

## **TRANSPORTES E OBRAS DE TERRA**

Movimento de Terra e Pavimentação

### **NOTAS DE AULA - MECÂNICA DOS SOLOS**

Prof. Edson de Moura

Aula 11 - **CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE CAMPO**

## CONTROLE DE COMPACTAÇÃO DE CAMPO

### ***1- Introdução***

Vimos anteriormente que o solo escolhido para ser utilizado para uma dada finalidade como: camada de pavimento, corpo de aterro, base de reservatório, solo de envolvimento de tubulação flexível que exige que o solo apresente boas características quanto ao módulo de reação, foi primeiramente escolhido devido a sua quantidade e localização em relação onde deverá ser utilizado e, em uma segunda avaliação o solo foi submetido ao ensaio de resistência (CBR), no entanto, o ensaio de resistência tem o ensaio de compactação como ensaio preconizado.

Como seqüência de um solo temos:

1. a quantidade de material se é satisfatória
2. quanto logística - distância de transporte da jazida à obra;
3. dados de compactação: densidade seca máxima e o teor ótimo de umidade
4. resistência do solo frente ao ensaio de CBR com o solo nas condições acima.

Assim, após o sol ter sido submetido aos passos acima descritos, verifica se o mesmo apresenta as características necessárias para ser utilizado, conforme exigências de projeto. Uma vez atendida as exigências de projeto são passados para o campo os dados de controle de compactação.

### ***Por exemplo***

*Para um determinado trecho, entre as estacas 1231 e 1256, (500m) será utilizado o solo da Fazenda Itororomba como camada de reforço do subleito.*

<i>Características do controle</i>	<i>Densidade seca máxima = 1,650 g/cm<sup>3</sup></i>
	<i>Umidade de compactação = 19.6%</i>
<i>Grau de compactação</i>	<i>95% PN.</i>

Observe que a característica principal que o solo deve apresentar em serviço é a resistência que ele apresentou em laboratório. Logo, todo o projeto de dimensionamento das camadas do pavimento, (no caso) foi feito levando em consideração essa resistência, portanto, é de fundamental importância que o solo trabalhe com a referida resistência.

No processo construtivo de uma camada de pavimento de solo, basicamente consiste em esparramar o solo em espessura relativamente pequenas, na ordem de 25cm, conforme estaqueamento feito pela topografia. Em seguida o solo é compactado por amassamento até que o solo apresente as características de resistência (obtidas em laboratório). Embora, existam mecanismos de se medir a resistência que o solo apresenta em campo, trata-se de um equipamento dispendioso e de difícil operação se comparado com os outros procedimentos.

Comumente não se controla da resistência (CBR) em campo e sim a umidade de compactação e a densidade seca máxima que o material esta, logo, se o material está dentro dos limites especificados, de densidade e umidade, pode-se esperar que o solo esta dentro da resistência desejada.

## **2 – Controle por Deflexão**

Também se controla a deflexão das camadas, com a viga Benkelman, desde o reforço do subleito até a capa asfáltica, os valores esperados em campo são obtidos através de programas de métodos de elementos finitos que levam em consideração, a resistência no ensaio de módulo de resiliência, coeficiente de poisson e espessura de cada camada do pavimento. Fotos 01 e 02.



Foto 01 – Posicionamento da viga Benkelman



Foto 02 – Deflexão com a saída do caminhão

Normalmente, quando o solo esta dentro dos limites especificados quanto a teor de umidade e densidade seca máxima a deflexão da referida camada atende o especificado em projeto, desde que a espessura da camada em questão esteja correta e as deflexões das camadas inferiores atendidas.

## **2 - Controle de Umidade de Campo**

Diversos são procedimentos de ensaio para a obtenção do teor de umidade em campo, a saber:

1. Estufa
2. Frigideira
3. Álcool
4. Speedy
5. Nuclear
6. Outros

Importante nessa determinação é que seja rápida, na ordem de 15 minutos ou menos.

### **2.1 – Método da Estufa**

É o processo, normatizado pelo DNIT-ME 213/94 mais indicado para a obtenção de teor de umidade. Entretanto, devido a demora para a obtenção do resultado torna-se um procedimento não utilizado. Existem estufas com ventilação forçada que aceleram a obtenção do resultado, mesmo assim, essas estufas não são utilizadas, demoram em torno de duas horas tempo muito grande.

### **2.2 – Método da Frigideira**

Método bastante empregado que consiste em “fritar” o solo. Uma pequena porção de solo úmido é colocado em uma frigideira que por sua vez é colocada sobre uma fonte de

calor, vai-se revolvendo a amostra suavemente até a água evapora-se. Para certificar-se de que a água evaporou-se coloca-se uma placa de vidro sobre a frigideira e observe se existe vapor se formando na placa, caso contrário a amostra esta seca.

Por diferenças de pesos determina-se o teor de umidade do solo.

### **2.3 – Método do Álcool**

Procedimento especificado pelo DNIT-ME 088/94 nesse procedimento adiciona-se uma determinada quantidade de álcool em uma porção de solo úmido e ateia-se fogo, após o término da 1ª. queima verifica-se se é necessário colocar mais uma porção de álcool, procede-se dessa maneira até a secagem total da amostra. O calor da chama faz a água da amostra evaporar-se. Dois grandes inconvenientes nesse processo são: o primeiro a questão de segurança e o segundo esta relacionado a qualidade do álcool, normalmente o álcool apresenta uma grande quantidade de água em sua constituição, assim sempre haverá um resíduo de água a cada queima, mascarando o resultado. Pode-se utilizar álcool isopropílico PA com 99,9% de pureza, trata-se de um produto não muito fácil de se encontrar. O procedimento de determinação do teor de umidade é o mesmo para o anterior, por diferenças de pesos.

### **2.4 – Método do Speedy**

Padronizado pela PMSP-ME-10 e pelo DER-SP m 161, é um método que utiliza um equipamento patenteado, mundialmente difundido denominado de Speedy.

Através de uma reação química entre a água existente na amostra úmida e carbureto de cálcio, dentro de um recipiente hermético (Speedy), nessa reação ocorrerá uma pressão. Essa pressão que é função da quantidade de água existente na amostra é correlacionada com valores de uma tabela onde se obtém a umidade da referida amostra.

O procedimento básico consiste em colocar uma quantidade conhecida de amostra úmida dentro do equipamento speedy, que é função do tipo de solo – argila ou silte ou areia, colocar a quantidade de cápsulas de carbureto de cálcio também função do tipo de solo – argila ou silte ou areia, colocar duas esferas de aço, fechar o speedy e agitar de maneira que as esferas de aço quebre as cápsulas de vidro de carbureto, fazendo com que o carbureto das cápsulas reajam com a água contida na amostra.

### **2.5 – Método Nuclear**

Através desse método pode-se determinar a quantidade de água existente em uma dada porção de amostra de solo. A determinação consiste em medir o gradiente de radiação entre a radiação emitida e a recebida.

O equipamento para esse fim é denominado de Fonte de Radiação Nuclear, e é caracterizado pelo tipo de elemento radioativo, por exemplo: fonte de Césio 137 e/ou fonte de Ameris Berílio. Tratam-se de fonte selada. O elemento radioativo responsável pela determinação teor de umidade é o Ameris Berílio.

O equipamento é colocado sob a superfície do terreno a sonda desce a uma profundidade de até 20cm (ou outra escolhida) o aparelho é acionado, o operador

distancia-se 10m e após um curto período de tempo o aparelho efetua a media, em seguida o operador se aproxima e verifica a leitura.

## 2.6 – Outros Métodos

Um outro tipo de se determinar a umidade em amostras de solos é o uso de fontes não radioativas, denominadas de Gauges. Trata-se de equipamentos semelhantes aos nucleares.

Pode entrar nessa categoria de outros métodos, qualquer tipo de recurso que possibilite a extração de água de amostras de solo, como por exemplo, forno de micro-ondas.

## 2.7 – Calibração

O método padrão do teor de umidade é método da estufa DNIT-ME 213/94. Pois a amostra quando ensaiada no laboratório foi submetida a esse tipo de determinação, assim, o controle de campo executado com outro tipo de ensaio que não seja o da estufa deve, necessariamente, ser aferido com a determinação do teor de umidade em estufa. Principalmente os métodos do Speedy e o nuclear. O método da frigideira varia se a amostra possuir uma quantidade expressiva de matéria orgânica. Já o método do álcool isopropílico deve-se aferir devido a qualidade do álcool.

A aferição consiste traçar um gráfico entre o teor de umidade obtido em estufa e o respectivo teor de umidade do processo utilizado, cinco pontos é o suficiente.

Toma-se cinco porções de solos com variações de umidade entre eles possíveis de serem encontrados em campo, divide-se cada porção em duas, tendo-se dois lotes. Um lote é submetido a determinação do teor de umidade pela estufa e o outro lote é submetido ao equipamento Speedy (por exemplo). Ao final traça-se um gráfico de porcentagens de umidade obtidos na estufa x pressão do manômetro do Speedy, figuras 01 e 02.

Temperatura °C	Pressão
Estufa	(kgf/cm <sup>2</sup> )
15,2	1,30
17,5	1,30
21,0	1,55
24,8	1,76
27,2	1,94

Figura 01 – tabela de calibração

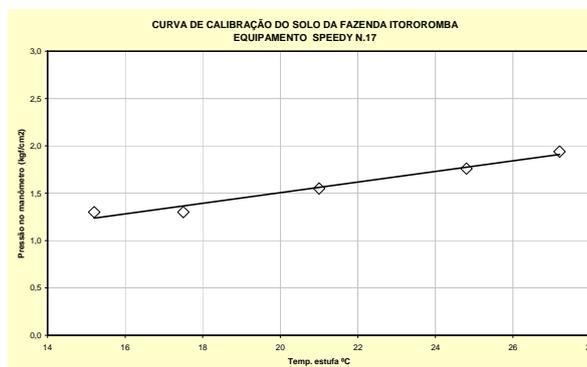


Figura 02 – Gráfico de calibração

## 3 - Controle da Densidade de Campo ( $\gamma_{campo}$ )

Diversos são procedimentos de ensaio para a obtenção da densidade em campo, a saber:

1. Cravação de cilindro
2. Frasco de Funil-areia
3. Óleo
4. Nuclear
5. Outros

### ***3.1 – Método de Cravação de Cilindro***

Nesse procedimento temos um molde cilíndrico biselado, de 4” de diâmetro, (possibilidade de diâmetros diferentes), e altura para que o volume final seja de aproximadamente 1000 cm<sup>3</sup>. Esse molde é cravado sobre a superfície da camada que foi compactada, em seguida é removido e as faces rasadas, mede-se a massa do conjunto e descontando-se a massa do molde temos a massa de solo compactado. A densidade úmida será a massa de solo úmido dividido pelo volume do molde, e com o teor de umidade obtido com algum procedimento anteriormente descrito temos a densidade seca da camada compactada.

A inconveniência desse procedimento é que quando se crava o molde cilíndrico na camada o molde acaba por compactar a porção de solo dentro do molde. Outro inconveniente é que ocorrem distorções no molde que propiciam a alteração de seu volume.

### ***3.2 – Método do Frasco de Funil-Areia***

Compõe esse equipamento um reservatório de plástico com capacidade de 5 litros munido de uma válvula com um cone na extremidade, e uma bandeja quadrada com um furo centro de diâmetro igual ao bocal do funil. O material utilizado é uma areia de densidade conhecida ( $\gamma$  areia).

E o método mais empregado no controle de densidade de campo.

Basicamente o procedimento consiste em abrir um furo na superfície da camada ser controlada, tomando-se o cuidado de medir a massa do material escavado, assim temos a massa do furo. Para a determinação do volume do furo utiliza-se o recurso da areia. Verte-se areia dentro do furo de maneira a completa-lo. Conhecendo-se a massa de areia suficiente para preencher o furo e através da densidade conhecida da areia temos o volume do furo.

A operação do ensaio consiste em assentar a bandeja sobre a superfície do terreno, escava-se um furo de diâmetro igual ao furo da bandeja até profundidade de 10cm 15cm, conforme espessura da camada. Mede-se a massa escavada (M<sub>su</sub>). Em seguida mede-se a massa inicial do frasco com areia M<sub>if</sub>, o frasco é colocado sobre a bandeja de maneira que o funil encaixe-se no furo da bandeja, O registro é aberto, a areia vai fluir para dentro do furo até que o fluxo de areia estabilize, em seguida o registro é fechado. Mede-se a massa do frasco M<sub>ff</sub>.

Observe o volume do cone deve ser considerado, pode ser determinado sobre uma superfície lisa. M<sub>c</sub>.

Para determinação da massa de areia do furo temos  $M_{af}$ :

$$M_{af} = M_{if} - M_{ff} - M_c$$

Para determinação do volume do furo,  $V_f$

$$V_f = M_{af} / \gamma_{\text{areia}}$$

Por fim, a densidade úmida de campo será a massa umidade do furo ( $M_{uf}$ ) dividido pelo ( $V_f$ ), e com o teor de umidade obtido com algum procedimento anteriormente descrito temos a densidade seca ( $\gamma$  campo) da camada compactada.

$$\gamma_{\text{seca}} = M_{uf} / V_f * F_c$$

Onde  $F_c$  = fator de conversão =  $100/(100 + w)$

### **3.3 – Método nuclear**

Esse procedimento se assemelha bastante ao procedimento de determinação de umidade acima descrito. Entretanto, salienta-se novamente que é necessário a calibração.

### **4 – Grau de compactação**

O grau de compactação é a relação da densidade de campo ( $\gamma$  campo) pela densidade de laboratório ( $\gamma$  laboratório).

$$GC = \gamma_{\text{campo}} / \gamma_{\text{laboratório}} * 100$$

#### **Exercício**

Em um trecho de uma rodovia em que estavam executando uma compactação de uma camada de base com SAFL, os dados coletados de campo de controle de umidade estão apresentados na tabela 01 e na tabela 2 os dados para GC – grau de compactação.

Os dados de compactação são:  $W_{ot} = 15,3\%$  e  $\gamma_{\text{seco}} = 1,671 \text{ g/cm}^3$ .

A especificação para a umidade ótima é de +/- 0,2% de tolerância, já o  $GC > 98\%$ . Analise os pontos em que foram realizados o controle e comente os resultados.

**Controle de Umidade - método da frigideira**

Estaca			M. \$ úmido	M. \$ seco	M. água	W
n.	fração (m)	Lado (E,Ex e D)	(g)	(g)	(g)	(%)
741	12	E	132,88	115,25		
742	2	Ex	127,02	110,36		
742	12	D	162,88	141,39		
743	2	Ex	136,69	118,45		
743	12	E	142,82	123,65		
744	2	Ex	183,40	158,65		
744	12	D	190,77	165,89		
745	2	Ex	126,14	109,78		

**Controle de Compactação - Método do Frasco de Funil e Areia**

$\gamma$  areia 1,585 g/cm<sup>3</sup> Mcone = 785,45 g

Estaca			Massa úmida \$	Massa do funil		M furo (g)	Volume Furo (cm <sup>3</sup> )	Peso Esp Ap. seco (g/cm <sup>3</sup> )	GC (%)
n.	fração (m)	Lado (E, Ex e D)	furo (g)	Minicial (g)	Mfinal (g)				
741	12	E	1985,5	4354,0	1672,8				
742	2	Ex	1974,2	4355,6	1673,2				
742	12	D	1925,3	4315,3	1674,8				
743	2	Ex	1945,6	4339,3	1675,9				
743	12	E	1888,2	5037,8	1676,1				
744	2	Ex	1745,9	4135,3	1677,6				
744	12	D	1879,3	4250,0	1678,5				
745	2	Ex	1878,5	4313,4	1679,8				