, portanto, ser previsto com o mesmo grau de certeza dos demais materiais estruturais comuns, ou seja, materiais de construção como a madeira, o aço, o concreto e outros. Desta forma, o engenheiro civil deve ter em mente que os problemas relacionados com os solos, querem no campo ou em laboratório, são inerentemente complexos e é um erro tentar simplificá-los [4].

Estas razões justificam a necessidade de conhecer em detalhe os solos para determinar o seu uso e de ter o conhecimento mais próximo do real possível para que se possam elaborar projetos com um grau de confiabilidade maior. Dessa forma identifica-se à importância de avaliar os índices físicos e estruturais dos solos aplicados a pavimentação, pois os índices químicos tem uma representatividade menor. Segundo Caputo [4] desde que não interfira no ligante asfáltico para a aglomeração das partículas.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

A necessidade do homem trabalhar com os solos, encontra sua origem nos tempos mais remotos, podendo-se mesmo afirmar ser tão antiga quanto a civilização Recordem-se, entre outros, os problemas de fundações e de obras de terra que terão surgido quando das grandes construções representadas pelas pirâmides do Egito, os templos da Babilônia, a Grande Muralha da China, os aquedutos e as estradas do Império Romano [4].

O solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólidas, deixando entre si vazios que poderão estar parcial ou totalmente preenchidos pela

água. É, pois, o caso mais geral, um sistema disperso formado por três fases: sólida, líquida e gasosa [4].

Os pavimentos flexíveis, em geral associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial asfáltica (revestimento), apoiada sobre camadas de base, de sub-base e de reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e espessura das camadas, e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas [2].

Para os materiais de base, sub-base e reforço do subleito, empregam-se métodos de seleção e de caracterização de propriedades. A seleção é uma etapa preliminar que consiste em averiguar os materiais disponíveis quanto às características de natureza para serem empregados na estrutura dos pavimentos. As características de natureza interferem nas propriedades geotécnicas no estado compactado. De maneira geral, os materiais de pavimentação compactados devem apresentar-se resistentes, pouco deformáveis e com permeabilidade compatível com sua função na estrutura. Os materiais são basicamente constituídos por agregados, solos e, eventualmente, aditivos como cimento, cal, emulsão asfáltica, entre outros [2].

2.1 Ensaio de Proctor normal

O ensaio Proctor Normal visa conhecer as propriedades de teor de umidade peso especifico seco e energia de compactação. Os dados extraídos através deste ensaio são aplicados em execução de aterros, camadas constituídas de pavimentos, fundações muros de arrimo, barragens entre outros. A importância do controle da compactação dos solos está na busca em melhorar as propriedades do solo, para que a resistência do solo, diminuindo a permeabilidade e a deformação com a redução do volume de vazios.

Segundo Ralph Proctor (1933) “...a densidade que o solo atinge quando compactado sob uma dada energia de compactação depende da umidade do solo no momento da compactação”.

A FIGURA 1 representa a curva a qual Ralph Proctor através de ensaio experimental determinou a curva de compactação de um solo, tendo a massa especifica seca (g/m^3) x teor de umidade em porcentagem (%). O ensaio de Proctor normal é normatizado pela NBR 7182-86 conforme QUADRO 1.

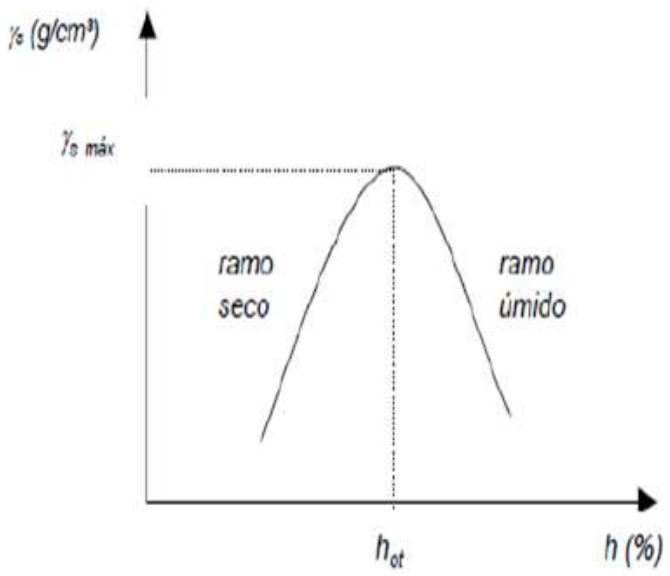


Figura 1: Curva de compactação de um solo.

Fonte: Caputo [2].

Quadro 1: Ensaio de Proctor normatizado pela NBR 7182-86

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

Conforme a granulometria do solo tem se a curva mais aberta ou mais fechada (FIGURA 2).

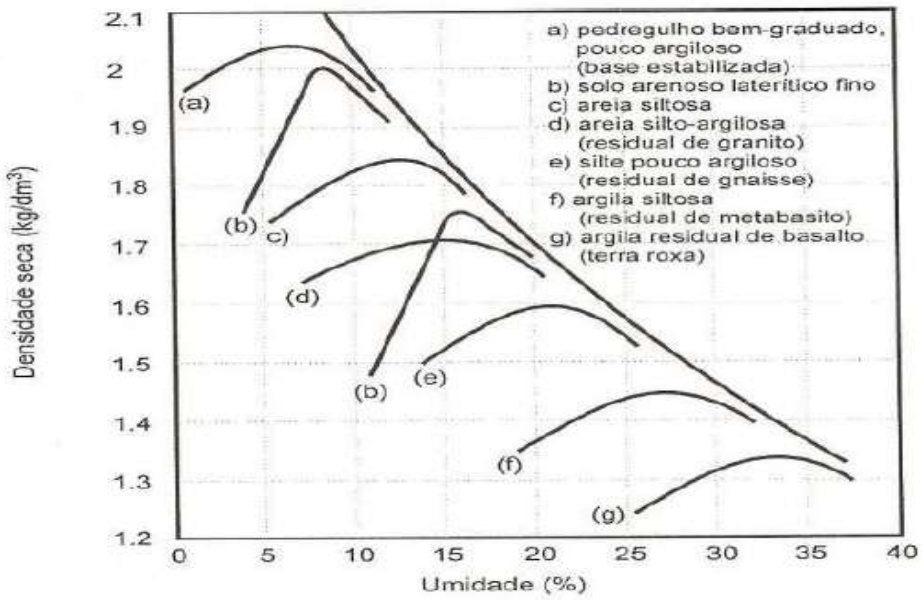


Figura 2: Curva do solo de acordo com a granulometria.
Fonte: Caputo [2].

2.2 Limite de liquidez

Segundo a NBR-6459, a determinação do limite de liquidez (LL) é feita pelo aparelho de Casagrande (FIGURA 3), onde é mostrado, também, o cinzel correspondente ao tipo de solo, que consiste em um prato de latão, em forma de concha, sobre um suporte de ebonite; por meio de um excêntrico imprime-se ao prato, repetidamente, quedas de altura de 1 cm e intensidade constante.

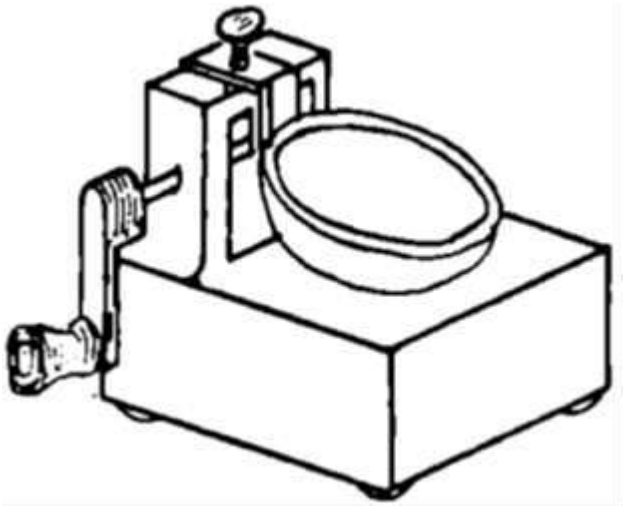


Figura 3: Aparelho de Casagrande.
Fonte: Caputo [2].

Por definição, o limite de liquidez (LL) do solo é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com 25 golpes. De acordo com os estudos do Federal Highway Administration, o LL pode também ser determinado, conhecido um só ponto, por meio da Equação (1):

$$LL = h/1{,}4\ 1\ 9 - 0{,}3 \log n \qquad (1)$$

onde h é a umidade, em porcentagem, correspondente a n golpes.

O emprego da Equação (1) é facilitado tabulando-se o denominador para diferentes valores de n, tal como indicado no QUADRO 2.

Quadro 2: Denominador da Equação 1 para o cálculo do limite de liquidez (LL). Fonte: CAPUTO [2].

n	$1{,}419 - 0{,}3 \log n$	n	$1{,}419 - 0{,}3 \log n$
15	1,066	28	0,985
16	1,059	29	0,980
17	1,050	30	0,976
18	1,043	31	0,972
19	1,036	32	0,968
20	1,029	33	0,964
21	1,023	34	0,960
22	1,017	35	0,956
23	1,011	36	0,952
24	1,005	37	0,948
25	1,000	38	0,945
26	0,995	39	0,942
27	0,990	40	0,939

2.3 Limite de plasticidade

Segundo a NBR 7180, a plasticidade é um estado de consistência circunstancial que depende da quantidade de água presente no solo (teor de umidade), bem como da presença natural de argilominerais na fração fina. Plasticidade, em Mecânica dos Solos, é definida como sendo a propriedade que o solo apresenta de sofrer deformações muito grandes sem fissurar e sem variação de volume. Só é exibida por solos argilosos e, neles, em grau tanto maior quanto mais ativa for a argila (quanto mais enriquecida for em termos da quantidade e tipos de minerais argílicos).

Limite de plasticidade (LP) é de fundamental importância para a avaliação de muitas propriedades de engenharia do material solo, parâmetros estes que contribuíram para a elaboração de melhores sistemas de classificação dos solos, por apresentarem elementos mais representativos do comportamento dos solos.

O limite de plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da porcentagem de umidade para a qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, com ele, um cilindro de 3mrn de diâmetro e cerca de 10 cm – MB-31 (FIGURA 4).

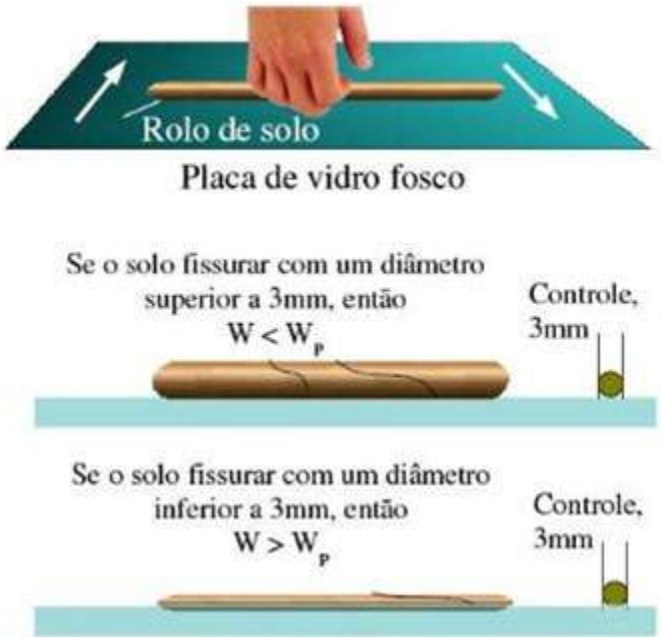


Figura 4: Limite de plasticidade (LP).

Fonte: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAZZQAA/apostila-mecanica-dos-solos?part=6

2.4 Índice de plasticidade

Segundo CAPUTO [2], para encontramos o índice de plasticidade deve-se calcular a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade (Equação (2).

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

onde,

LP = Limite de Plasticidade

LL = Limite de liquidez

IP = Índice de plasticidade

O IP define a zona em que o terreno se acha no estado plástico e, por ser máximo para as argilas e mínimo, ou melhor, nulo para as areias, fornece um critério para se ajuizar do caráter argiloso de um solo. Assim, quanto maior o IP, tanto mais plástico será o solo. Quando um material não tem plasticidade (areia, por exemplo), considera-se o índice de plasticidade nulo e escreve-se IP = NP (não plástico).

Sabe-se que uma pequena porcentagem de matéria orgânica eleva o valor do LP, sem elevar simultaneamente o do LL; tais solos apresentam, pois, baixos valores para IP.

Sabe-se, ainda, que as argilas são tanto mais compressíveis quanto maior for o IP. Segundo Jenkins, os solos poderão ser classificados em [2]:

Fracamente plásticos . . . . . 1 < IP < 7

Medianamente plásticos . . . . . 7 < IP < 1 5

Altamente plásticos . . . . . IP > 1 5

2.5 Ensaio granulométrico por peneiramento

O ensaio granulométrico é utilizado para determinar a distribuição granulométrica do solo, em outras palavras, a percentagem em peso que cada faixa específica de tamanho de grãos representa na massa seca total utilizada para o ensaio. Representa a distribuição, ou porcentagem, dos diversos tamanhos de grãos, e determina as dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagem de ocorrência. Este ensaio é regido pela norma NBR7181 Solo - Análise granulométrica.

2.6 Índice de consistência

Define-se a consistência de um solo como sendo relativa ao grau de adesão/coesão entre as partículas sólidas e a decorrente resistência oferecida às forças que tendem a deformar ou romper a massa de solo (resistência ao cisalhamento). O comportamento de um solo argiloso varia bastante com o seu teor de umidade, podendo apresentar a sua consistência com a característica desde a do estado quase líquido (por exemplo, com a consistência de uma lama) até grau de consistência característico do estado sólido (por exemplo, na forma de artefatos cerâmicos – tijolos, telhas, etc.), passando por vários estados intermediários.

A consistência de um solo no seu estado natural, com teor de umidade h, é expressa numericamente pela Equação (3):

$$IC = (LL - h)/IP \quad (3)$$

onde,

IC = Índice de consistência

LL = Limite de liquidez

IP = Índice de plasticidade

h = Umidade Natural

sendo:

Muito moles(vasas)	IC < 0	R < 0,25 kg/cm²
Moles	0 < IC < 0,50	0,25 < R < 0,5 kg/cm²
Médias	0,50 < IC < 0,75	0,5 < R < 1 kg/cm²
Rijas	0,75 < IC < 1,00	1 < R < 4 kg/cm²
Duras	IC > 1,00	R > 4 kg/cm²

3. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa se caracteriza do tipo bibliográfico, descritivo e qualitativo, foi realizada na BR-405 entre o km-22 ao km-44.



Figura 5: Foto da BR-405 entre o km-22 ao km-44.

Fonte: Google Mapas (2014).

4. METODOLOGIA

Para a elaboração do trabalho foi feito pesquisa em revistas e internet procurando sempre sites e revistas de organizações governamentais e empresas voltada a área de pavimentação ou de estudos de solo [2,5,6]. Foi realizada uma pesquisa de campo (br-405, km22 ao KM44) que através de visita foram coletadas amostras de materiais, para que em laboratório da Universidade Potiguar fosse realizados ensaios para identificar os fatores que compromete a qualidade do solo, e encontrar a umidade ótima e o nível de compactação para pavimentação desejada. Todos os ensaios foram realizados conforme normas-ABNT [1] e manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DENIT).

4.1 Delineamento da pesquisa

Foi realizada coleta de matérias em campo, (BR-405 entre o km22 ao km44) para realização dos ensaios de granulometria por peneiramento, Proctor Normal (Compactação), Limite de Liquidez e Plasticidade. Os ensaios foram realizados no laboratório da Universidade Potiguar de acordo com as normas:

- Solo - Determinação do limite de liquidez NBR6459.
- Solo - Determinação do limite de plasticidade NBR7180.
- Solo - Análise granulométrica NBR7181.
- Solo - Ensaio de compactação NBR7182.

4.2 Parâmetros analisados

- Granulometria dos solos
- Compactação dos solos
- Limite de Liquidez
- Limite de Plasticidade
- Índice de Plasticidade
- Índice de Consistência
- Umidade do solo
- Umidade ótima
- Energia de Compactação

4.3 Tratamentos dos dados

Após o levantamento dos resultados, os dados foram interpretados através de gráficos, planilhas e modelos estatísticos para uma melhor interpretação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teor de umidade de campo

Para obtenção do teor umidade de campo foi utilizado o aparelho Speedy modelo G, balança de precisão e cápsula para realização da pesagem das amostras.

Obteva-se a FIGURA 6 a correlação obtida da umidade de campo e a umidade de laboratório.

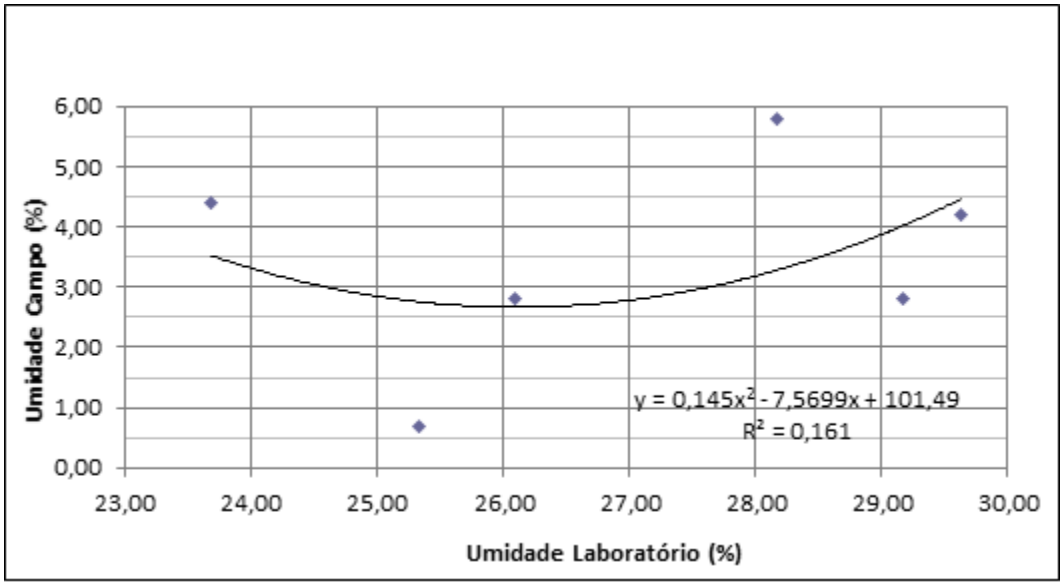


Figura 6: Correlação de umidade de campo versus umidade de laboratório.

5.2 Granulometria por peneiramento

Através do ensaio de granulometria por peneiramento obteve-se a curva granulométrica (FIGURA 7) das 6 amostras coletadas em campo, onde pode-se estimar as percentagem (em relação ao peso seco total), correspondentes a cada fração granulométrica dos solos.

A NBR 7211 classifica os solos de acordo com a: zona ótima: 2,20 < MF < 2,90; zona utilizável inferior: 1,5 < MF < 2,20; zona utilizável superior: 2,90 < MF < 3,50. O resultado do ensaio granulométrico por peneiramento (FIGURA 7) apresentou modo de finura 3,7 sendo assim uma zona utilizável superior.

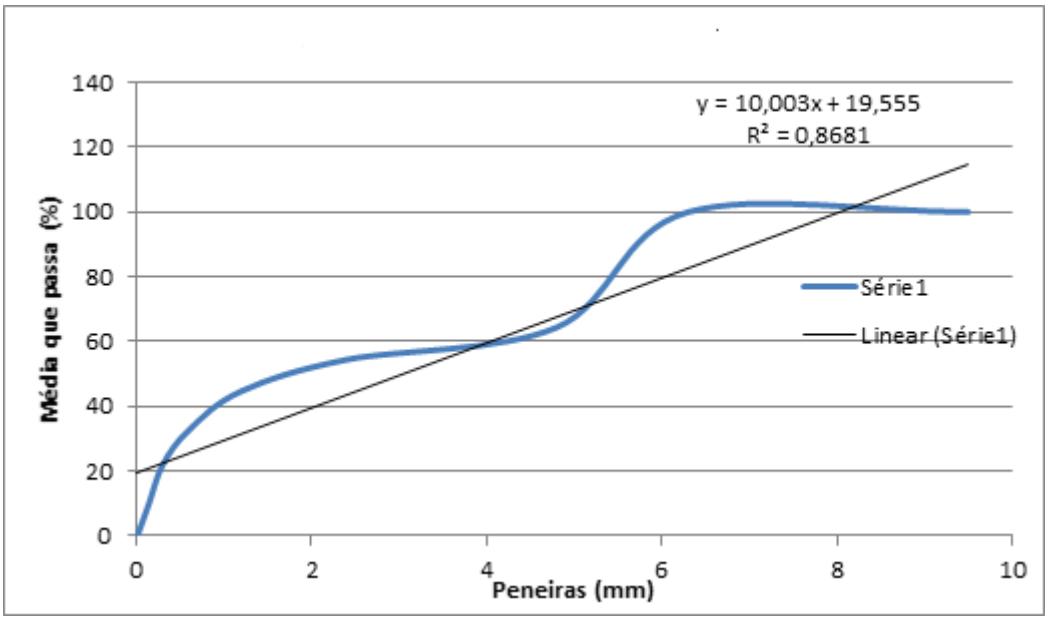


Figura 7: Gráfico da granulometria.

5.3 Compactação

A FIGURA 8 apresenta o gráfico da densidade específica em função da umidade.

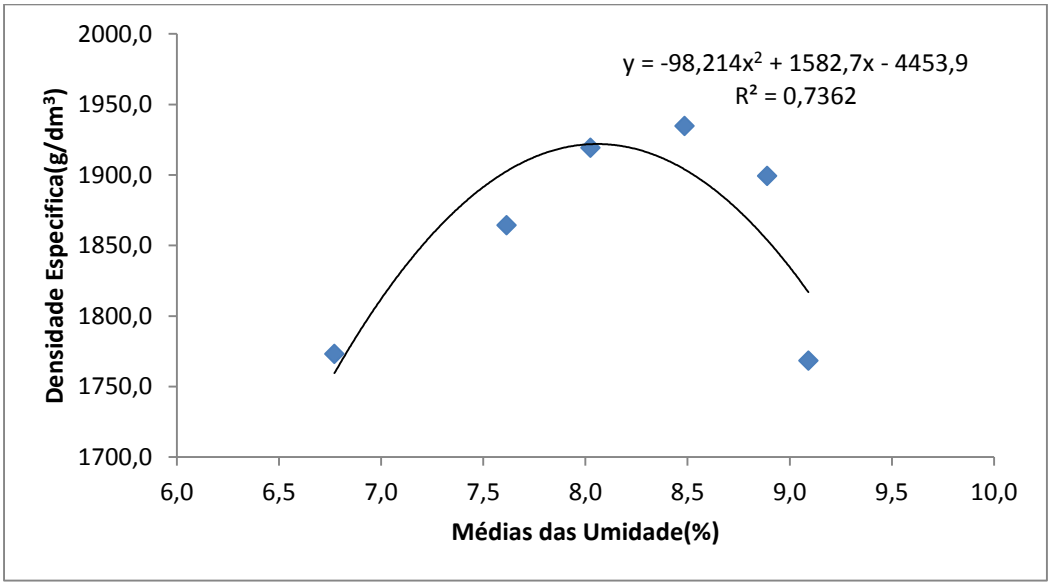


Figura 8: Gráfico da compactação.

5.4 Limite de liquidez

Através de dados obtidos em ensaio realizado em laboratório obteve-se a quantidade de umidade do solo (FIGURA 9), onde o mesmo muda do estado liquido para estado plástico, perdendo a sua capacidade plástica e de fluir.

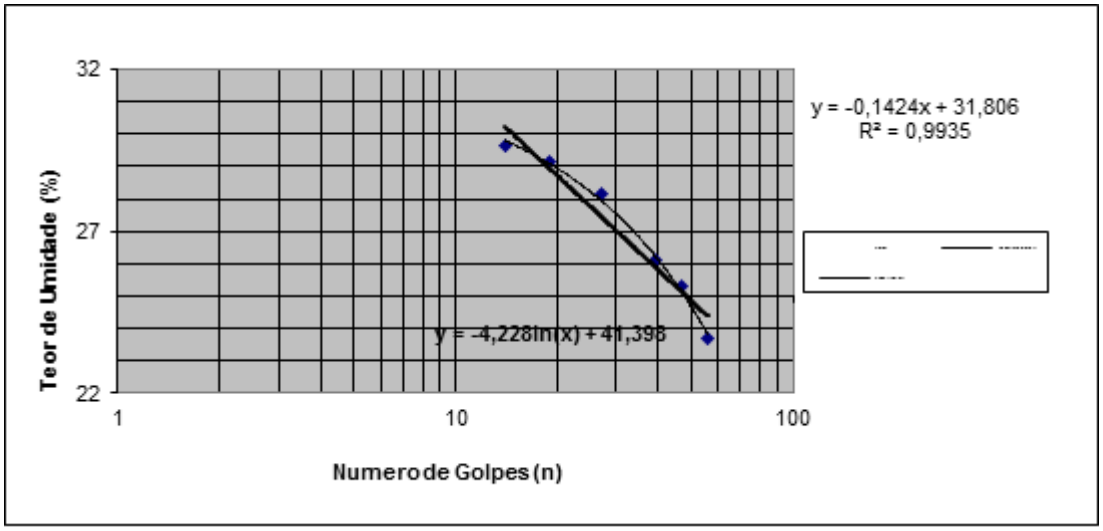


Figura 9: Limite de Liquidez.

5.5 Limite de plasticidade

No ensaio de plasticidade pode observar o teor de umidade onde o solo começa a se fraturar, quando se tenta moldar com ele um cilindro de 3mm (três) de diâmetro e aproximadamente da largura da mão 10cm.

5.6 Índice de plasticidade

Com os valores dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) obteve-se o índice de plasticidade (IP), qual classifica amostra do solo. Segundo a NBR7180 para calcular o IP foi utilizada a Equação (2).

IP = LL – LP

onde,

IP = 27,01% – 19,90%

IP = 7,11

sendo:

Fracamente plásticos. . . . . 1 < IP < 7

Medianamente plásticos. . . . . 7 < IP < 1 5

Altamente plásticos. . . . . IP > 1 5

Com este resultado o solo apresenta mediamente plástico.

5.7 Índice de consistência

A consistência do solo obtive-se através dos valos do limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (IP) e a umidade natural da amostra (h) expressa numericamente pela Equação (3):

$$IC = \frac{LL - h}{IP}$$

$$IC = \frac{27,01 - 3,45}{7,11} = 3,31$$

.

6. CONCLUSÃO

O solo o qual foi realizado os ensaios apresenta variados índices dando norteamento para sua característica.

Através da correlação da umidade de campo com a de laboratório identificou-se que 16,71% das variações da umidade de campo, são explicadas estatisticamente pela variação da umidade de laboratório. O ensaio granulométrico por peneiramento apresentou modo de finura 3,7 sendo assim resultando em zona utilizável superior. Através dos dados obtidos no ensaio de compactação foi possível identificar à energia de compactação de 6,25 kg/cm², a umidade ótima foi de 8,0% com massa especifica de 1900 g/dm^3.

Com os valores dos ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) obteve-se o índice de plasticidade (IP), e foi possível classificar a amostra do solo segundo a NBR7180 como mediamente plásticos por apresentar IP = 7,11. A consistência do solo pode ser classificada segundo a NBR-6502 como duras, pois apresentou como resultado o valor de IC igual a 3,31 e RC= 4,0 kgf/cm^2.

Os estudos dos solos são fundamentais para as diversas atividades humanas, pois ele é à base de todas as construções. Através dos ensaios realizados pode-se observar que o solo é um material intrinsecamente e variável e deve ter em mente que os problemas relacionados com os solos, querem no campo ou em laboratório, são inerentemente complexos e é um erro tentar simplificá-los. Os resultados demostra a grande importância para o engenheiro civil analisar o solo com mais rigorosidade, não devendo simplesmente analisar em sua totalidade, tão somente, através de uma amostra, pois o solo é extremamente complexo e que varia de lugar para lugar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-6502: Solos e rochas**. Rio de Janeiro, Brasil. ABNT, 1995.

[2] BERNUCCI, L. B., et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, Brasil. Petrobras: Abeda, 2006.

[3] BRESCIANI, D. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de um solo da formação palermo, estabilizado com aditivo perma zyme.** 2009. 156f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Santa Catarina. 2009.

[4] CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 6.Ed. Rio de Janeiro, Brasil. LTC, 1987-1988. 244 p.

[5] TISCOSKI, Douglas. **Análise da resistência a compressão simples da mistura solo cimento e perma zyme para fins rodoviários.** 2009. 93f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Santa Catarina. 2009.

[6] VARGA, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo, Brasil. McGraw-Hill, 1977. 509 p.