



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES,
PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA GERAL

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, Km 163
Centro Rodoviário, Vigário Geral
Rio de Janeiro - RJ - CEP 21240-000
E-mail: ipr@dnit.gov.br
Tel. (21) 3345-4600

FEV 2017

NORMA DNIT 405/2017 - ME

Controle de Compactação em Aterros com o Equipamento Gamadensímetro - Método de Ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50600.004432/2015-93

Origem: Controle de compactação em aterros com o equipamento gamadensímetro

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de: 21/02/2017

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:

Gamadensímetro, aterros, célula nuclear, teor de umidade, peso específico.

Nº Total de páginas

8

Resumo

Esta norma descreve os procedimentos para a determinação do teor de umidade e do peso específico seco em campo, como método de controle da compactação de aterros em solo ou misturas de solos, utilizando o gamadensímetro.

Abstract

This standard describes the procedures for determining *in situ* the moisture content and density, as a control method of landfill soil compaction, using nuclear densometer.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo	2
2 Referências normativas.....	2
3 Definições.....	2
4 Aplicabilidade	2
5 Perigos	2
6 Aparelhagem.....	2
7 Calibração e precisão da célula	3
8 Aferição	3
9 Procedimento de ensaio.....	4

10 Limitações	4
11 Cálculos.....	5
12 Relatório	5
Anexo A - Calibração	6
Anexo B - Precisão.....	7
Índice Geral.....	8

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias-IPR/DPP para servir como documento base para a determinação do teor de umidade (w) e do peso específico seco (γ_s) em campo, no controle do processo de compactação de solos ou misturas de solo, quando compactadas para a conformação de aterros em rodovias, utilizando o equipamento de radiação nuclear conhecido como Gamadensímetro.

Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

Na aplicação dos métodos de ensaio aqui apresentados deverão ser observadas as Normas de Segurança para trabalho com Materiais Radioativos. Considera-se de responsabilidade específica de quem utilize estes equipamentos estabelecer as práticas apropriadas de segurança e proteção de pessoal, além de determinar a aplicação das limitações regulatórias antes de seu uso.

1 Objetivo

Esta Norma tem por objetivo estabelecer os procedimentos de ensaio para controle da compactação de aterros em solo ou misturas de solos, com o uso do equipamento gamadensímetro.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Aplicam-se as edições mais recentes dos referidos documentos (inclusive emendas).

- a) AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. ASTM D6938-15: Standard Test Method for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear methods (Shallow Depth). West Conshohocken, PA, 2015.
- b) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 04: Concreto compactado com rolo - Determinação da densidade in situ com o uso de densímetro nuclear. Rio de Janeiro, 2000.
- c) _____. NBR NM 05: Concreto compactado com rolo - Determinação da umidade "in situ" com o uso de densímetro nuclear. Rio de Janeiro, 2000.
- d) COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. NN 3.01: Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica. Brasília, 2014.
- e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 001/2009-PRO: Elaboração e apresentação de normas do DNIT – Procedimento. Rio de Janeiro, 2009.

3 Definições

Para os efeitos desta Norma, aplicam-se as seguintes definições:

3.1 Célula nuclear

Dispositivo que contém pelo menos uma fonte de energia radioativa e é utilizado para medir propriedades no solo ou misturas de solo.

3.2 Dispersão Compton

Interação (choque) entre um raio gama e um elétron da órbita externa de um átomo. O raio gama é atenuado (perde energia) e reflete em uma direção diferente.

3.3 Detector

Dispositivo para detectar e medir radiação.

3.4 Sonda

Haste metálica ligada a um medidor nuclear, com uma fonte radiativa ou com um detector no seu interior. Esta pode ser introduzida no solo até uma determinada profundidade para realizar um ensaio. As sondas que possuem somente uma fonte radioativa são chamados simplesmente de "haste de emissão".

3.5 Contagem

Leitura de um dispositivo que efetua a contagem de fenômenos de ionização devido a radiação. Tem unidades de contagens por minuto (cpm)

3.6 Bloco padronizado

Bloco de material uniforme, utilizado para realizar o teste de funcionamento do equipamento e para estabelecer as condições para que uma contagem de referência possa ser reproduzida.

4 Aplicabilidade

O método de ensaio aqui descrito é aplicável como uma técnica rápida não destrutiva que permite a determinação do teor de umidade (w) e do peso específico seco (γ_s) dos solos e misturas de solos, pela atenuação de radiação gama, quando:

- a) A fonte e o detector permanecem na superfície (Método de Retrodispersão) ou;
- b) O detector está localizado a uma profundidade conhecida e a fonte se encontra em superfície, ou vice-versa (Método de Transmissão Direta).

5 Perigos

O gamadensímetro utiliza material radioativo que é perigoso para a saúde do operador, quando não são tomadas as devidas precauções.

O operador deverá estar familiarizado com os procedimentos de segurança, proteção e regulações governamentais.

O treinamento do operador é essencial para o uso deste equipamento, especialmente no que se refere a equipamentos de proteção individual e aos processos rotineiros de segurança, como a implementação de testes para detectar fugas de radiação do equipamento.

O operador do equipamento deverá possuir curso técnico de radioproteção ministrado por um Supervisor de Radioproteção credenciado junto à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação). O curso é fornecido por empresas habilitadas para esse fim.

A empresa proprietária do equipamento deverá possuir uma Autorização para Operação, emitida pela CNEN.

O gamadensímetro deverá ser armazenado de acordo com as exigências contidas na CNEN - NN 3.01 - Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.

Além dos procedimentos de proteção e de armazenamento, deverão ser implementados procedimentos seguros transporte do equipamento, sendo necessário que a empresa proprietária do equipamento possua motorista com habilitação MOPP (movimentação operacional de produtos perigosos), junto aos Departamentos de Trânsito.

6 Aparelhagem

6.1 Gamadensímetro

O gamadensímetro é um tipo de célula nuclear que pode conter variações nos detalhes exatos de fabricação, porém deve ser composto de:

- a) Fonte de raios gama: Fonte encapsulada e selada de raios gama de alta energia como césio, rádio ou cobalto (fonte radioativa).
- b) Detector gama: Qualquer tipo de detector de raios gama; por exemplo um tubo Geiger-Mueller.
- c) Fonte de nêutrons rápidos: Fonte isotópica hermética (p.e. amerício-berílio ou rádio-berílio), ou um dispositivo eletrônico gerador de nêutrons.
- d) Detector de nêutrons lentos: Qualquer tipo de detector de nêutrons lentos, tal como trifluoreto de boro.

6.2 Dispositivos de preparação do local

Placa de aço, régua de bordas retas ou outro dispositivo que permita realizar nivelção do local com a precisão adequada. No Método de Transmissão Direta, este dispositivo deverá incluir um elemento que permita guiar a introdução de uma barra de perfuração, para realizar uma perfuração perpendicular à superfície do material a ensaiar.

6.3 Barra de perfuração

Uma barra metálica de um diâmetro ligeiramente maior do que a sonda no Método de Transmissão Direta, utilizada para realizar uma perfuração na qual será inserida essa sonda.

6.4 Extrator da barra de perfuração

Ferramenta utilizada para remover a barra de perfuração na direção vertical sem que haja dano na perfuração realizada.

6.5 Martelo

Ferramenta utilizada para a cravação da barra de perfuração até a profundidade requerida, com o menor dano possível do material (camada de aterro). Pode ser utilizado martelo deslizante com a barra de perfuração acoplada, para a introdução e extração desta.

7 Calibração e Precisão da célula.

Os Métodos para se realizar a calibração e determinar a precisão da célula são estabelecidos no Anexo A e no Anexo B, respectivamente.

8 Aferição

Os instrumentos de medida por métodos nucleares estão expostos ao envelhecimento em longo prazo da fonte radioativa, dos detectores e do sistema eletrônico, tendo como consequência a mudança na relação entre a contagem e as variáveis que são medidas no material ensaiado.

Para compensar o efeito do envelhecimento das células de medida, a aferição do equipamento com relação ao bloco padronizado deve ser realizada ao início de cada dia.

O tempo de aquecimento do aparelho deve ser fornecido nas recomendações do fabricante. Sugere-se ligar o aparelho e deixá-lo ligado durante todo o tempo do ensaio.

Devem ser realizadas, pelo menos, quatro leituras repetidas com pelo menos um minuto de duração cada uma, sobre o bloco de referência.

Se a média aritmética das quatro leituras realizadas se encontra dentro dos limites estabelecidos a seguir, considera-se que a célula opera de forma satisfatória e

este valor deve ser utilizado como razão de contagem da aferição do dia.

Os limites são estabelecidos como:

$$|N_s - N_0| \leq 2,0 \sqrt{\frac{N_0}{F}}$$

Onde:

N_s : média aritmética das leituras repetidas, em contagens por minuto;

N_0 : contagem previamente estabelecida para o bloco de referência (média aritmética de dez leituras repetidas), em contagens por minuto;

F : fator de escala. Fator de redução por distorção no ensaio. Este valor deve ser fornecido pelo fabricante.

Se o valor ficar fora do limite, deverá permitir-se maior tempo de aquecimento do aparelho e verificar a distância de outras fontes de radioatividade ou interferências.

Se a segunda tentativa não der certo, o equipamento não se encontra apto para ser utilizado e deverá ser submetido a revisão técnica.

Após reparação do equipamento, sempre deverá ser refeita a curva de calibração.

9 Procedimento de ensaio

Realizar primeiramente a aferição diária, e somente após isso realizar os passos seguintes:

9.1 Preparo da superfície

Selecionar o local do ensaio de tal forma que a célula de medição fique afastada pelo menos 250 mm de qualquer objeto vertical que influencie os resultados.

Retirar o material solto e todo aquele que não seja representativo do material a ser ensaiado.

Preparar a superfície em dimensões suficientes para colocar o equipamento, alisando-a para obter o máximo contato entre este e o material a ser ensaiado.

Para corrigir as irregularidades da superfície, pode ser utilizada areia fina, sendo que a camada não deve ultrapassar 3 mm e a área total não deve exceder 10% da área inferior do equipamento.

9.2 Método de Retrodispersão

Fixar a célula firmemente na área do ensaio.

Manter afastada qualquer fonte de interferência, especificamente outras fontes radioativas.

Pré-aquecer o equipamento segundo as instruções do fabricante.

Realizar e registrar uma ou mais leituras para períodos padronizados de medição (1 minuto).

De acordo com o tipo de aparelho, os registros de leitura podem ser obtidos em contagens por minuto ou diretamente, sendo medido a massa de água por unidade de volume (Mm) ou a densidade total (ρ_T) do material ensaiado.

Para leituras em contagens por minuto, deverão ser utilizadas as curvas de calibração para obter os valores correspondentes.

9.3 Método de Transmissão Direta

Preparada a superfície (Item 9.1), colocar a placa de aço sobre esta.

A placa de aço utilizada como guia deve possuir tamanho igual ao da base da célula de medição, com uma perfuração no mesmo local em que será inserida a sonda.

Realizar uma perfuração vertical, perpendicular à superfície do material que será ensaiado, utilizando a placa de aço como guia, a barra de perfuração e o martelo se for necessário.

A profundidade da perfuração deve ser maior que o comprimento da porção de sonda de ensaio a ser inserida, em pelo menos 5 cm.

A perfuração deve garantir que a sonda seja inserida sem perturbação das paredes do furo e que não seja gerada inclinação da célula quando colocada na superfície.

Antes de retirar a placa de aço, marcar as laterais desta sobre a superfície do material.

Retirar a placa de aço e realizar os ajustes da superfície, se necessário.

Fixar a célula de medição sobre a superfície do material, alinhando-a com as marcas feitas, de tal forma que a sonda ingresse diretamente na perfuração realizada.

Inserir a sonda na perfuração de modo que haja contato suave e direto desta com as bordas do orifício. Pode-se puxar levemente o conjunto célula – sonda para atrás ou para frente para garantir o contato.

Manter outras fontes radioativas afastadas em pelo menos 10 m do local do ensaio.

Realizar e registrar uma ou mais leituras para períodos padronizados de medição (1 minuto).

Segundo o tipo de aparelho, as medidas de leitura podem ser obtidas em contagens por minuto ou em valor direto, para a massa de água por unidade de volume (Mm) ou para a densidade total (ρ_T) do material ensaiado.

Para leituras em contagens por minuto, deverão ser utilizadas as curvas de calibração para obter os valores correspondentes.

10 Limitações

O Método de Retrodispersão apresenta alguma dispersão quando os instrumentos são muito sensíveis a densidade dos materiais ensaiados.

Partículas ou vazios de grande tamanho, quando próximos da fonte podem causar determinações de peso específico muito diferentes do real.

Um método alternativo que pode ser utilizado para realizar correções quando observadas partículas ou vazios de grande tamanho, consiste em realizar leituras adicionais em áreas adjacentes ao local do ensaio. Com todas as leituras obter a média aritmética e tomar esta como valor representativo.

Quando existem possibilidades de camadas muito heterogêneas de solos ou de vazios, recomenda-se realizar uma perfuração e examinar visualmente o material para determinar se este será representativo de todo o material a ser ensaiado.

O volume de amostra do ensaio é aproximadamente de 0,0028 m³ para o Método de Retrodispersão e de 0,0057 m³ para o Método de Transmissão Direta quando a profundidade de ensaio é de 15 cm.

11 Cálculos

11.1 Teor de umidade (w)

Se o aparelho utilizado não registra leituras de massa de água por unidade de volume, o teor de umidade deve ser determinado a partir de ensaio sobre amostra representativa.

Se as leituras foram realizadas em contagens, determinar o valor da massa de água por unidade de volume (Mm) da curva de calibração.

Quando necessário, determinar a média aritmética das leituras obtidas no ensaio para a mesma profundidade e local.

Para tanto, deve-se contar com leituras da densidade total (ρ_T) do material ensaiado.

Determinar o teor de umidade (w) como:

$$w = \frac{M_m}{\rho_T - M_m} 100(\%)$$

Onde:

Mm : massa de água por unidade de volume;

ρ_T : densidade total.

11.2 Peso específico seco (γ_s)

Quando necessário, determinar a média aritmética do peso específico total, das leituras obtidas no ensaio para a mesma profundidade e local.

Se as leituras foram realizadas em contagens por minuto, determinar o valor da densidade total (ρ_T) da curva de calibração.

Com o valor do teor de umidade (w) determinado conforme item anterior, determinar a densidade de solo seco (ρ_s) e o peso específico seco (γ_s):

$$\rho_s = \frac{\rho_T}{1 + w}$$

$$\gamma_s = \rho_s g$$

Onde:

ρ_T : densidade total;

w : Teor de umidade (sem porcentagem);

g : aceleração da gravidade.

11.3 Grau de compactação

O peso específico seco, determinado com os dados de campo, deve ser dividido entre o peso específico de laboratório ou aquele determinado para o projeto. Esta razão permite obter o grau de compactação do aterro.

12 Relatório com os resultados

O relatório deve conter no mínimo as seguintes informações:

- a) Identificação do local do projeto;
- b) Método empregado;

- c) Identificação do equipamento utilizado;
- d) Profundidade da sonda, se utilizada;
- e) Resultado do processo de aferição para o dia do ensaio;
- f) Leituras de contagem;
- g) Curvas de calibração;
- h) Memórias de cálculo de teor de umidade e do peso específico seco;
- i) Comparativo com os valores de compactação.

_____/Anexo A

Anexo A (normativo)**Calibração**

- A.1. As curvas de calibração são obtidas determinando, através de ensaio, a contagem para uma série de amostras de um determinado material com densidade e teor de umidade conhecidos.
- A.2. Os dados podem ser apresentados de forma gráfica, tabelados, como coeficientes de equações ou armazenados na célula de medição, se possível, tentando cobrir todo o intervalo possível de densidades de material.
- A.3. As curvas de calibração devem ser verificadas pelo menos uma vez a cada 12 meses ou quando forem realizados reparos no equipamento.
- A.4. O equipamento deve ser calibrado de forma tal que seja produzida uma variabilidade máxima entre as leituras realizadas sobre o bloco de referência utilizado para calibrar o equipamento de $\pm 16 \text{ kg/m}^3$.
- A.5. Os blocos devem ser de material com características uniformes e inalteráveis. Deve-se ter preferência pelo uso de blocos de materiais como granito, alumínio, pedra calcária e magnésio, ou ainda de materiais que permitam fabricar os blocos mediante compactação.
- A.6. As calibrações podem ser realizadas pelo usuário, pelo fabricante ou pelo fornecedor.
- A.7. A resposta das células nucleares pode ser influenciada pela composição química dos materiais característicos do bloco. Esta resposta deve ser observada quando se vai estabelecer a densidade sobre o bloco padronizado.
- A.8. O método utilizado para calibração deve ser capaz de gerar um intervalo de leituras representativo das possíveis respostas dos materiais que serão ensaiados.
- A.9. A densidade dos materiais dos blocos padronizados deve ser determinada de maneira que o desvio padrão dos resultados medidos não exceda em $\pm 0,2\%$ a densidade média do bloco de referência.
- A.10. Para cada densidade e conteúdo de água do material dos blocos padronizados, os dados obtidos devem ser suficientes para garantir que a precisão da contagem do instrumento seja pelo menos a metade da precisão requerida para uso em campo.
- A.11. O método e procedimento do ensaio utilizado para estabelecer os dados da contagem de calibração do dia deverão ser os mesmos aplicados para obter a contagem no ensaio de campo.
- A.12. Os blocos padronizados devem ter tamanho suficiente para não mudar a contagem se alterada alguma das dimensões do bloco. As mínimas dimensões recomendadas na superfície do bloco são aproximadamente 610 mm x 430 mm. No método de Retrodispersão a profundidade mínima adequada é de 230 mm, e para o Método de Transmissão Direta é de 50 mm a mais do que o máximo comprimento da sonda.

_____/Anexo B

Anexo B (normativo)**Precisão**

B.1. A precisão é definida a partir da inclinação da curva de calibração e do desvio padrão estatístico da contagem nuclear, de acordo com a equação:

$$P = \frac{\sigma}{S}$$

Onde:

P: precisão em unidades de massa por unidade de volume;

σ : desvio padrão em contagem por minuto;

S: inclinação da curva de calibração para um valor de densidade ou massa por unidade de volume definido, e de umidade definido.

B.2. O desvio padrão se obtém a partir de no mínimo 20 leituras sem movimentar o equipamento do local, após efetuada a primeira leitura.

B.3. Valores típicos de precisão são: $P < 10 \text{ kg/m}^3$ para o Método de Retrodispersão em suas duas variantes, e $P < 5 \text{ kg/m}^3$ para o Método de Transmissão Direta, com leitura realizada aos 15cm de profundidade. Para valores acima dos recomendados, deve-se proceder novamente com a calibração do equipamento.

B.4. Valores típicos de precisão para a massa de água por unidade de volume são: $P < 4,8 \text{ kg/m}^3$. Para valores acima dos recomendados, deve-se proceder novamente com a calibração do equipamento.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract	.....	1	Fonte de raios gama	.....	3
Aferição	8.	3	Gamadensímetro	6.1.	2
Anexo A - Calibração	.....	6	Limitações	10.	4
Anexo B - Precisão	.....	7	Martelo	6.5.	3
Aparelhagem	6.	2	Método de Retrodispersão	9.2.	3
Aplicabilidade	4.	2	Método de Transmissão Direta	9.3.	3
Barra de perfuração	6.3.	3	Objetivo	1.	2
Bloco padronizado	.....	2	Perigos	5.	2
Cálculos	11.	5	Peso específico seco	11.2.	5
Calibração e precisão da célula de carga	7.	3	Porcentagem de compactação	11.3.	5
Célula nuclear	.....	2	Prefácio	.....	1
Contagem	.....	2	Preparo da superfície	9.1.	4
Definições	3.	2	Procedimento de ensaio	9.	5
Detector	.....	2	Referências normativas	2.	2
Detector de nêutrons lentos	.....	3	Relatório de resultados	12.	5
Detector gama	.....	3	Resumo	.....	1
Dispersão Comptom	.....	2	Sonda	.....	2
Dispositivos de preparação do local	6.2.	3	Sumário	.....	1
Extractor de barra de perfuração	6.4.	3	Teor de umidade	11.1.	5
Fonte de nêutrons rápidos	.....	3			
