



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
DIRETORIA GERAL
DEPARTAMENTO DE PLANEJAMENTO
E PESQUISA
INSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIAS
Setor de Autarquias Norte
Quadra 03 Lote A
Ed. Núcleo dos Transportes
Brasília – DF – CEP 70040-902
Telefone: (61) 3315-4831

Outubro/2019

NORMA DNIT 417/2019 - ME

Solos – Controle de Compactação com Equipamento Densímetro Eletromagnético – Método de Ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50600.028223/2019-69.

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 07/10/2019.

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:

Densidade de solo; dispositivo eletrônico de densidade, densímetro não nuclear, densidade *in situ*, massa específica.

Nº total de páginas

10

Resumo

Este método de ensaio descreve os procedimentos para determinar a densidade, a massa específica aparente *in situ* e o teor de umidade de solos, agregados e misturas de solo-agregado, na condição compactada, utilizando densímetro eletromagnético. O método e o dispositivo descritos nesta norma são destinados ao controle de qualidade da compactação da terraplanagem e das camadas de base, sub-base, reforço de subleito e regularização de subleito.

Abstract

This test method describes the procedures for determining *in situ* the density, apparent specific mass and moisture for compacted soils, aggregates and soil-aggregate mixtures, using an electromagnetic soil density gauge. The method and the device described in this test method are intended for the quality control of land field compaction of base, sub-base, subgrade reinforcement and subgrade layers.

Sumário

Prefácio	1
1. Objetivo	2
2. Referências normativas	2
3. Definições	2
4. Aplicabilidade	2
5. Interferências	2

6. Aparelhagem	3
7. Calibração	3
8. Procedimento	4
9. Cálculo dos Resultados.....	5
10. Relatório.....	5
Anexo A (Normativo) Esquema	6
Anexo B (Normativo) Calibração	7
Anexo C (Informativo) - Precisão	8
Anexo D (Informativo) Foto	9
Índice Geral	10

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para determinar a densidade, a massa específica aparente *in situ* e o teor de umidade de solos, agregados e misturas de solo-agregado, na condição natural e compactada, por meio de um dispositivo eletromagnético, conhecido como densímetro eletromagnético. A norma está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

Este tipo de equipamento não necessita de autorização especial de manuseio, armazenamento e utilização. Se for operado de acordo com as recomendações do

fabricante, não há necessidade de medidas especiais de segurança.

Esta norma foi baseada na norma ASTM 7830 /2014.

1 Objetivo

Esta norma tem por objetivo estabelecer os procedimentos de ensaio para o controle da compactação de solos, agregados e misturas de solo-agregado, com o uso do equipamento densímetro eletromagnético.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação desta Norma. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

- a) DNER-ME 088: Solos - Determinação da umidade pelo método expedito do álcool. Rio de Janeiro: IPR.
- b) DNER-ME 092: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: IPR.
- c) DNER-PRO 277: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços. Rio de Janeiro: IPR.
- d) DNIT 164-ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: IPR.
- e) ASTM 7830 In-Place Density (Unit Weight) and Water Content of Soil Using na Electromagnetic Soil Density Gauge.

3 Definições

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

- 3.1 Impedância: uma medida de oposição à corrente alternada.
- 3.2 Espectroscopia de impedância: um método que mede as propriedades eletromagnéticas de um meio em função da frequência.

4 Aplicabilidade

O método de ensaio aqui descrito determina a densidade *in situ* e teor de umidade por correlação da impedância medida por equipamento próprio por modelo empírico calibrado para cada material a ser ensaiado. O modelo empírico é gerado pela comparação das propriedades de solos típicos encontrados em projetos de pavimentação

com suas massas específicas e umidades determinadas por outros métodos correntes.

4.1 Este é um método rápido e não destrutivo para determinar a densidade *in situ*, o teor de umidade e massa específica aparente seca do solo, de agregados e de misturas solo-agregado.

4.2 O método é utilizado para o controle de qualidade de obra e do grau de compactação de solo e misturas solo-agregado, na construção de aterros e pavimentos. A natureza não destrutiva permite medições repetitivas em um único local de ensaio e análise estatística dos resultados.

5 Interferências

5.1 Variações significativas das características do material a ser ensaiado, em relação às propriedades elétricas dos solos e agregados usados para o desenvolvimento do modelo de calibração, e objetos de metal ou de material orgânico, presente no local da medição, podem afetar a precisão do método de ensaio.

5.2 As composições química e mineralógica do solo também podem afetar os resultados do ensaio. Exemplos de materiais que podem impactar nos resultados incluem materiais com altas concentrações de ferro, rocha vulcânica e materiais com frações significativas de partículas cimentadas, solos orgânicos, materiais reciclados ou materiais que contenham asfalto, cimento Portland, cal, cinzas volantes ou outros estabilizantes e modificadores. Na maioria dos casos, o problema pode ser satisfatoriamente resolvido seguindo o procedimento de calibração indicado na Seção 7.

5.3 Também pode afetar o resultado do ensaio a ocorrência de um aumento significativo na condutividade da água, tal como a água subterrânea com depósitos de sal ou contaminantes. Na maioria dos casos, o efeito pode ser satisfatoriamente resolvido seguindo o procedimento de calibração indicado na Seção 7.

5.4 Este método de ensaio aplica-se apenas ao solo não congelado, porque ocorrem mudanças nas propriedades elétricas do solo com temperatura próxima de zero ou negativa. Geralmente, os testes devem ser limitados às temperaturas do solo acima 10°C e abaixo de 40°C. Efeitos da temperatura nas propriedades elétricas dos solos também dependem do tipo de solo. Os solos argilosos são mais sensíveis à temperatura que os solos arenosos. A precisão das medições melhora quando a temperatura do solo está próxima da

temperatura usada na calibração do modelo. A calibração dos efeitos da temperatura deve ser feita quando as temperaturas do solo diferem em mais de 10°C do modelo de calibração. Procedimentos de calibração são dados na Seção 7.

5.5 A precisão dos resultados obtidos por este método de ensaio pode ser influenciada pela incorreta colocação do dispositivo no solo a ser ensaiado. Solos não homogêneos, de textura não uniforme na superfície, ou volumes de vazios elevados, podem diminuir a precisão dos resultados. Assim, o posicionamento correto do equipamento no solo é importante para garantir a qualidade das medições elétricas coletados pelo dispositivo.

5.6 Partículas muito grandes, em relação ao conjunto geral, podem causar erro no resultado de umidade e de densidade. Quando houver suspeita de não uniformidade na granulometria do solo, o local do ensaio deve ser escavado e examinado visualmente para determinar se o material no ponto é representativo do material *in-situ*.

5.7 Outro fator que pode causar erro nos resultados é a variação de umidade do solo (para mais ou para menos) em relação ao teor de umidade ótima e pode aumentar caso o material tenha sido compactado a menos de 80% da massa específica aparente seca máxima. Utilizar como referência as normas DNIT próprias para a obtenção das condições ótimas de compactação.

5.8 A medição em solos desconhecidos *in situ* com modelo de calibração genérico que foi gerado a partir de uma gama limitada de densidades e teores de umidade, podem resultar em erros na densidade e umidade.

5.9 Campos eletromagnéticos fortes como os gerados por linhas de alta tensão podem interferir com a operação do dispositivo.

5.10 Para um sensor circular de 280 mm de diâmetro, o volume máximo medido típico é de aproximadamente 0,0034 m³. O volume real medido é indeterminado e varia com o diâmetro da placa, configuração do sensor e com o material a ser ensaiado. Os resultados são tipicamente mais influenciados pela densidade e o teor de umidade do material próximo da superfície.

6 Aparelhagem

6.1 Medidor eletromagnético de densidade (massa específica aparente) e umidade do solo - dispositivo capaz de gerar um campo eletromagnético e medir a

mudança de tensão diferencial entre dois eletrodos. A calibração deve ser feita de fábrica. Um exemplo de um dispositivo e de um sensor são mostrados no Anexo A. Embora os detalhes exatos da construção do aparelho variem de acordo com o fabricante, o sistema deve ser constituído de:

6.1.1 Circuito eletrônico para fornecer energia e condicionamento de sinal ao sensor e fornecer a aquisição de dados e tela de exibição dos valores medidos. O circuito deve ser projetado para executar calibração da unidade para uma gama de condições e materiais esperados no campo.

6.1.2 Circuito interno adequado para exibição individual das medições, para permitir que os operadores registrem os resultados.

6.1.3 Um invólucro robusto projetado para manuseio com segurança para medida de densidade *in situ* e do teor de umidade do solo, agregado e de misturas solo-agregado durante operações rotineiras de terraplanagem e controle de obra de pavimentação.

6.1.4 Dispositivo de Medição de Temperatura por Infravermelho - deve ser capaz de medir a temperatura da superfície do material com precisão de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, ao longo de uma faixa de 0° a 50°C.

6.2 Recipientes para Calibração do equipamento - conforme descrito na seção 7.5.1.

7 Calibração

7.1 Para informações e requisitos de calibração de fábrica, consulte o Anexo B.

7.2 O medidor do densímetro é projetado para determinar a umidade e a densidade em uma amostra de solo compactada sem a necessidade de preparação especial em campo. A habilidade de medir a umidade e densidade é fundamentada em modelos empíricos baseados em vários tipos de solo. Mas pode haver casos em que o solo medido é tão diferente que pode ser necessário um ajuste (calibração) para garantir resultados aceitáveis.

7.3 Determinar os parâmetros de ensaio que serão usados no dispositivo. Por exemplo, a seleção de um modelo pré-existente de solo ou entrada manual de parâmetros de um modelo de calibração particular.

7.3.1 Obter uma amostra representativa de solo do local onde o ensaio será conduzido ou a partir da jazida de empréstimo.

7.3.2 Determinar as características de compactação em laboratório do material a ser ensaiado, como por exemplo, pela norma DNIT 164/2013-ME.

7.3.3 Informações exigidas pelo densímetro para associar o solo ao modelo de calibração correto incluem: densidade; teor de umidade ótimo; granulometria da amostra, coeficiente de uniformidade e coeficiente de curvatura, além de outros índices de classificação, etc.

7.4 Antes de usar o valor do teor de umidade obtido pelo densímetro em qualquer novo material, o valor do teor de umidade deve ser verificado por comparação com outro método de ensaio aceito tais como DNER-ME 213/1994, DNER-ME 088/1994. Antes de usar o valor da densidade obtida para material novo, deve ser verificado por comparação com outro método de ensaio aceito tal como DNER-ME 092/1994 ou outro normalizado.

7.5 A calibração deve ser realizada antes da execução de ensaios em materiais que sejam muito diferentes dos materiais típicos usados na obtenção ou ajuste da calibração. Se uma calibração de campo for necessária, siga os procedimentos a seguir:

7.5.1 Recipiente de calibração - Preparar material compactado em recipiente adequado com um teor de umidade conhecido e a densidade calculada dividindo a massa do material pelo volume do recipiente.

7.5.1.1 Os recipientes usados para preparar estas amostras compactadas devem ter dimensões mínimas de 0,66 m de largura, 0,66 m de comprimento e 0,33 m de profundidade e ser construído de um material não condutor, e capaz de manter sua forma durante o processo de compactação.

7.5.1.2 O material usado para calibração deve ser representativo do material a ser ensaiado *in situ* e ser compactado em teor de umidade ótimo $\pm 2\%$ e compactado para grau de compactação de 95% $\pm 2\%$.

7.5.1.3 A calibração deve ser realizada no solo com temperatura próxima a esperada no campo durante os ensaios de rotina.

7.5.2 Calibração *in situ* – caso os recipientes adequados não estejam disponíveis, o resultado do equipamento pode ser correlacionado usando no mínimo três conjuntos de resultados de ensaios realizados em uma área onde o material tenha sido colocado em diferentes teores de umidade e compactado. Estes locais de ensaio devem representar a gama de umidades e densidades previstas para a obra. Pelo menos cinco

leituras de calibração devem ser feitas em cada local de ensaio conforme as orientações da norma DNER-PRO 277/1997. A densidade em cada local deve ser verificada por testes realizados de acordo com DNER-ME 092/1994. O teor de umidade em cada local deve ser determinado de acordo com DNER-ME 213/1994 ou DNER-ME 088/1994. Use o valor médio das leituras como o valor do ponto de correlação para cada local de ensaio.

7.5.2.1 A calibração deve ser realizada em temperaturas esperadas durante os ensaios de rotina.

7.5.3 O valor médio da diferença entre o teor de umidade conforme determinado em 7.5.2 e os valores medidos com o equipamento deve ser usado como uma correção para essas medições feitas no campo.

7.5.3.1 A correção do teor de umidade pode ser aplicada manualmente, ou pode ser inserido no dispositivo, caso este seja equipado com uma entrada de correção.

7.5.4 O valor médio da diferença entre a densidade determinada em 7.5.2 e os valores medidos com o equipamento deve ser usado como uma correção para essas medições feitas no campo.

7.5.4.1 A correção da densidade pode ser aplicada manualmente, ou pode ser inserido no dispositivo, caso este seja equipado com uma entrada de correção.

7.6 O método e os procedimentos de ensaio usados para obter as medições elétricas na calibração devem ser os mesmos usados durante ensaio de rotina.

8 Procedimento

8.1 Preparação do local do ensaio:

8.1.1 Selecionar um local de ensaio de acordo com o projeto executado, que seja representativo do material total e esteja livre de possíveis interferências.

8.1.2 Remover todo o material solto ou que não seja representativo do material a ser ensaiado.

8.2 Colocar o dispositivo na superfície do material a ser ensaiado.

8.3 Registrar uma ou mais medidas de densidade e teor de umidade.

8.4 Medir a temperatura do solo com precisão de 1°C. A temperatura do material durante o ensaio deve ser representativa da temperatura do material durante a calibração.

8.5 Para o uso adequado do equipamento, a correção da densidade (7.5.4) e do teor de umidade (7.5.3) devem ser realizadas quando aplicável.

8.5.1 Quando houver presença de poucas partículas de tamanho grande (muito maior do que todo o material em geral), é aconselhável não realizar a medida neste ponto.

9 Cálculo dos resultados

9.1 Determinar a densidade úmida ou a massa específica aparente, ρ_t : ler o valor diretamente e registrar com precisão adequada.

9.2 Determinar o teor de umidade, w : ler o valor diretamente em porcentagem, com a precisão adequada.

9.3 Determinar a densidade seca por um dos seguintes métodos:

9.3.1 Se o teor de umidade é obtido pelo método eletromagnético, use as leituras diretamente do equipamento para calcular a densidade seca (massa específica aparente seca):

$$\rho_d = \rho_t - M_w \quad (1)$$

Onde:

→ ρ_d é a massa específica aparente seca (kg/m^3),

→ ρ_t é a massa específica aparente (kg/m^3), e

→ M_w corresponde ao valor da massa da água por unidade de volume em kg/m^3 .

9.3.2 Se o teor de umidade for determinado manualmente de uma amostra de solo, siga os procedimentos e cálculos do método de ensaio escolhido.

9.3.3 Com o valor de umidade obtido em 9.3.2 calcule a densidade seca por:

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}} \quad (2)$$

9.3.4 Registrar a densidade seca (massa específica aparentes seca) com precisão adequada.

9.4 Determinar o grau de compactação:

Expressar a densidade seca *in situ* como uma porcentagem de uma densidade de referência de laboratório, dividindo a densidade seca *in situ* pela densidade seca máxima obtida em laboratório, multiplicada por 100.

10 Relatório

Registrar os seguintes dados:

- a) Número ou identificação do ensaio.
- b) Localização do ponto (estaca, sistema de posicionamento global GPS, coordenadas ou outras informações identificáveis).
- c) Descrição visual do material testado.
- d) Elevação ou profundidade do ponto.
- e) Nome do(s) operador(es).
- f) Marca, modelo e número de série do equipamento.
- g) Correlação usada e ajustes de dados.
- h) Quaisquer correções feitas nos valores reportados e razões para estas correções.
- i) Valor máximo da densidade de laboratório.
- j) Densidade seca.
- k) Densidade úmida.
- l) Teor de umidade em porcentagem.
- m) Grau de compactação.
- n) Temperatura do solo.
- o) Observações feitas durante os ensaios: condições do local, clima, material, equipamento utilizado para obter a compactação.

Anexo A (Normativo)

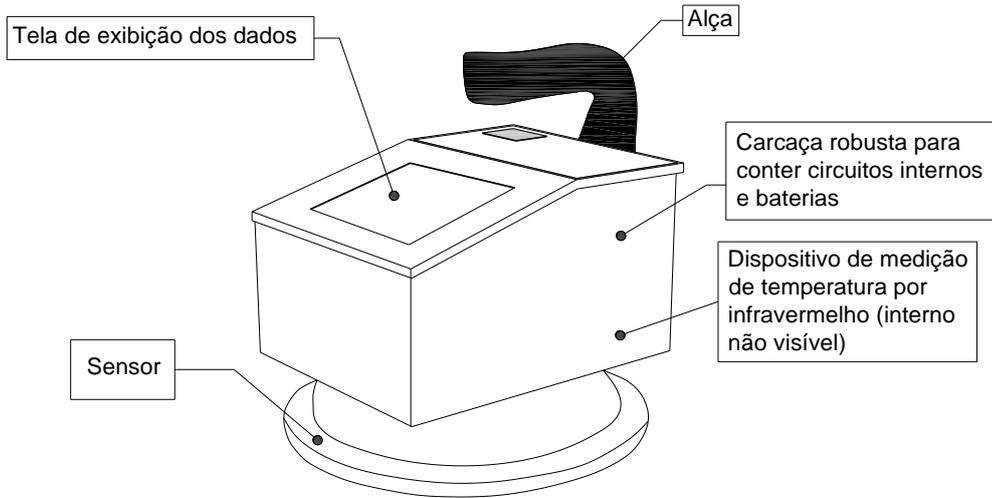


Figura 1 – Densímetro eletromagnético de solo.

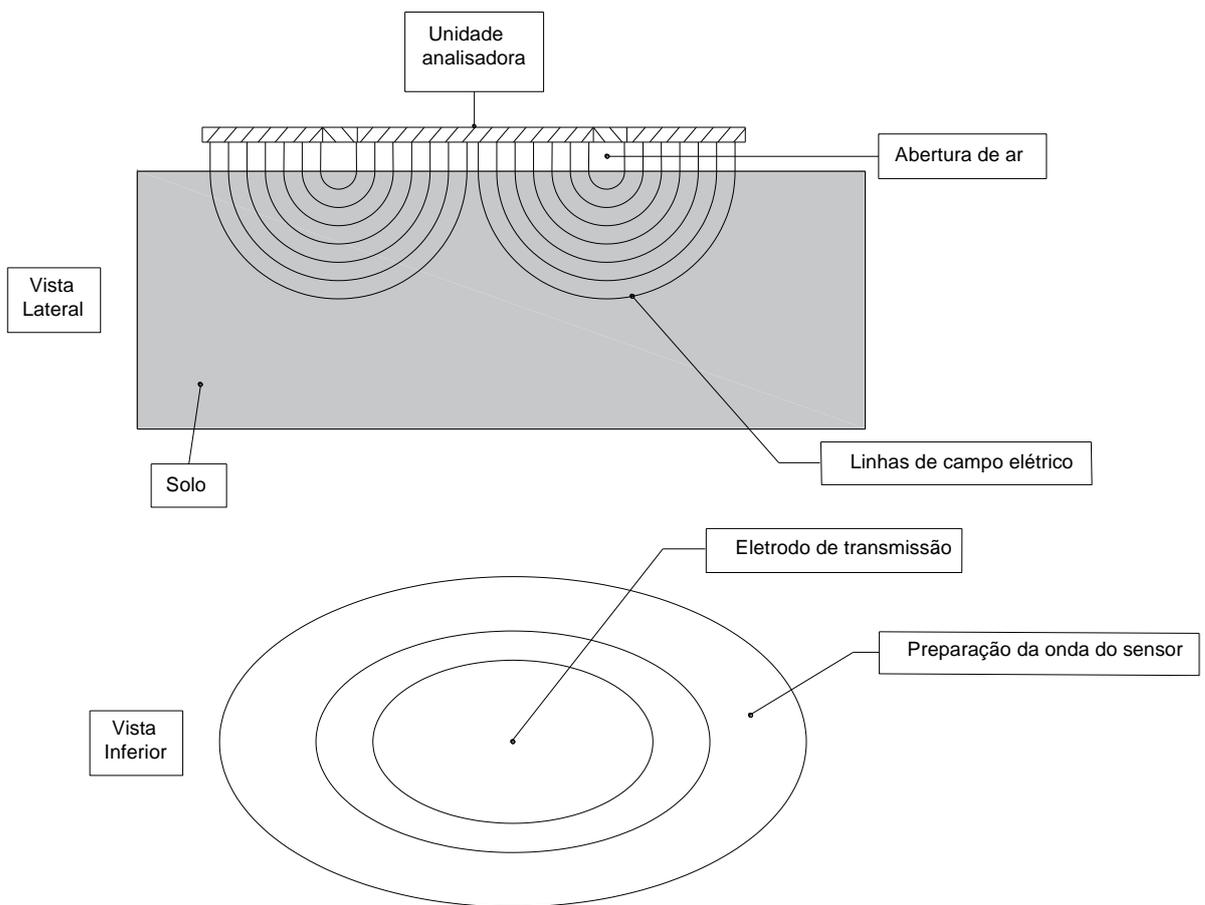


Figura 2 – Visão esquemática do sensor.

Anexo B (Normativo)**Calibração**

B.1 Calibração - Os instrumentos de medição devem ser calibrados na fábrica antes de serem comercializados, após quaisquer reparações e a intervalos não superiores a 12 meses.

B.2 A resposta de calibração deve estar dentro da precisão necessária. Esta calibração deve ser executada pelo fabricante. A impedância é influenciada por fatores químicos e mineralógicos da composição dos materiais medidos, e deve ser considerada ao estabelecer as condições de calibração. Os materiais utilizados para calibração devem representar densidades e umidades comuns em projetos de terraplanagem e camadas de pavimento. A densidade deve ser determinada de tal maneira que o desvio padrão não deve exceder 1,0 %.

B.3 Verificar a densidade do(s) bloco(s) usado para calibrar em período que não exceda cinco anos.

B.4 Os dados podem ser apresentados em forma de gráfico, tabela, equação ou coeficientes ou armazenados no equipamento para permitir medições corrigidas.

B.5 O método e os procedimentos de ensaio usados na calibração devem ser os mesmos utilizados para obtenção dos dados de campo.

B.6 O tipo de material, densidade real ou densidade estabelecida de cada bloco de calibração utilizado para estabelecer ou verificar calibrações devem ser declaradas como parte dos dados de calibração.

B.7 Os blocos de calibração devem ter tamanho suficiente para que as medições elétricas não mudem se o bloco for ampliado em qualquer dimensão.

_____/Anexo C

Anexo C (Normativo)**Precisão do Medidor**

C.1. A precisão do medidor é definida como a mudança na densidade ou umidade por unidade de volume que ocorre correspondente a uma alteração de um desvio padrão no sinal elétrico medido. A densidade e o teor de umidade do material devem ser declarados.

C.2. Precisão do medidor - Obter um mínimo de 20 medições repetitivas no mesmo local entre as leituras. Calcular o desvio padrão das leituras resultantes. Esta é a precisão do medidor.

_____/Anexo D

Anexo D (Informativo)



Figura 1 – Aparelho densímetro eletromagnético

Índice geral

Abstract.....	1	Índice geral.....	10
Anexo A (Normativo) - Esquema.....	6	Interferências.....	5.....2
Anexo B (Normativo) - Calibração.....	7	Objetivo.....	1.....2
Anexo C (Informativo) - Precisão.....	8	Prefácio.....	1
Anexo D (Informativo) - Foto.....	9	Procedimento.....	8.....4
Aparelhagem.....	5.....3	Referências normativas.....	2.....2
Aplicabilidade.....	4.....2	Relatório.....	10.....5
Cálculo dos resultados.....	9.....5	Resumo.....	1
Calibração.....	7.....3	Sumário.....	1
Definições.....	3.....2		
