



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

Agosto/2018

NORMA DNIT xxx/2018 - PRO

## Pavimentação – Teste de correlação entre equipamentos *Falling Weight Deflectometer* (FWD) - Dia do FWD - Procedimento

**Autor:** Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

**Processo:**

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na Reunião de // .**

*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:**

Deflexão, calibração, FWD, avaliação de pavimentos.

**Total de páginas**

8

### Resumo

O equipamento defletoômetro de impacto *Falling Weight Deflectometer* (FWD) é usado para medida de deflexão de pavimentos. Esta norma especifica os procedimentos de verificação da acurácia e confiabilidade de equipamentos FWD, em termos absolutos e relativos a outros, para minimizar os erros no controle da execução de pavimentos novos ou de restaurações e nos diagnósticos de projetos de reforço e restauração de pavimentos. Um equipamento é considerado calibrado quando, numa certa condição de teste, suas leituras comparadas com medidas de referência se situam dentro de limites especificados. O uso das especificações deste procedimento leva à calibração relativa entre vários equipamentos do mesmo tipo, mesmo que de diferentes fabricantes, resultando em medidas de deflexão semelhantes e análises mais precisas do estado estrutural dos pavimentos avaliados.

### Abstract

Falling Weight Deflectometer (FWD) is used for deflection measurement of pavements. This standard specifies the procedures for verifying the accuracy and reliability of FWD equipment, in absolute and relative terms, to minimize errors control of the execution of new pavements or restorations and in diagnostics and pavement reinforcement and rehabilitation projects. An equipment is considered calibrated when, in a given test condition, its measures compared to reference measures

are within specified limits. The use of the specifications of this procedure leads to the relative calibration between several equipment of the same type, even from different manufacturers, resulting in similar deflection measurements and into more accurate analysis results of the structural state of the evaluated pavement.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo .....	2
2 Referências normativas .....	2
3 Definições .....	2
4 Equipamentos .....	2
5 Organização das atividades .....	2
6 Procedimentos e análise da repetibilidade.....	3
7 Procedimentos e análise da reprodutibilidade.....	4
8 Análise de resultados.....	6
Anexo A (Informativo) - Bibliografia.....	7
Índice geral.....	8

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a realização do ensaio de correlação entre equipamentos *Falling Weight Deflectometer* (FWD). A criação desta norma procede dos estudos e pesquisas

realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a UFRJ, para o desenvolvimento de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO.

## 1 Objetivo

Este método descreve os procedimentos para a determinação de fatores de correlação entre vários deflectômetros de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Este método também inclui a determinação da bacia de deflexão de referência com base em um grupo de FWD e o critério de repetibilidade das leituras da deflexão e das cargas.

Cada equipamento FWD deve ser submetido a este procedimento pelo menos uma vez a cada dois anos para ter um certificado e estar em condições de operação de avaliação de pavimentos.

Para o procedimento de correlação é necessária, no mínimo, a participação de cinco equipamentos que apresentem duração de pulsos de carga semelhantes.

Este procedimento não substitui a necessidade da calibração periódica de cada equipamento.

## 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).

DNER-PRO 273: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* FWD – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.

DNIT 132-PRO: Pavimentos – Calibração da célula de carga e de sensores de deflexão dos deflectômetros do tipo “*Falling Weight Deflectometer* (FWD)” – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR.

## 3 Definições

Para o equipamento, suas partes e sistemas de medidas, aplicam-se as definições constantes nas normas DNER – PRO 273/96 e DNIT 132/2010 – PRO.

## 3.1 Repetibilidade

Definida como a capacidade que um FWD apresenta de produzir resultados consistentes em um trecho específico, quando é realizada uma sequência de 10 quedas sucessivas (sem interrupções) do conjunto de massas do equipamento. O pavimento deve estar em boas condições estruturais e funcionais, o subleito não pode ser de baixa capacidade de suporte e a temperatura não deve variar muito durante o ensaio.

O equipamento deve ser considerado repetitivo quando atender às tolerâncias previstas para a variação na carga e nas deflexões (deformações elásticas).

## 3.2 Reprodutibilidade

Resultados de ensaios são definidos como reprodutíveis quando vários instrumentos ou dispositivos são capazes de reproduzir leituras em testes específicos e em condições idênticas, mesmo quando operados por diferentes equipes, utilizando diferentes tipos ou marcas do equipamento.

## 4 Equipamentos

Os seguintes equipamentos devem estar disponíveis:

- Deflectômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* (FWD);
- Trena ou régua dobrável;
- Termômetro de referência; e
- Relógio.

## 5 Organização das atividades

Para cumprir o objetivo, o órgão certificador define um dia específico, denominado “Dia do FWD”, para reunir os equipamentos que poderão obter o certificado de apto a ser utilizado nos levantamentos de deflexão nos trechos rodoviários sob sua jurisdição.

Deve ser composta uma comissão avaliadora responsável pelo Dia do FWD, que organiza as atividades do dia e se responsabiliza pela análise dos dados dos ensaios e emissão do relatório de conformidade de cada equipamento.

Devem ser selecionados pelo menos dois trechos para os testes, diferentes em termos de espessura do pavimento e capacidade de suporte do subleito. Cada trecho de teste deve ter vinte seções de levantamento (estacas ou outras referências de pontos de avaliação),

para verificação da reprodutibilidade e três seções para a verificação da repetibilidade.

Selecionar e marcar os pontos de avaliação no local de teste (seções), para que todos os equipamentos façam os procedimentos exatamente no mesmo local. Deve-se escolher uma via de tráfego médio, preferencialmente.

As seções devem ser marcadas, preferencialmente, no meio da faixa de tráfego, e na faixa de rolamento não deve existir afundamento de trilha de roda com mais de 3 mm de profundidade. Cada seção de teste deve ser marcada com um círculo de raio igual a 0,4 m.

Nenhuma trinca deve ser identificada na superfície do pavimento a menos de 5 m de distância da seção de teste, para evitar que a bacia de deflexão seja influenciada por essa descontinuidade, ficando suscetível a erros e variações.

Todos os FWD devem estar com os sensores posicionados nas mesmas posições. Cada FWD deve usar pelo menos 7 sensores de deflexão. O espaço entre os sensores de deflexão deve obedecer a um intervalo de 300 mm, a partir do centro de aplicação da carga, independentemente das configurações comumente usadas nos ensaios correntes. No caso de mais de 7 sensores de deflexão, devem ser analisados apenas os dados produzidos pelos primeiros sete sensores.

Em local específico, deve-se usar uma instrumentação para medida de temperatura da superfície do pavimento (termopares ou outros instrumentos calibrados) e do ar, para verificar a precisão dos termômetros dos equipamentos.

## 6 Procedimentos e análise da repetibilidade

O nível de carga deve ser ajustado para o valor pré-estabelecido de 40 kN e, em seguida, a placa de carga de cada FWD deve ser posicionada no local marcado (seção). Aplica-se uma sequência de 12 quedas do conjunto de massa do equipamento, sem levantar a placa do carregamento da superfície de teste. Utilizar apenas as 10 últimas leituras na análise.

Durante a realização do ensaio de cada FWD, deve-se registrar a carga aplicada, a deflexão e a temperatura do ar e da superfície do pavimento.

O equipamento deve seguir os procedimentos e atender aos critérios estabelecidos em cada uma das 6 seções ensaiadas.

Os resultados devem ser considerados repetitivos quando atenderem aos seguintes critérios:

- a) O desvio padrão da carga registrada na série de dez quedas do conjunto de massa deve ser menor ou igual a 2 % da média dos valores registrados. Se o desvio padrão exceder este valor especificado, o critério de aceitação de variação de carga não foi respeitado;
- b) O desvio padrão das deflexões medidas na série de 10 quedas do conjunto de massa deve ser menor ou igual a 2  $\mu\text{m}$ , ou a soma de 1  $\mu\text{m}$  mais 0,75 % da média corrigida dos valores registrados, o que for menor. Se o desvio padrão for maior que estes especificados, o critério de aceitação da variação de deflexão não foi respeitado.

## 7 Procedimentos e análise da reprodutibilidade

Em cada seção de teste, cada FWD deve aplicar 5 quedas do conjunto de massa do equipamento, sem levantar a placa de carregamento. Apenas as 4 últimas leituras são utilizadas na análise. A carga de aplicação deve ser ajustada em 40 kN e os valores das cargas, deflexões medidas e temperatura devem ser registrados em cada queda.

Os equipamentos devem atuar em comboio de forma que a temperatura do pavimento seja a mais próxima possível nas medições do conjunto. Não serão aceitas variações de temperaturas maiores do que 3 °C, entre a passagem do primeiro e a do último equipamento em cada seção.

O equipamento deve seguir os procedimentos e atender aos critérios estabelecidos em cada uma das 40 seções ensaiadas.

A análise dos resultados para a verificação da reprodutibilidade deve seguir os 10 passos seguintes:

- i) Corrigir todas as deflexões por FWD, em cada seção ensaiada, por interpolação linear, em função da carga pré-estabelecida e da carga realmente aplicada;

$$d_{i,j,k,m} = u_{i,j,k,m} \times \frac{FR}{F_{i,k,m}} \quad (1)$$

Onde:

$d_{i,j,k,m}$  = Deflexão corrigida

$u_{i,j,k,m}$  = Deflexão medida

$F_{i,k,m}$  = Carga aplicada

FR = Carga pré-definida

i = queda do conjunto de massa

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

ii) Determinar as deflexões médias corrigidas por sensor e para cada seção ensaiada, por FWD, para o conjunto de 4 golpes:

$$d_{j,k,m} = \frac{1}{NK} \times \sum_{i=1}^{NK} d_{i,j,k,m} \quad (2)$$

Onde:

$d_{j,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

$d_{i,j,k,m}$  = Deflexão corrigida

NK = número de golpes

i = queda do conjunto de massa

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

iii) Definir, por sensor e para cada seção ensaiada, as deflexões médias corrigidas, máximas e mínimas, de cada FWD:

$$dH_{j,k} = \text{máximo}(d_{j,k,1}; d_{j,k,2} \dots d_{j,k,NN}) \quad (3)$$

$$dL_{j,k} = \text{mínimo}(d_{j,k,1}; d_{j,k,2} \dots d_{j,k,NN})$$

Onde:

$dH_{j,k}$  = Deflexão máxima corrigida

$dL_{j,k}$  = Deflexão mínima corrigida

$d_{j,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

NN = Número de equipamentos

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

iv) Calcular a deflexão média ponderada:

$$dW_{j,k} = \frac{1}{NN-2} \times \left[ \left( \sum_{m=1}^{NN} d_{j,k,m} \right) - dH_{j,k} - dL_{j,k} \right] \quad (4)$$

Onde:

$dW_{j,k}$  = Deflexão média ponderada

NN = Número de equipamentos

$d_{j,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

$dH_{j,k}$  = Deflexão máxima corrigida

$dL_{j,k}$  = Deflexão mínima corrigida

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

v) Calcular para cada FWD, por sensor em cada seção ensaiada, a diferença entre a deflexão média corrigida e a deflexão média ponderada. Determinar a razão desta diferença com a deflexão média ponderada:

$$D_{j,k,m} = \frac{d_{j,k,m} - dW_{j,k}}{dW_{j,k}} \quad (5)$$

Onde:

$D_{j,k,m}$  = Razão entre a diferença das deflexões média e ponderada e a deflexão média ponderada.

$d_{j,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

$dW_{j,k}$  = Deflexão média ponderada

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

vi) Calcular o desvio padrão para cada FWD, por sensor em cada seção ensaiada. O desvio padrão não poderá exceder em um ou mais sensores o valor de 0,090:

$$sD_{j,k,m} = \sqrt{\frac{NMx \sum_{k=1}^{NM} D_{j,k,m}^2 - \left( \sum_{k=1}^{NM} D_{j,k,m} \right)^2}{NMx(NM - 1)}} \quad (6)$$

Onde:

$sD_{j,k,m}$  = Desvio Padrão

$D_{j,k,m}$  = Razão entre a diferença das deflexões média e ponderada, e a deflexão média ponderada.

NM = Número de seções ensaiadas

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

vii) Calcular, por sensor em cada seção ensaiada, o valor de referência da deflexão arredondando para o número inteiro mais próximo, quando expresso em unidade  $\mu\text{m}$ . As bacias de deflexão obtidas desta maneira são denominadas “bacia de referência de deflexão”:

$$dR_{j,k} = \frac{1}{NN} \sum_{n=1}^{NN} d_{i,k,m} \quad (7)$$

Onde:

$dR_{j,k}$  = Deflexão de referência

$d_{i,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

NN = Número de equipamentos

i = queda do conjunto de massa

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

viii) Calcular para cada FWD, por sensor em cada seção ensaiada, a razão entre a deflexão de referência e a deflexão média corrigida:

$$R_{j,k,m} = \frac{dR_{j,k}}{d_{j,k,m}} \quad (8)$$

Onde:

$R_{j,k,m}$  = Razão entre a deflexão de referência e a deflexão média corrigida.

$dR_{j,k}$  = Deflexão de referência

$d_{j,k,m}$  = Deflexão média corrigida por sensor de deflexão

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

ix) Determinar, por sensor, a média e o desvio padrão desta relação de cada FWD. Essas médias são denominadas “fator de correlação do sensor de deflexão”. Serão aceitos valores de  $R_{j,m}$  compreendidos entre 0,80 e 1,20:

$$R_{j,m} = \frac{1}{NM} x \sum_{k=1}^{NM} R_{j,k,m} \quad (9)$$

$$sR_{j,m} = \sqrt{\frac{NMx \sum_{k=1}^{NM} R_{j,k,m}^2 - \left( \sum_{k=1}^{NM} R_{j,k,m} \right)^2}{NMx(NM - 1)}} \quad (10)$$

Onde:

$R_{j,m}$  = Fator de correlação do sensor de deflexão

$R_{j,k,m}$  = Razão entre a deflexão de referência e a deflexão média corrigida.

$sR_{j,m}$  = Desvio Padrão do fator de correlação do sensor de deflexão

NM = Número de seções ensaiadas

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

x) Determinar a média dos fatores de correlação das deflexões para cada FWD. Esta média é definida como “fator de correlação do FWD”. Valores

compreendidos de  $R_m$  entre 0,995 e 1,005 devem ser considerados equivalentes a um fator de 1,0. Este intervalo garante que o FWD tem reprodutibilidade aceitável com os demais e pode ser certificado:

$$R_m = \frac{1}{NG} \times \sum_{j=1}^{NG} R_{j,m} \quad (11)$$

Onde:

$R_m$  = Fator de correlação do FWD

$R_{j,m}$  = Fator de correlação do sensor de deflexão

NG = Número de sensor de deflexão

j = sensor de deflexão

k = seção de teste

m = FWD

## 8 Análise dos resultados

A comissão avaliadora deve reunir e avaliar os dados do “Dia do FWD” de cada equipamento. Em caso do não

atendimento dos requisitos de repetibilidade e reprodutibilidade de um determinado FWD, a comissão deve entrar em contato com o responsável pelo FWD não conforme, para esclarecimentos.

Quando um equipamento não cumprir os requisitos pré-estabelecidos nesta norma, o procedimento deve ser repetido, e caso a não conformidade continue, deve ser feita uma investigação mais detalhada do equipamento para correção do problema.

Os supervisores devem verificar, por meio de amostragem, se os procedimentos de ensaio e análise seguiram as especificações desta norma.

Os FWDs que cumprirem os requisitos de repetibilidade e reprodutibilidade devem receber um certificado, indicando o fator de correlação do FWD. Esse certificado deve ter a validade de 24 meses, após o dia do ensaio.

Nenhum equipamento pode prestar serviço para o órgão emissor da certificação se não estiver com seu certificado em dia.

**Anexo A (Informativo) - Bibliografia**

- a) FWD comparative day 2007. *CROW REPORT D08-01*, Ede, NED, 2007.
- b) FALLING weight deflectometer calibration guide. *CROW REPORT D11-07*, Ede, NED, 2011.
- c) FWD correlation trial 2013. *CROW REPORT D13-05*, Ede, NED, 2013.
- d) Moraes, C. G. *Análise de bacias deflectométricas obtidas por 4 equipamentos do tipo Falling Weight Deflectometer (FWD)*. 2015. 280p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_/Índice geral

**Índice geral**

Abstract.....	1	Prefácio .....	1
Análise dos resultados .....	8 ..... 6	Procedimentos e análise da repetibilidade .....	6 ..... 3
Anexo A (Informativo).....	7	Procedimentos e análise da reprodutibilidade .....	7 ..... 3
Definições .....	3 ..... 2	Referências normativas .....	2 ..... 2
Equipamentos .....	4 ..... 2	Repetibilidade.....	3.1.....2
Índice geral.....	8	Reprodutibilidade.....	3.2.....2
Objetivo .....	1 ..... 2	Resumo .....	1
Organização das atividades .....	5 ..... 2	Sumário .....	1

---