ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

ESTUDO DOS MÉTODOS PARA CONTROLE DA QUALIDADE EM PROJETOS DE COMPACTAÇÃO DO SOLO

COSTA; Lucas Aparecido Gontijo – Faculdade Pitágoras de Divinópolis – lucadgontijo@gmail.com

RESUMO

A necessidade do transporte e de realização de obras que irão necessitar do solo como insumo para sua realização, tem feito com que engenheiros e corpos técnicos de tais projetos se atentem mais para a qualidade, custo-benefício e segurança de tais idealizações. O que os levam a investir em uma forma de controle de variáveis desejáveis em campo, ou seja, com que a análise feita anteriormente a etapa executiva, visando ter o melhor desempenho da obra geotécnica, seja realizada em loco, com uma variação mínima ou quase nula. Com isso o uso de ensaios geotécnicos para controle da qualidade em obras geotécnicas, neste caso, obras de compactação do solo, é fundamental não só para uma primeira identificação do material a ser utilizado e ter maior assertividade nos cálculos como também para maior controle das características de qualidade da compactação, como o emprego da água, sendo assim necessário mensurar a umidade ótima de compactação deste solo, como característica granulométrica, de massa específica e de característica visual e de origem, como solos arenosos e argilosos. Uma característica que dificulta a cultura da realização destes ensaios é a necessidade de capacitação por parte do corpo de engenharia e até mesmo de colaboradores do corpo executivo para realização de ensaios in situ, além é claro da necessidade do laboratório atender a requisitos de qualidade e de procedimentos normativos para realização de tais ensaios geotécnicos para determinação de umidade e ensaios de compactação normal, como o Ensaio de Procter, que necessidade de materiais padronizados para sua realização. O objetivo do estudo destes ensaios é gerar maior segurança em obras geotécnicas, maior

ISBN: 978-65-89908-00-5

qualidade e melhor emprego dos materiais e equipamentos em obras de compactação do solo.

Palavras-chave: Compactação; umidade ótima; densidade seca máxima; grau de compactação; DNER.

INTRODUÇÃO

O país tem se expandido ao decorrer dos anos, a ampliação territorial e crescimento demográfico têm gerado maior distribuição da população ao longo do território brasileiro, com isso há uma ampliação da indústria, seja do setor eletroeletrônico, metalmecânica, agrário ou da construção civil, para atender as necessidades desta população. Mas, para atender a produção destes setores, cada um necessita de matéria-prima, estas transportadas pela malha viária brasileira. Para isso é necessário que haja pavimentação de qualidade, que possa manter sua integridade gerando mais segurança àqueles que transportam os insumos, e para realizar projetos viários de qualidade, o solo deve ser a variável principal, utilizando métodos para análise e identificação. Porém, métodos de identificação do solo, determinação do grau de compactação e sua umidade demandam recursos e conhecimento técnico, auxílio não só do corpo técnico em campo, mas também no laboratório. Conclui-se que o uso de conhecimento empírico apoia o trabalho do projetista sobre incertezas, e isto impactará na qualidade final do projeto, ainda mais quando este é geotécnico, como o de terraplenagem, sendo este tipo de projeto mais oneroso, com maior tempo de execução e maior desgaste ambiental e logístico.

METODOLOGIA

O trabalho é constituído de uma revisão de literatura, sendo pesquisado e detalhado a bibliografia coerente e direcionada ao tema proposto, sendo analisado autores da área da geotecnia. Durante a execução da pesquisa as palavras chave serão: compactação, umidade ótima, densidade seca máxima, grau de compactação, energia de compactação,

ISBN: 978-65-89908-00-5

normatização de ensaios de determinação de grau de compactação, DNIT, ABNT. A bibliografia a ser utilizada serão, monografias, teses, dissertações, apostilas, artigos compreendidos num período de 10 anos e os principais autores estudados para construção da pesquisa serão PINTO e CAPUTO, e normatizações do DNIT, DNER e ABNT

RESULTADOS E DISCUSSÕES

COMPORTAMENTO DO SOLO MEDIANTE COMPACTAÇÃO

O solo, ao ser compactado, tem como variável o índice de vazios, que ao ser aplicada uma energia de compactação, há eliminação de ar dos vazios, aumentando o contato entre os grãos, sendo que o aumento da energia de compactação gera maior densidade seca máxima e menor teor de umidade ótima, sendo que a água contida no solo continua em mesma quantidade, em que a condição que gera o aumento da massa específica é a expulsão do ar, mostrando-se inversamente proporcional à umidade do solo, quanto maior umidade mais difícil é a diminuição do ar dos vazios, e quanto menos úmido mais fácil se torna diminuí-los, a questão é que ao chegar a um percentual de teor de umidade, mesmo com o emprego da energia de compactação, não há mais expulsão do ar dos vazios, pois o ar está envolvido por água e não há mais como ele ser expulso (PINTO, 2006).

UMIDADE ÓTIMA E DENSIDADE SECA MÁXIMA

Para identificar uma umidade correta para que não haja a situação de enclausuramento do ar dos vazios pela água, é empregada a umidade ótima, que através da análise gráfica da curva de compactação, é correspondente ao ponto de peso específico aparente máximo ou densidade seca máxima, sendo que para cada tipo de solo há uma umidade ótima e uma densidade seca máxima (CAPUTO, 1988). A Figura 1 apresenta uma imagem referente a curva de compactação, em que a densidade seca máxima é graficamente expressa no pico da curva de compactação, onde há menos índice de vazios e é alinhado

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

graficamente ao teor de umidade ótima, sendo que o eixo das ordenadas expressa a densidade seca e o eixo das abcissas a quantidade de água contida no solo, ou o teor de umidade, sendo que maior o teor de umidade e energia de compactação mais dispersa é a estrutura do solo analisado (CAPUTO, 1988).

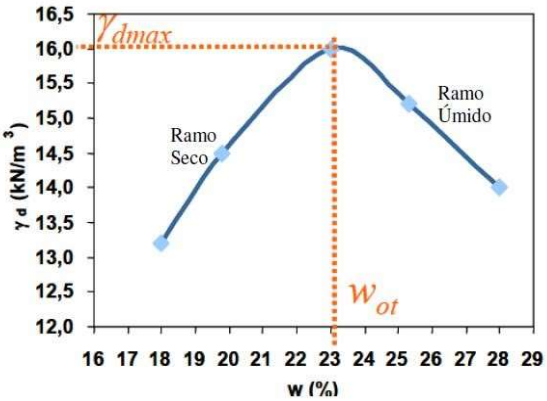

Figura 1 – Curva de compactação – Ramo Seco e Úmido - Fonte: Santos (2008)

A influência da energia de compactação é vista quanto ao comportamento do solo, um solo saturado tende a apresentar maior dificuldade quando a compactação, sendo que quanto maior a energia empregada maior será a densidade seca máxima e menor será a umidade ótima (PINTO, 2006).

PROPRIEDADES DOS SOLOS COMPACTADOS

Com base na análise da curva de compactação, se vê que em um dado peso específico seco há dois teores de água diferentes, o ramo seco e úmido e que apesar de ambos conduzirem ao mesmo peso especifico seco, eles possuem comportamento no que tange a mecânica dos solos de maneira diferente (SANTOS, 2008). Com isso se o teor da água se concentrar no ramo seco o solo demonstrará um comportamento, no qual terá uma resistência ao cisalhamento elevada, poro-pressão praticamente nula quando sujeito a

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

carregamento, fissuras, expansão e colapso quando há aumento do teor de água (SANTOS, 2008). Conforme Pinto (2016), se o teor de água se concentrar no ramo úmido, o solo terá menor resistência e será menos sensível a variação de energia, elevada poro-pressão, comportamento plástico e não há expansão ou colapso do solo. A Figura 2 apresenta uma exemplificação da estrutura dos solos em cada ramo, com maiores fissuras no ramo seco, e aparência plástica no ramo úmido.

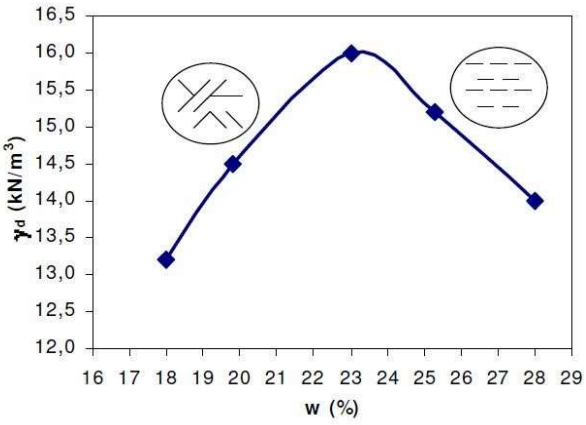

Figura 2 – Exemplificação da Estrutura do Solo em cada Ramo - Fonte: Santos (2008)

Os solos quando são compactados e se situam na curva de compactação no ramo seco apresentam uma estrutura mais floculada, e menor energia, sendo seus sólidos mais difíceis de dispersar (SANTOS, 2008). De acordo com Pinto (2006), os solos quando são compactados e se situam na curva de compactação no ramo úmido, a estrutura do solo é mais dispersa, com maior energia de compactação, sendo seus sólidos mais fáceis de dispersar em água.

ENSAIO NORMAL DE COMPACTAÇÃO

O ensaio normal de compactação, ou Ensaio de Proctor, teve sua padronização em território nacional pela ABNT, possuindo alternativas quanto a sua execução (PINTO, 2006). O solo que será utilizado para execução do projeto geotécnico deve ser coletado,

ISBN: 978-65-89908-00-5

sendo seco ao ambiente, e destorroado para continuação do método, sendo umidificado até um percentual próximo de 5% da sua umidade ótima, sendo um pouco abaixo do seu limite de plasticidade (PINTO, 2006). O processo se inicia com o solo sendo depositado em um recipiente padrão (1000 cm³), e sendo modelado conforme a quantidade de água é acrescentada (2% em 2%), traçando assim a curva de compactação através da análise da umidade e da densidade seca máxima (PINTO, 2006), sendo importante cinco pontos de ensaio, dois no ramo seco, 2 no ramo úmido e uma próximo a umidade ótima (CAPUTO, 1988).

APARELHAGEM SEGUNDO DNIT (2013)

Em sua norma 164, alguns dos aparelhos necessários para realização do ensaio de compactação normal são os seguintes:

· Molde cilíndrico metálico de 15,24 cm ± 0,05 cm; · disco espaçador metálico de 15,00 cm ± 0,05 cm de diâmetro e de altura igual a 6,35 cm ± 0,02 cm; · Soquete metálico cilíndrico, de face interior plana de diâmetro igual a 5,08 cm ± 0,01 cm; As figuras 3 e 4 mostram o layout e detalhes da aparelhagem utilizada no ensaio de compactação normal (DNIT, 2013):

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

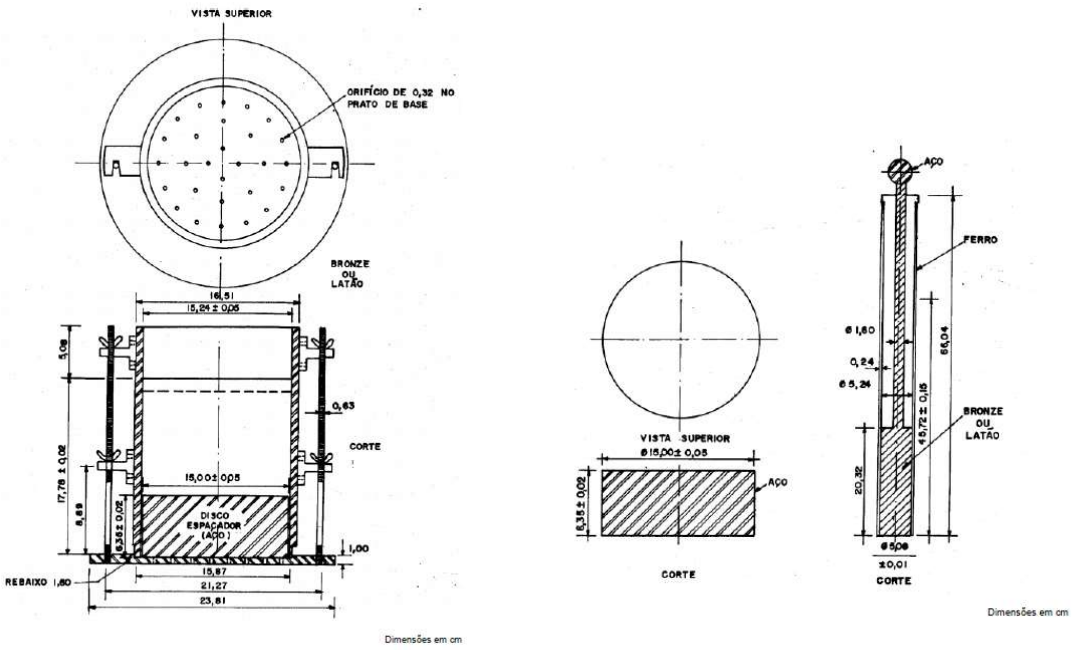

Figura 3 – Molde Cilíndrico, cilindro complementar e base metálica e Disco espaçador e soquete - Fonte: DNIT (2013)

PREPARO DA AMOSTRA SEGUNDO DNIT (2013)

A amostra do solo em questão, ao ser recebida, é seca em temperatura ambiente, ao ar, e destorroada com auxílio da mão de gral recoberta por borracha, sendo que a amostra é constantemente homogeneizada e reduzida com auxílio do repartidor de amostras, após se obter uma amostra representativa, sendo parâmetro: · 6 Kg, para solos siltosos, argilosos ou coesivos; · 7 Kg, para solos arenosos ou não-coesivos; Seguindo os parâmetros da norma, a secagem pode ser realizada por aparelhagem, com limitação da temperatura de 60º C (DNIT, 2013). Deve se proceder então com a separação granulométrica sendo os parâmetros (DNIT, 2013): · Material passado na peneira 19 mm, se houver retenção, substituição do mesmo por quantidade igual em massa do material

ISBN: 978-65-89908-00-5

passante na peneira 19 mm e retido na peneira 4,8 mm · Realiza-se a eliminação prévia de agregados na peneira de 50 mm, se houver. Para fim comparativo e para execução da curva de compactação, devem ser moldados no mínimo cinco corpos de prova (DNIT, 2013).

MÉTODOS DE ENSAIO SEGUNDO ABNT (2016)

Os métodos de ensaio podem ser classificados pelo reuso ou não de material, e nível de umidade, sendo higroscópica ou 3% maior que uma pressuposta umidade ótima. Segundo DNIT (2013), a execução do ensaio se dá da seguinte maneira: · Fixar o molde à base metálica; ajustando o cilindro; · Coletar duas cápsulas de solo úmido para solos coesivos, e uma cápsula para solo não-coesivo, determinar a massa e secar em estufa numa temperatura de 110º C com variação de 5ºC; · Inserir o material no molde com o disco espaçador, visto na figura X, com isso em cinco camadas iguais, até obter um corpo de prova de cerca de 12,5 cm; · Aplicar em cada camada a quantidade de golpes correlacionada ao tipo de energia que se quer aplicar, sendo 12 golpes por camadas para Método Normal, 26 golpes por camada para Método Intermediário e 55 golpes por camadas; · Retirada do cilindro complementar, destacando-o com a espátula, e usando a régua de aço biselada para raspar o excesso de material; · Subtraindo a massa do molde se determina a massa do material compactado; Segundo Caputo (1988), o procedimento de execução de golpes sobre o corpo de prova moldado por se dar por um layout de golpes circulares ou em formato de cruz até alcançar a quantidade de golpes necessária, a figura 5 mostra detalhes dos equipamentos utilizados na compactação e uma demonstração de como são executados os golpes.

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

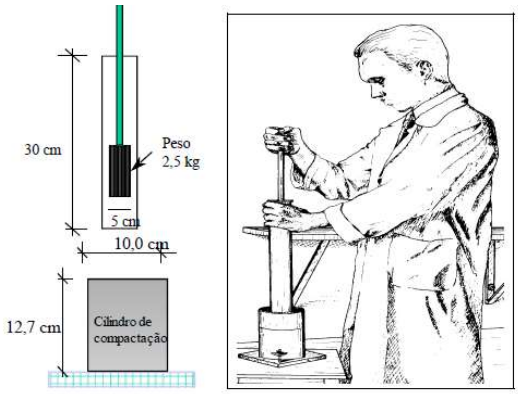

Figura 5 – Procedimento de execução do ensaio de compactação - Fonte: VARGAS (1977)

Na Figura 6 a seguir são mostrados os valores de padronização (SANTOS, 2008):

CARACTERISTICAS	ABNT (PN*)	AASHO (PM**)	DNER M.48***	AASHTO
Peso do Soquete (kgf)	2.5	4.54	4.54	4.54
Altura de Queda (cm)	30.5	45.72	45.72	45.72
Número de Camadas	3	5	5	5
Número de Golpes Por Camada	25	25	26	55
Vol. Do Cilindro (cm^3)	1000	944	2160	2160
Energia de Compactação ($kgf \cdot cm/cm^3$)	5.72	27.48	12.49	26.43

* – Proctor Normal; ** – Proctor Modificado; ***– Esta energia corresponde aproximadamente à energia do Proctor Intermediário.

Figura 6 – Padronizações para execução do ensaio de compactação normal - Fonte: SANTOS (2008)

Segundo CAPUTO (1983), a determinação da curva de compactação é de suma importância para determinação de uma dosagem adequada de água em campo, e material a ser empregado na compactação haja vista que com a umidade ótima adquirida no ensaio compactação, é necessário antever um melhor gerenciamento da compactação *in-situ.*

ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
27 A 30 de abril 2021
ISBN: 978-65-89908-00-5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Certamente, tendo em consciência a importância das obras geotécnicas como barragens, aterros e pavimentação para a sociedade, e seu correto controle de compactação de modo a evitar patologias e possíveis desastres, e levando em consideração a ampliação tecnológica e a preocupação da engenharia em melhorar indicadores de qualidade acerca deste tipo de obra, a aplicação de ensaios laboratoriais aliados a ensaios *in-situ*, se tornaram fundamentais a qualidade de obras que serão de uso da sociedade como obras de pavimentação, e obras de grande risco como barragens, proporcionando assim maior segurança e maior controle destas. Por fim, chega-se a conclusão que a gestão da qualidade tanto em critério projetivo, com definição de parâmetros de controle laboratorial e em campo, e definição de materiais empregados tendo como base os conceitos da mecânica dos solos, tendem a impactar de forma positiva a qualidade, custo-benefício e tempo de manutenibilidade de obras de terra, sendo possível um maior controle do que se é executado e do que foi proposto em projeto, e sua indicação de conformidade, através destes ensaios é possível assegurar segurança e qualidade da obra, utilizando a correlação entre ensaios feitos em laboratório com grande aplicação da gestão da qualidade, e ensaios *in-situ*, para comparação. O uso destes ensaios geotécnicos é portanto, crucial e de grande vantagem em obras de compactação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos Solos e suas Aplicações - Fundamentos. 6 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1988. 244 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT164/2013-ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas –Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2013.

PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 119 p. PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 119 p.

SANTOS, Jaime A. Obras Geotécnicas – Compactação: Elementos Teóricos. Instituto Superior Técnico, 2008. 18 p