AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO MECÂNICO DE UM SOLO

JOAO PAULO SILVEIRA MAIA[1], JOAO FELIPE MOURA DE SOUSA[2], CICERO LUIZ CÂMARA JUNIOR[3]

RESUMO

A fim de avaliar o comportamento físico mecânico de um solo por meio de ensaios de limite de liquidez, limite de plasticidade e compactação, através do método de proctor intermediário. Estudo na estrada de Lagoinha localizada na zona rural de Mossoró/RN. Experimento conduzido no período de março a abril de 2014. Os parâmetros analisados foram densidade máxima do solo, umidade ótima, umidade de campo, umidade de laboratório, índice de plasticidade, índice de consistência. O delineamento experimental foi o principio da amostragem de dados não probabilísticos por convenção de 1% estudado onde foram analisados os parâmetros e as variáveis. Os tratamentos representados por seis ensaios de diferentes estacas obtendo os seus valores médios. Os resultados evidenciaram que 60,54% dos ensaios de liquidez foram precisos. A plasticidade estudada caracteriza-se como “fracamente plástica”. Índice de consistência 2,761% demostra que o solo é “duras”. O gráfico de plasticidade apontou que é um “solo sem coesão”. O ensaio de compactação revelou que densidade máxima seca será de 1,951 kg/cm³ e umidade ótima estabelecida pelo ensaio 11,1%. A correlação do gráfico umidade de campo × umidade de laboratório mostra que 79,91% das variações da umidade de campo são explicadas estatisticamente pela umidade de laboratório.

PALAVRAS-CHAVES: COMPACTAÇÃO. ÍNDICES FÍSICOS. SOLO.

EVALUATION OF THE PHYSICAL MECHANICAL BEHAVIOR OF A SOIL

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the mechanical physical behavior of a soil by means of liquidity limit test, plastic and compression limit, using the method of intermediate proctor. The study was developed on the road to Lagoinha located in the rural zone of Mossoró city. The experiment was conducted from march to april 2014. The analyzed parameters were maximum density, optimum moisture content, field moisture, humidity laboratory, plasticity index, consistency index. The experimental design was the principle of non-probabilistic sampling data conventionally defined as 1% of studied, which are 6 stakes that the parameters and variables were analyzed from. The treatments consisted of 6 tests of different stakes getting their mean. The results showed that 60.54% of the liquidity tests were accurate. The plasticity studied is characterized as "weakly plastic." 2.761%

[1]Engenharia Civil, Universidade Potiguar (UNP/RN), e-mail: joaopaulosmaia@hotmail.com
[2]Engenharia Civil, Universidade Potiguar (UNP/RN); e-mail: felipesausa_civil@yahoo.com.br
[3]Professor, Engenharia Civil, Universidade Potiguar (UNP/RN); e-mail: ccamarajunior@hotmail.com

consistency index demonstrates that the soil is "hard". The plasticity chart showed that it is a "soil without cohesion." The compaction test revealed in its chart that its maximum dry density will be 1.951 kg/cm³ and its optimum moisture content established by the test is 11.1%. The correlation chart field moisture × laboratory moisture shows that 79.91% of the humidity field variations are statistically explained by moisture laboratory.

KEY WORDS: Compaction. Physical indices. Soil.

1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade do homem de trabalhar com os solos e a evolução dos meios de transporte terrestres, na busca de alimentação e água, procurava deixar os caminhos entre sua caverna e os campos de caça ou poços de água em condições que permitissem sua passagem, sendo assim estava atingindo o principio básico de uma estrada, que nada mais e do que criar caminhos que seja de fácil acesso para os deslocamentos diários entre pontos extremos ou intermediários, com isso a necessidade do homem aprofundar sobre o assunto.

Em vista disto, o estudo do comportamento do solo frente às solicitações a ele impostas por obras é de fundamental importância, com a base na origem dos seus constituintes, solos podem ser divididos em dois grandes grupos: solos residuais, se os produtos da rocha intemperizada permanecem ainda no local em que se deu a transformação e solo transportado, quando os produtos de alteração foram transportados por um agente qualquer, para local diferente ao da transformação.

No entanto nos últimos anos ocorreu um crescimento populacional acelerado em alagoinha, zona rural do município de Mossoró/RN, considerando que a problemática será de como um solo se comporta frente às solicitações físicas e mecânicas, então temos, como objetivo geral analisar as propriedades físicas e mecânicas do solo na estrada, para que este seja alcançado, deve-se coletar amostras, para realizar os ensaios laboratoriais, tais como limite de consistência, liquidez e plasticidade, ensaios de compactação pelo de proctor normal, afim de obter a umidade ótima desejável para se ter um níveis de compactação aceitável, tendo como justificativa da pesquisa à importância da localização privilegiada, para atividade agrícola, edificações e a grande especulação imobiliária, acredita-se que haja variação do comportamento físico e mecânico do solo na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da pesquisa

Para o pesquisador desenvolver bem seu trabalho o mesmo tem que estar provido de critérios científicos para elaboração do mesmo, como também seus resultados. O método característico utilizado foi bastante objetivo e lógico.

Para a efetivação desse estudo foi definida a temática de avaliação do comportamento físico e mecânico de um Latossolo vermelho-amarelo encontrado na cidade de Mossoró. Foi adotada a estrada de Lagoinha, mais especificamente na zona rural do município de Mossoró/RN, a qual dista cerca de 30 km da sede deste município, cujas coordenadas geográficas são 5º11" S e 37º20" W [6]. Uma vez que se trata de um ponto que sofre constantemente com o crescimento populacional e imobiliário.

2.2 Delineamento da pesquisa

Os ensaios para construção e levantamento dos resultados foram desenvolvidos no laboratório de engenharia da Universidade Potiguar no campus Mossoró-RN/Brasil.

2.3 Universo e amostra

O universo desta pesquisa compreende de um estudo realizado na estrada de piçarra de alagoinha. A extensão analisada da estrada compreende de 12 km de acordo com a Secretaria de Obras e Infraestrutura de Mossoró. Do universo estudado foram divididos em estacas distanciadas a cada 20 m, totalizando 600 estacas. Utilizou-se o principio da amostragem de dados não probabilística por convenção de 1% do universo estudado que compreende 6 estacas, que dessas foram analisado os parâmetros e as variáveis da pesquisa como mostra a FIGURA 1.

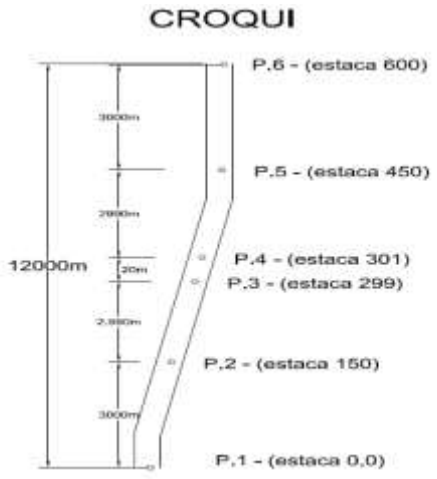

FIgura 1: Croqui da estrada.

2.4 Parâmetros analisados

2.4.1 Umidade do solo

Para realização do ensaio de umidade, foi utilizado o método do *Speedy Test*, padronizado pela DNER 52/94. Solos – Determinação da umidade com o emprego do Speedy Test. Rio de Janeiro, 1994. De acordo com Caputo [7,8] ele é constituído por um reservatório metálico fechado que se comunica com um manômetro destinado a medir a pressão interna. Dentro deste reservatório são colocados, em contato, certa quantidade de solo úmido e uma determinada porção de carbureto de cálcio (CaC2). A água contida no solo combinando-se com o carbureto de cálcio, gera acetileno, tal expressa a equação:

$$CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

(Carbureto de Cálcio + Água → Acetileno + Hidróxido de Cálcio)

Pela variação da pressão interna obtém-se a quantidade de água existente no solo. O mesmo será utilizado in loco para a realização da pesquisa, pois a umidade colhida será comparada com a umidade obtida em laboratório, sendo esta utilizada para cálculo do peso especifico. Assim mostrado na FIGURA 2 alguns procedimentos de campo.



Figura 2: Método do *Speedy test*, retirada da umidade do solo em campo.

2.4.2 Limite de liquidez

Para a realização de limite de liquidez foi utilizado o método de Casagrande que consiste em um prato de latão, em forma de concha, sobre um suporte de madeira conforme a norma NBR 6459 [3].

Para a realização deste procedimento foi necessário os seguintes equipamentos.

1. Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C-110°C e entre 60°C-65°C (atualmente se prefere 100-105º para a primeira faixa);

2. Bacia de porcelana com cerca de 120 mm de diâmetro;

3. Espátula de metal flexível com aproximadamente 80 mm de comprimento e 20 mm de largura;

4. Aparelho de Casagrande com características e dimensões padronizadas;

5. Cinzéis com as características e dimensões padronizadas;

6. Recipientes adequados, tais como pares de vidros de relógios com grampos, ou cápsulas de alumínio, que evitem perda de umidade da amostra;

7. Balança que permita pesar nominalmente 200 g, com resolução de 0,01 g e sensibilidade compatível ;

8. Gabarito para verificação da altura de queda (1 cm) da concha ;

O procedimento pode utilizar o método descrito através do modelo matemático abaixo conforme Caputo [7,8]).

$$LL = h/1{,}419 - 0{,}3 \log(n) \quad (1)$$

onde, LL é o limite de liquidez (%), h é a umidade (%), e n é o número de golpes.

O emprego da Equação (1) é facilitado tabulando-se o denominador para diferentes valores de n, tal como indica na TABELA 1.

TABELA 1- Determinação do número de golpes [7,8].

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

O ensaio foi realizado para cada amostra de campo obtendo assim 6 limite de liquidez diferente, portanto foi lançado os dados médio de cada amostra para gera um só gráfico a fim de obter o limite de liquidez médio.

2.4.3 Limite de plasticidade

Para a determinação do limite de plasticidade será necessário tomar metade da quantidade de amostra preparada de acordo com a NBR 6457, o equipamento necessário para a realização do ensaio e muito simples, tendo-se, apenas uma placa de vidro com face esmerilada e um cilindro padrão com 3 mm de diâmetro, o ensaio inicia-se rolando, sobre a face esmerilhada da placa, uma amostra de solo como um teor de umidade inicial próximo do ensaio de limite de liquidez, até que, duas condições sejam alcançadas, o rolinho tenha o diâmetro igual ao cilindro padrão ou apresente fissuras. Após conseguir que o cilindro atinge o desejado, quebra-se o mesmo em 3 ou 4 pedaços, transferindo o material para uma capsula de alumínio. Colocando-a na estufa durante um período de 24 h entre 105ºC a 110ºC, repetindo os passos anteriores de 2 a 5 vezes até se obter no mínimo material, assim para casa amostra será feita cinco etapas do procedimento como realizado no limite e liquidez a fim de se obter o limite de plasticidade média, através da média aritmética das umidades .

2.4.4 Índice de Plasticidade

O índice de plasticidade será determinado pela diferença entre os limites de liquidez e o de plasticidade (Equação 2), para a classificação utiliza-se os segundos parâmetros segundo Caputo [7,8].

$$IP = LL - LP \tag{2}$$

Fracamente plástico..... $1 < IP < 7$
Medianamente plástico..... $7 < IP > 15$
Altamente plástico..... $IP > 15$

2.4.5 Índice de consistência e resistência a compressão

Segundo Caputo [7,8] a consistência de um solo no seu estado natural, com teor de umidade h, é expressa numericamente pela Equação 3.

$$IC = (LL-h)/IP \tag{3}$$

onde, IC é o índice de consistência, LL é o limite de liquidez, h é a umidade, e IP é o índice plasticidade.

2.4.6 Compactação do solo

A compactação é um método de estabilização de solos que se dá por aplicação de alguma forma de energia (impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica). Seu efeito confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

Através do ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. O ensaio mais comum é o de Proctor (normal, intermediário ou modificado), que é realizado através de sucessivos impactos de um soquete padronizado na amostra.

Para a realização do ensaio conforme a NBR 7182/86 [5], a amostra coletada deve ser destorroada, até que passe integralmente na peneira de 4,8 mm ou na de 19 mm, respectivamente, após preparada, pesar o material a ser utilizado, retirando uma amostra de 6,0kg, juntar o material assim obtido numa bandeja e adicionando 5% de água (300 ml), revolvendo o material, de forma a homogeneizá-lo, uma porção de solo e colocada num cilindro padrão de (15,55 cm de diâmetro, 23,2 cm de altura), submetida a 26 golpes de um soquete com massa de 4,6 kg e caindo de 30,5 cm, o processo é repetido por mais quatro vezes, após compacta, retira-se o anel prolongador (15,55 cm de diâmetro, 5,55 cm de altura) e regulariza a superfície com o auxilio da régua bizotada de 30 cm, pesar o conjunto cilindro + solo compactado, com o auxilio de extrator retira o material e coleta uma amostra, a fim de, se obter a umidade, a amostra e destorroada e adiciona 2% de água (120 ml). A operação e repetida até que se perceba que a densidade, depois de ter subido, já tenha caído em duas ou três operações sucessivas. Nota-se que, quando a densidade úmida se mantém constante em duas tentativas sucessivas, a densidade já caiu. Sabendo que o ensaio começou, de fato, com 5% abaixo da ótima, e os acréscimos foram de 2% a cada tentativa, com 5 determinações o ensaio estará concluído.

Após realização do ensaio o gráfico de compactação será analisado conforme sua saturação (FIGURA 3), segundo Caputo [7,8].

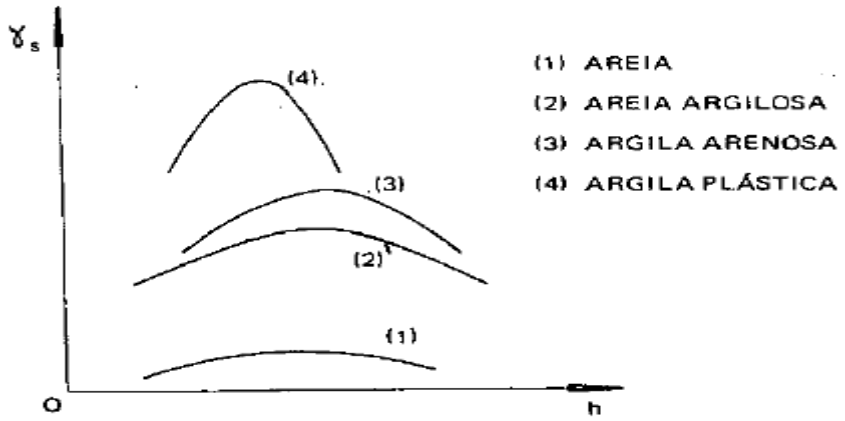

Figura 3: Gráfico de saturação.
Fonte: Caputo [7,8].

2.5 Tratamentos dos dados

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas e em programas estatísticos para uma melhor intepretação dos resultados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O nesta etapa serão apresentados o desenvolvimento da pesquisa, desde a escolha do local ate a seus resultados, onde foram feitos os devidos ensaios do procedimento de compactação, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade, índice de consistência, S*peedy test* e a correlação entre a umidade encontrada em campo × a umidade de laboratório, para, com isso analisar a eficiência dos ensaios. Segue abaixo a sequência de ensaios realizados.

3.1 Umidade

Para se estabelecer a precisão no ensaio de umidade, foram retiradas amostras de solo *in loco*, analisando cada ponto através de dois métodos, sendo um desses o método do *Speedy test*, que consiste no seguinte procedimento, retira-se o material, pesa-se 20 g, coloca na cápsula duas esferas de aço, seguida da ampola de carbureto de cálcio, deixando a deslizar com cuidado pela as paredes da capsula para não se quebrar, fecha-se o aparelho e agita-se repetidas vezes para quebra a ampola, que se verifica pelo o surgimento da pressão assinalada no manômetro, mostrando que o mesmo não se encontra mais em

zero, ler a pressão manométrica após esta apresenta constante, conforme TABELA 2, que indica que a reação se completou.

Tabela 2: Leitura da pressão manométrica

	Umidade de Campo		
	Speedy test (kgf/cm²)	Umidade (%)	Media da Umidade (%)
P1	1	5,20	6,175
P2	1,1	5,80	6,175
P3	1,9	10,55	6,175
P4	1,85	10,20	6,175
P5	0,55	2,80	6,175
P6	0,5	2,50	6,175

Observa-se na Tabela 2 que a cada pressão verificada no manômetro do *speedy test* (Kgf/cm²) existe uma umidade (%) correspondente. Para a obtenção de apenas uma umidade para a localização escolhida realizou-se o cálculo da umidade média, onde foi calculada pela Equação 4.

$$h_{média} = (h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+h_6)/5 \quad (4)$$

onde, h é a umidade (%).

As umidades retiradas em laboratório foram estabelecidas pelo seguinte método de verificação, primeiramente pesou-se as cápsulas a fim de se obter as respectivas taras, logo após colocarmos os materiais provenientes de cada ponto nas cápsulas, levou-se para balança de precisão, pensando o peso bruto úmido (peso do solo úmido + cápsula), o material foi levado para estufa e ficou por um período de 24 h a uma temperatura de 105ºC a 110ºC, após o tempo destinado retirou-se o material e verificou o peso bruto seco (peso do solo seco + capsula). Para obtenção da umidade (Equação 6) foram realizados cálculos para a obtenção do peso da água (Equação 4) e o peso do solo seco (Equação 5). Esses dados serão vistos na seguinte (TABELA 3).

$$Pa = P_{\gamma}u - P_{\gamma}s \quad (4)$$

$$Ps = P_{\gamma}s\ (g) - tara \quad (5)$$

$$h\ (\%) = (Pa / P_{\gamma}s) \times 100 \quad (6)$$

onde, Pa é o peso da água (g), P¥u é o peso bruto úmido (g), P¥s é o peso bruto seco (g), Ps é o peso solo seco, h é a umidade (%).

Considerando que foram estabelecidas as umidades através de métodos distintos, analisou-se um comparativo entres as umidades obtidas pelo método do *speedy test* e do laboratório (TABELA 3), elaborou-se um gráfico correlacionando os mesmos como visto na FIGURA 4.

Tabela 3 - Leitura da umidade em laboratório.

Amostra	CÁPSULA	P ¥u (g)	P ¥s (g)	Tara (g)	Pa (g)	h (%)	h med (%)	h med geral (%)
Amostra 1	C1	19,15	18,45	5,55	0,7	5,43	5,01	5,92
	C7	21,3	20,6	5,35	0,7	4,59		5,92
Amostra 2	C2	23,4	22,85	5,45	0,55	3,16	3,69	5,92
	C8	21,6	20,95	5,55	0,65	4,22		5,92
Amostra 3	C3	25,2	22,85	5,45	2,35	13,51	13,99	5,92
	C9	27	24,25	5,25	2,75	14,47		5,92
Amostra 4	C4	25,45	24,3	5,2	1,15	6,02	7,94	5,92
	C10	24,95	23,2	5,45	1,75	9,86		5,92
AmostrA 5	C5	30,75	30,03	5,4	0,72	2,92	2,59	5,92
	C11	30,2	29,65	5,35	0,55	2,26		5,92
AmostrA 6	C6	23,9	23,45	5,55	0,45	2,51	2,28	5,92
	C12	30,6	30,1	5,55	0,5	2,04		5,92

A TABELA 4 demostra as coordenadas geométricas para cada amostra colhida em campo especificando a veracidade da pesquisa, onde estas estão *in loco* demarcadas com estacas.

Tabela 4- Correlação da umidade de campo versus a umidade de laboratório.

PONTO	ESTACA	COORDENADAS (Google Maps, 24-03-2014)	SPEEDY TEST (%)	ESTUFA (%)
P1	0 + 0,0 m	LATITUDE 5° 8' 41,61" S LONGITUDE 37° 22' 15,06" O	5,2	5,01
P2	150 + 0,0 m	LATITUDE 5° 7' 13,85" S LONGITUDE 37° 22' 59,91" O	5,8	3,69
P3	299 + 0,0 m	LATITUDE 5° 5' 45,18" S LONGITUDE 37° 23' 42,12" O	10,55	13,99
P4	301 + 0,0 m	LATITUDE 5° 5' 40,75" S LONGITUDE 37° 23' 44,24" O	10,2	7,94
P5	450 + 0,0 m	LATITUDE 5° 4' 14,00" S LONGITUDE 37° 24' 20,20"	2,8	2,59

P6	600 + 0,0 m	O LATITUDE 5° 5' 46,49" S LONGITUDE 37° 23' 41,30" O	2,5	2,28

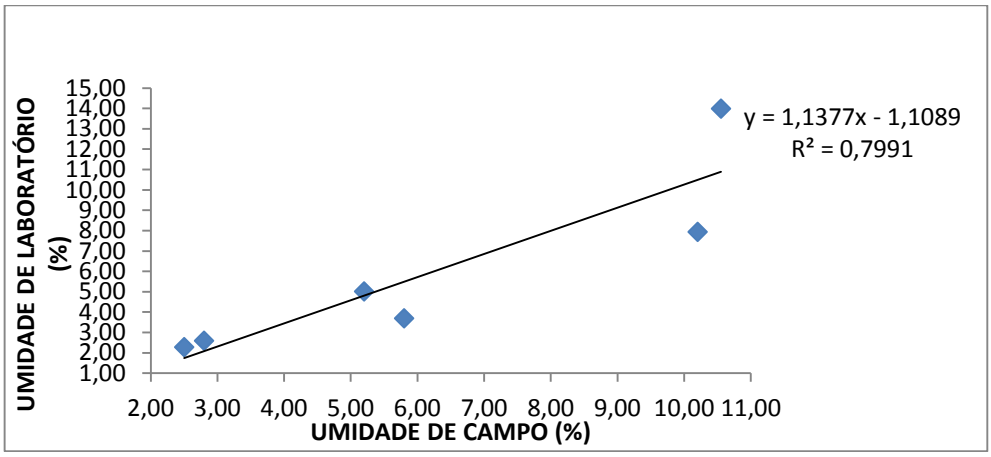

Figura 4: Gráfico da correlação estatística das umidades de campo e de laboratório.

Verificando-se a correlação dos dados (FIGURA 4) pode-se afirmar que cada ponto da umidade de campo e justificado pela a umidade de laboratório, o gráfico mostra que quando traçado a linha de tendência, através do valor de R^2, que 79,91% das variáveis da umidade de campo são explicadas estatisticamente pela umidade de laboratório.

3.2 Limites de liquidez

Nas amostras recolhidas, realizou-se ensaios para determinação dos limites de liquides através do método mais tradicional, conhecido como concha de Casagrande. A partir da análise do número de golpes x umidade, observou-se que quanto maior o número de golpes menor será sua umidade, pois a amostra passa de seu estado plástico para seu estado semissólido, conforme TABELA 5.

Tabela 5: Determinação de limite de liquidez (NBR [3]).

Cápsulas n°	01	02	03	04	05	06
N° de golpes	31	50	37	20	16	31
Peso bruto úmido (g)	23,46	25,52	20,68	23,26	22,34	24,82
Peso bruto seco (g)	21,88	23,86	19,52	21,16	20,48	23,75
Tara da cápsula (g)	7,38	6,62	8,40	8,04	8,42	8,44

Peso da água (g)	1,58	1,66	1,16	2,10	1,86	1,07
Peso do solo seco (g)	14,5	17,24	11,12	13,12	12,06	15,31
Umidade (%)	10,90	9,63	10,43	16,01	15,42	6,99

A determinação do limite de liquidez é aplicável em partículas inferiores a 0,05 mm. Os solos arenosos ficam excluídos desde ensaio, pois a pesquisa pode perder seu significado. Para cada amostra realizaram-se seis ensaios com o Casagrande. Segundo as normas de ensaios [3], recomenda-se o uso de um mínimo de quatro repetições a diferentes teores de água e ainda assim conseguir troçar a linha de tendência. Assim no total foram realizados 30 ensaios para concha de Casagrande em cada um dos solos, para determinação dos limites de liquide, como visto na TABELA 5.

Por sua vez, para ter uma ideia de alinhamento da linha de tendência, elaborou-se em gráficos com seus valores médios, obtidos por cada amostra (FIGURA 5).

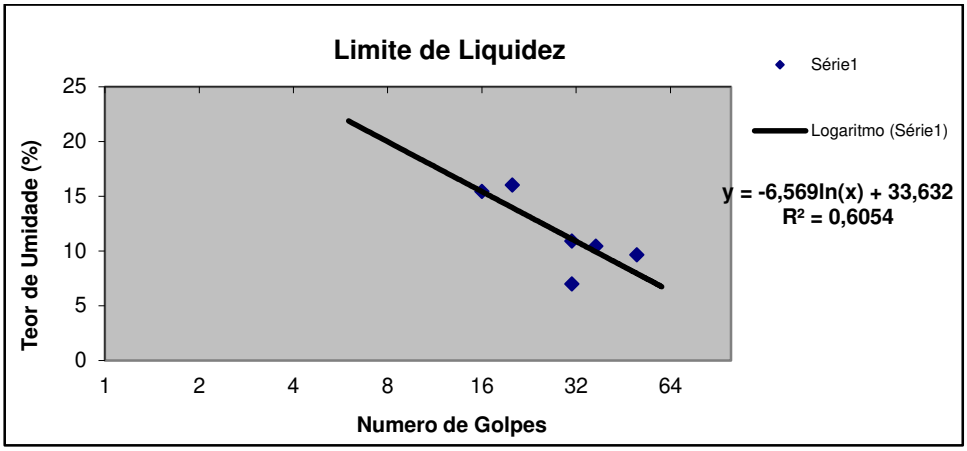

Figura 5: Gráfico de fluência (número de golpes × umidade).

Conclui-se que o traçado da linha de tendência, demostra na sua precisão estatística é de 60,54% (FIGURA 5), conforme o seu coeficiente de determinação R^2.

3.3 Limites de plasticidade

O limite de plasticidade, à semelhança se do limite de liquidez, só é aplicável aos solos com dimensões inferiores a 0,05 mm. Os solos predominantemente arenosos ficam excluídos deste ensaio, pois o mesmo perde o seu significado.

A partir da determinação do cálculo da porcentagem da umidade para qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldar, faz-se a média aritmética dos teores de umidades encontrados para cada “rolinho” moldado, obtêm-se os seguintes valores apresentados na (TABELA 6).

Vale salientar que para cada amostra realizou-se o limite de plasticidade, assim foram realizados 30 repetições, retirando-se os seus valores médios visto na TABELA 6.

Conclui-se que para cada limite de plasticidade realizado (tabela de resumo), demostra que o mesmo saiu do estado semissólido para o sólido.

TABELA 6- Determinação do limite de plasticidade (NBR [4]).

Cápsula n°	7	8	9	10	11	12
Peso bruto úmido (g)	12,20	13,12	12,42	11,36	12,56	12,32
Peso bruto seco (g)	11,83	12,76	12,10	11,00	12,12	12,09
Tara da cápsula (g)	7,82	8,48	8,32	8,34	8,52	8,14
Peso da água (g)	0,37	0,36	0,32	0,36	0,44	0,23
Peso do solo seco (g)	4,01	4,28	3,78	2,66	3,60	3,95
Umidade (%)	9,23	8,41	8,47	13,53	12,22	5,82

3.4. Índice de plasticidade

Segundo Caputo [7,8]) a diferença do limite de liquidez e o limite de plasticidade define seu índice de plasticidade, e quando não se tem plasticidade (areia, por exemplo) considera-se nulo, sabe-se que as argilas quanto maior for seu índice de plasticidade mais compressível são. Para Jenkins, os solos são classificados em três categorias.

Observa-se que quando calcula-se o limite de liquidez (11,56%) e seu limite de plasticidade (9,61%) obtêm-se um índice de plasticidade de 1,95%, considerando os parâmetros estudos demostra-se que o solo e fracamente plástico ou seja possui pouca compressibilidade outra característica apontado por esse índice pode ser demostrada pela seguinte FIGURA 6, que a partir do cruzamento do índice de plasticidade e seu limite de liquidez demostra que o solo estudo não possui coesão.

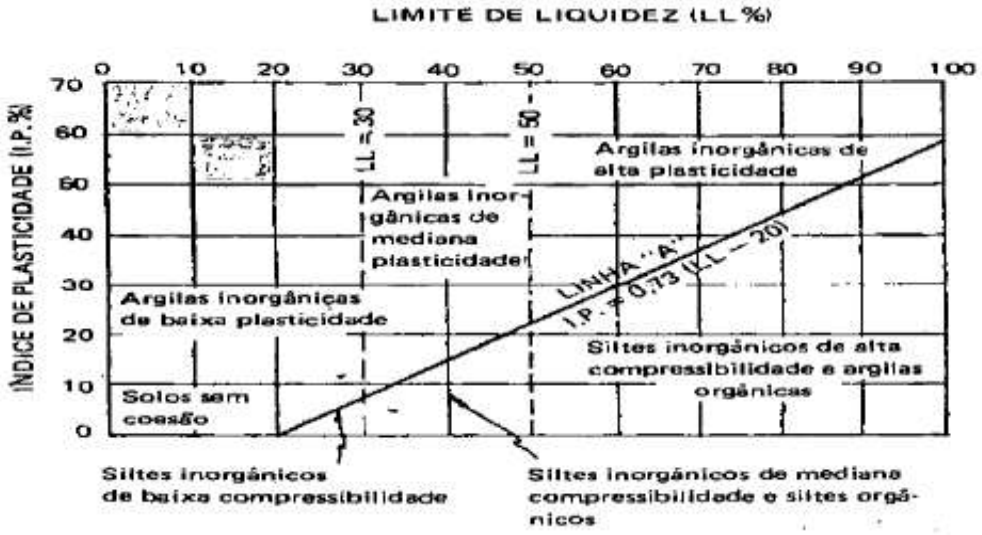

Figura 6: Gráfico de plasticidade.
Fonte: Caputo [7,8].

3.5.Índice de consistência

Considerando cálculos realizados pela expressão numérica do índice de consistência (Equação 3), que se dá pela diferença do limite de liquidez (LL=11,56%) e umidade média estabelecida em campo (h=6,175%), dividida pelo seu índice de plasticidade (IP=1,95%), foi obtido seguinte resultado de IC = 2,761.

Segundo a NBR 6502/80 à consistência dos solos finos podem ser divididos em muito moles, onde seu IC é menor que 0, para solos moles a variação do IC está entre os intervalos de 0 a 0,50, maiores que 0,50 até 0,75, são considerados médias, nos intervalos de maiores que 0,75 e menores que 1,00 são avaliados como rijas, acima de 1,00 como calculado na Equação 3, são considerados duras, ou seja, as que não podem ser moldadas pelos dedos e que , ao serem submetidas o grande esforço, desagregam-se ou perdem sua estrutura original. Segundo Caputo [7,8] associado ao índice de consistência a resistência a compressão simples desse solo é maior de que 4 kgf/cm².

3.6. Compactação dos solos

A compactação é um método de estabilização e melhoria do solo através de processo manual ou mecânico, visando reduzir os vazios do solo, segundo a NBR 7182 [5], a compactação é a relação entre o teor de umidade e a densidade máxima seca quando compactados.

Primeiramente é necessário calcular o volume do cilindro de proctor utilizado. Calculando o volume do cilindro, o ensaio segue com a determinação das umidades para os solos trabalhados. Para isso, o solo foi homogeneizado com 300 ml de água para o primeiro ponto e os demais com 120 ml de água, onde foram retiradas amostras e postas para secagem na estufa e calculados as densidades do solo seco afim de se obter a densidade máxima obtida. As TABELAS 7 e 8 resumem bem os cálculos realizados.

Com os dados obtidos, desenhou-se a curva de compactação, que consiste na representação da densidade seca em função da umidade, como se mostra na FIGURA 7, geralmente, associa-se uma reta aos pontos ascendentes do ramo seco, outra aos pontos descendentes do ramo úmido e unem-se as duas por uma curva parabólica.

Tabela 7: Dados para o ensaio de compactação.

Cilindro	n°	1
Volume	cm^3	2168
Peso	(g)	4654
Peso da amostra	(g)	6000

Tabela: 8- Dados da compactação.

pontos n°	1	2	3	4	5
Peso (solo compactado + cilindro) (g)	9083	9260	9355	9287	9229
Peso da amostra compactada (g)	4429	4606	4701	4633	4572
Densidade do solo úmido (g/cm^3)	2,043	2,125	2,168	2,137	2,109
P (solo úm.+cáp) (g)	114,8	100,1	112,7	113,25	132,15
P (solo seco+cáp) (g)	106,56	92,22	102,83	102,38	117,8
Peso cápsula (g)	14,41	15,06	14,96	16,2	20,4
Umidade (%)	8,9	10,2	11,2	12,6	14,7
Densidade do solo seco (g/cm^3)	1,875	1,928	1,949	1,898	1,838

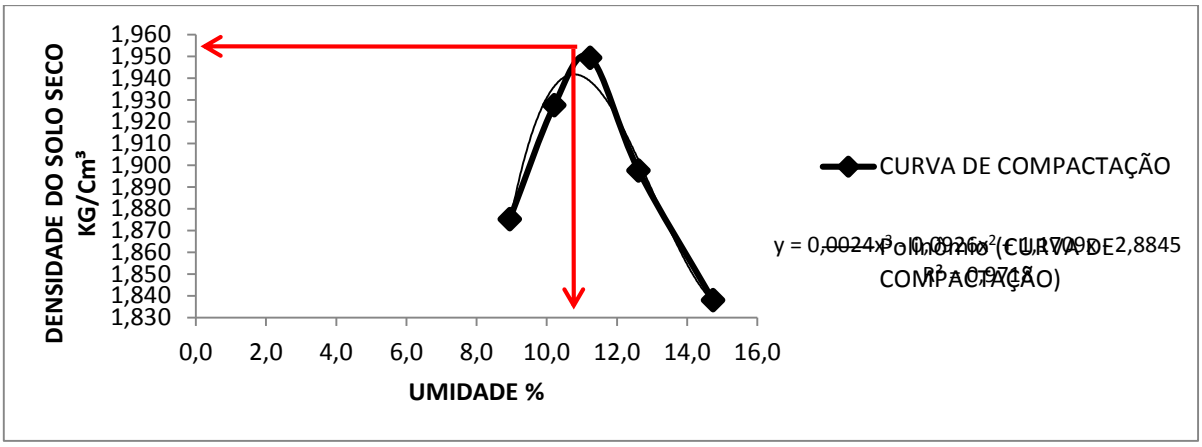

Figura 7: Gráfico da curva de compactação.

Após a realização dos cálculos, verifica-se a curva de compactação acima onde é possível verificar os dados da compactação, umidade ótima de 11,1% e sua densidade máxima seca de 1,951 kg/cm³, analisa-se também a precisão do ensaio através da linha de tendência polinomial, no qual demostra através de seu R^2 que foi de 97,18%.

O ensaio foi realizado através de uma energia de compactação modificada, para uma análise melhor da energia utilizada, é necessário verificá-la através da Equação 7 [7,8].

$$E = \frac{n * N * P * H}{V} \tag{7}$$

onde, E é a energia a ser aplicada na amostra de solo (kgf/cm²); n é o número de camadas a serem compactadas no cilindro de moldagem; N é o número de golpes aplicados por camada; P é o peso do soquete (kg); H é a altura de queda do soquete (cm); V é o volume do cilindro (cm³).

O cálculo realizado utiliza o cilindro de 15,5 cm de diâmetro, 11,5 cm de altura, 2.168 cm³ de volume, peso do soquete de 4,536 kg e altura de queda de 45,7 cm, aplicando 26 golpes por camada, após realização verifica-se que a energia de compactação utilizada e a intermediária de 12,43 kg.cm/cm², conforme a TABELA 9 e a FIGURA 8.

Tabela 9: Energia de compactação utilizada.

Ensaio de Compactação	P (kg)	h (cm)	N	n	V (cm^3)	E ($kg.cm/cm^2$)
Normal	2,5	30,5	3	26	1000	5,7
Intermediário	4,5	45,7	5	26	2085	12,6
Modificado	4,5	45,7	5	55	2085	26,6

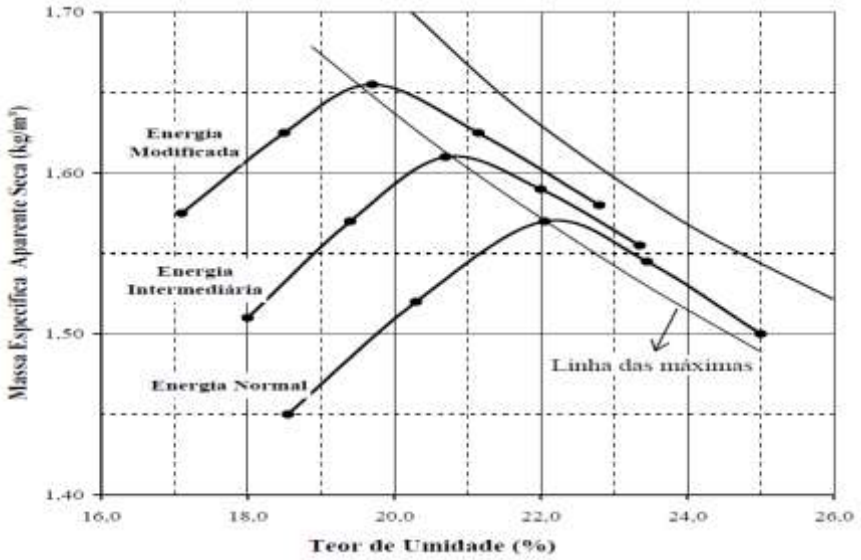

Figura 8: Curvas de compactação de um solo com diferentes energias.
Fonte: Caputo [7,8]

Foram realizados ensaios de caracterização da pesquisa em cada amostra, afim de demostrar a veracidade, elaborou-se uma tabela de resumo (TABELA 10), no qual, demostra a localização através de coordenadas geográficas de cada ponto na estrada e os resultados obtidos para cada ponto, possuindo objetivo de elaborar a média dos valores para a execução dos gráficos acima citados.

Tabela: 10- Resumo de ensaios realizados.

Ponto	Estaca	Coordenadas	Densidade máxima kg/cm³	Umidade ótima (%)	LL (%	LP (%)	IP (%)
P1	0 + 0,0 m	LATITUDE 5° 8' 41,61" S LONGITUDE 37° 22' 15,06"O	1922	12,20	13,1	6,92	6,27
P2	150 + 0,0 m	LATITUDE 5° 7' 13,85" S	1978	10,80	14,2	11,41	2,84

		LONGITUDE 37° 22' 59,91"O					
P3	299 + 0,0 m	LATITUDE 5° 5' 45,18" S LONGITUDE 37° 23' 42,12"O	1954	12,00	17,3	12,68	4,63
P4	301 + 0,0 m	LATITUDE 5° 5' 40,75" S LONGITUDE 37° 23' 44,24"O	1901	13,00	16,2	14,01	2,22
P5	450 + 0,0 m	LATITUDE 5° 4' 14,00" S LONGITUDE 37° 24' 20,20"O	1972	9,40	15,3	12,22	3,14
P6	600 + 0,0 m	LATITUDE 5° 5' 46,49" S LONGITUDE 37° 23' 41,30"	1977	9,60	15,2	13,13	2,07

4. CONCLUSÕES

Ao término desta pesquisa permitiu-se chegar as seguintes conclusões. Após a determinação do ensaio de liquidez obteve-se uma precisão de 60,54% através de um modelo logarítmica. O índice de plasticidade permitiu mostrar que o solo é fracamente plástico. O gráfico de plasticidade indicou que o mesmo seria um solo sem coesão. Índice de consistência 2,761% demostra que o solo é duro. A resistência do solo a compressão simples foi de 4kgf/cm^2. O gráfico de compactação demostrou que a densidade específica máxima obtida pelo solo foi de 1,951 kg/cm^3 e uma umidade ótima de 11,1%. A correlação estatística do gráfico umidade de campo × umidade de laboratório mostrou que 79,91% das variações da umidade de campo são explicadas estatisticamente pela umidade obtida em laboratório.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ALMEIDA, G. C. P. **Caraterização física e classificação dos solos**. Juiz de Fora, Brasil. Livro Técnicos E Científicos, 1.Ed.,145p. 2005.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR 6502 – Rochas e solos: terminologia**. Rio de Janeiro, Brasil. ABNT, 1995.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR 6459: Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, Brasil. ABNT,1984.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR-7180: Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, Brasil. ABNT, 1984.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT): **NBR-7182: Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, Brasil. ABNT, 1986.

[6] CÂMARA JÚNIOR, C L.. **Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedometrico**. 73f. (Dissertação de Mestrado em Solos). Mossoró, 2013.

[7] CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Rio de Janeiro, Brasil. Livros Técnicos e Científicos, 6.Ed. 234p, 1988.

[8] CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. v.1, 6.Ed. Rio de Janeiro, Brasil. LTC, 234p, 2010.

[9] PINTO, C S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo, Brasil. oficina de Textos, 3.Ed, 367p, IL., 2006.