



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

JANEIRO 2022

NORMA DNIT 140/2022 – ES

## Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento – Especificação de serviço

**Autor:** Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

**Processo:** 50600.030726/2019-02

**Origem:** Revisão da norma DNIT 140/2010 – ES

**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 04/01/2022.**

*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:

Pavimentação, sub-base, solo melhorado com cimento

### Nº total de páginas

12

### Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na execução da camada de sub-base de pavimento utilizando uma mistura de solo melhorado com cimento. São também apresentados os requisitos concernentes a materiais, equipamentos, execução, condicionantes ambientais, controle da qualidade, plano de amostragem, condições de conformidade e não conformidade e os critérios de medição dos serviços.

### Abstract

This document establishes the systematic to be used in the execution of a sub-base pavement layer construction, using a mixture of soil improved with cement. Requirements related to materials, equipment, execution, environmental conditioners, quality control, sampling plan, compliance and non-conformity conditions and services measurement criteria are also presented.

### Sumário

Prefácio .....	1
1 Objetivo .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Definições.....	2
4 Condições gerais .....	3
5 Condições específicas .....	3
6 Condicionantes ambientais .....	6

7 Inspeções .....	6
8 Critérios de medição .....	9
Anexo A (Normativo) – Amostragem Variável .....	10
Anexo B (Informativo) – Bibliografia.....	11
Índice geral .....	12

### Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, para servir como documento base, visando estabelecer a sistemática empregada na execução da camada de sub-base, quando utilizado solo melhorado com cimento. Trata-se de revisão de norma, procedente dos estudos e pesquisas realizados no âmbito do Termo de Execução Descentralizada – TED nº 682/2014 firmado com a COPPE/UFRJ, para elaboração de método mecanístico-empírico de dimensionamento de pavimento asfáltico. Está formatada de acordo com a norma DNIT 001/2009 – PRO, cancela e substitui a norma DNIT 140/2010 – ES.

### 1 Objetivo

Esta Norma estabelece a sistemática a ser empregada na execução de uma camada de sub-base, quando empregado solo melhorado com cimento.

### 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) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – EM 036/95: Cimento Portland – Recebimento e aceitação – Especificação de material.
- b) \_\_\_\_\_. DNER – ME 024/94: Pavimento – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman – Método de ensaio.
- c) \_\_\_\_\_. DNER – ME 036/94: Solo – Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do balão de borracha – Método de ensaio.
- d) \_\_\_\_\_. DNER – ME 052/94: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy” – Método de ensaio.
- e) \_\_\_\_\_. DNER – ME 080/94: Solos – Análise granulométrica por peneiramento – Método de ensaio.
- f) \_\_\_\_\_. DNER – ME 082/94: Solos – Determinação do limite de plasticidade – Método de ensaio.
- g) \_\_\_\_\_. DNER – ME 088/94: Solos – Determinação da umidade pelo método expedito do álcool – Método de ensaio.
- h) \_\_\_\_\_. DNER – ME 092/94: Solo – Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia – Método de ensaio.
- i) \_\_\_\_\_. DNER – ME 122/94: Solos – Determinação do limite de liquidez – Método de referência e método expedito – Método de ensaio.
- j) \_\_\_\_\_. DNER – PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer” (FWD) – Procedimento.
- k) \_\_\_\_\_. DNER – PRO 277/97: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços – Procedimento.
- l) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 011

– PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento.

- m) \_\_\_\_\_. DNIT 013 – PRO: Requisitos para a qualidade na execução de obras rodoviárias – Procedimento.
- n) \_\_\_\_\_. DNIT 070 – PRO: Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras – Procedimento.
- o) \_\_\_\_\_. DNIT 134 – ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.
- p) \_\_\_\_\_. DNIT 144 – ES: Pavimentação – Imprimação com ligante asfáltico – Especificação de serviço.
- q) \_\_\_\_\_. DNIT 164 – ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.
- r) \_\_\_\_\_. DNIT 165 – EM: Emulsão asfáltica para pavimentação – Especificação de material.
- s) \_\_\_\_\_. DNIT 172 – ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.
- t) \_\_\_\_\_. DNIT 179 – IE: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio.
- u) \_\_\_\_\_. DNIT 417 – ME: Solos – Controle de Compactação com Equipamento Densímetro Eletromagnético – Método de ensaio.
- v) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16372:2015 – Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine).

### 3 Definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições:

#### 3.1 Sub-base

Camada de um pavimento, complementar à base e com as mesmas funções desta, executada sobre o subleito ou

reforço do subleito devidamente compactado e regularizado.

### 3.2 Solo melhorado com cimento

Material proveniente da mistura de solo (com ou sem adição de material granular), cimento e água, em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem, de forma que o teor selecionado promova a melhoria das características do material, tais como granulometria, redução da expansão, etc., propiciando seu emprego como material de pavimentação e o atendimento às exigências de projeto. Os teores de cimento para a mistura de solo melhorado usualmente estão situados na faixa de 2 % a 4 %, em massa, em relação à massa total seca da mistura. Pode haver variações neste teor a depender do tipo de solo e de acordo com a definição de projeto.

## 4 Condições gerais

- a) Não deve ser permitida a execução dos serviços, objeto desta norma, em dias de chuva.
- b) Todo o carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado do fabricante/distribuidor com informações dos resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos na norma DNER – EM 036/95, a data de fabricação, a indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo. O tipo de cimento deve ser o mesmo utilizado na dosagem.
- c) É responsabilidade do executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.
- d) Para correta execução da camada e adequado acompanhamento dos serviços, deverá ser previamente executado um segmento experimental para avaliar a dosagem da mistura e o atendimento às definições de projeto. Se aprovado pela fiscalização, os procedimentos adotados deverão ser replicados em toda a execução do segmento.
- e) Na hipótese de rejeição dos serviços executados no segmento experimental, este deverá ser refeito, ajustando-se os procedimentos adotados, até que os parâmetros em análise estejam adequados.

- f) Antes da execução dos serviços, deve ser implantada a sinalização adequada da obra, visando à segurança do tráfego, devendo ser efetuada sua manutenção permanente durante a execução dos serviços. Atenção especial deve ser dada para a segurança do tráfego na operação do sistema siga/pare.

NOTA 1: O DNIT dispõe de um Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias (Publicação IPR – 738), o qual pode ser consultado, se necessário.

## 5 Condições específicas

### 5.1 Materiais

#### 5.1.1 Cimento Portland

Deve obedecer às exigências da norma DNER – EM 036/95.

#### 5.1.2 Água

É satisfatório o uso de água potável, devendo ser isenta de materiais nocivos, como sais solúveis, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

#### 5.1.3 Solo

Os solos, com ou sem adição de material granular, empregados na execução de sub-base de solo melhorado com cimento, devem ser provenientes de ocorrências de materiais, devendo apresentar as características definidas na fase de projeto. Os agregados eventualmente retidos na peneira nº 10 devem ser constituídos de partículas duras e duráveis, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados, de matéria vegetal ou outra substância prejudicial.

### 5.2 Mistura de solo melhorado com cimento

A combinação do solo ou material selecionado na fase de projeto e os teores de cimento e de água, definidos na dosagem, devem proporcionar melhoria substancial nas características do solo puro que justifique seu emprego, tendo ainda que atender aos seguintes requisitos:

- Expansão máxima de 1 % (DNIT 172 – ME);

– Módulo de Resiliência (MR), de acordo com o especificado em projeto, se realizada análise mecanicista (DNIT 134 – ME);

– Deformação Permanente (DP), de acordo com o especificado em projeto, se realizada análise mecanicista (DNIT 179 – IE).

Os parâmetros a seguir devem ser atendidos, caso o projeto tenha sido dimensionado pelo método empírico:

– Índice de Suporte Califórnia  $ISC \geq 30\%$  (DNIT 172 – ME);

– Limite de liquidez  $\leq 25\%$  (DNER-ME 122/94);

– Índice de plasticidade  $\leq 6\%$  (DNER-ME 082/94).

### 5.3 Equipamentos

#### 5.3.1 Execução de sub-base de solo melhorado com cimento

São indicados os seguintes equipamentos:

- a) Motoniveladora com escarificador.
- b) Pulvimisturador.
- c) Trator de esteiras ou pneumático.
- d) Caminhão-tanque distribuidor de água.
- e) Rolos compactadores autopropulsados dos tipos pé-de-carneiro, corrugados, liso, liso-vibratório e pneumático.
- f) Central de mistura de capacidade adequada à obra.
- g) Rolo vibratório portátil ou sapo mecânico.
- h) Recicladora.
- i) Caminhão distribuidor de cimento.

#### 5.3.2 Central de mistura

Deve ser constituída essencialmente de:

- a) Silos, geralmente para cimento e solo, providos de bocas de descarga e equipados com dispositivos que permitam a produção contínua da mistura.

b) Transportadores de esteira, que transportam o solo e o cimento na proporção conveniente, até o equipamento misturador.

c) Equipamento misturador “pug-mill”, constituído, normalmente, de uma caixa metálica, contendo em seu interior, como elementos misturadores, dois eixos que rodam em sentido contrário, providos de chapa em espiral ou de pequenas chapas fixadas em hastes que, devido aos seus movimentos, forçam a mistura íntima dos materiais, ao mesmo tempo em que os faz avançar até a saída do equipamento.

d) Reservatório de água e canalizações que permitam depositar e pulverizar a água sobre o solo, no processo de mistura.

e) Equipamento de carga de caminhões, constituído de um silo com transportadores de correias ou elevadores de canecas, colocado de modo que o caminhão transportador possa receber a mistura por gravidade.

### 5.4 Execução

#### 5.4.1 Mistura em central

a) A mistura de solo melhorado com cimento deve ser preparada em centrais de mistura, empregando materiais de ocorrências, objetivando as vantagens técnicas e econômicas na dosagem e homogeneização da mistura.

b) O solo, ou a mistura de solo e material granular, deve sofrer um processo de pulverização eficiente que garanta a ausência de grumos. Ao final deste processo, exige-se que no mínimo 50 % do material seja reduzido a partículas de diâmetro inferior a 4,8 mm.

c) Todas as operações necessárias ao preparo da mistura final devem ser realizadas na central, restando apenas o transporte da mistura já pronta para a pista, onde deve ser espalhada, umedecida, se necessário, e homogeneizada com as devidas precauções, e de modo que, após a compactação, apresente espessura, greide longitudinal e seção transversal indicados no projeto.

- d) A faixa para receber a mistura de solo melhorado com cimento deve estar preparada no que se refere à drenagem, nivelamento e seção transversal, conforme fixados no projeto.

#### 5.4.2 Mistura na pista

No caso de utilização do solo do próprio subleito ou de solos selecionados com mistura na pista, devem ser obedecidas as seguintes fases de execução:

- a) Preparo da faixa.
- b) Pulverização e homogeneização do solo local ou de empréstimo.
- c) Distribuição de cimento, preferencialmente através de processos mecânicos.
- d) Preparo da mistura de solo e cimento utilizando o equipamento de pulverização e homogeneização.
- e) Umedecimento e homogeneização.

NOTA 2: Recomenda-se o uso de distribuidor de cimento com controlador de dosagem eletrônico, para garantir que o teor de cimento, especificado em projeto, seja adicionado à mistura.

#### 5.4.3 Espalhamento

O material deve ser distribuído e homogeneizado mediante ação combinada de grade de discos e motoniveladora, em quantidade suficiente para obtenção da espessura da camada compactada definida em projeto. No decorrer desta etapa, devem ser removidos materiais estranhos ou fragmentos de tamanho excessivo.

#### 5.4.4 Correção e homogeneização da umidade

A variação do teor de umidade admitido para o material no início da compactação é de +/- 1 % da umidade ótima de compactação. Caso o teor de umidade esteja abaixo do limite mínimo especificado, deve ser procedido o umedecimento da camada com caminhão-tanque distribuidor de água, seguido da homogeneização pela atuação de grade de discos e motoniveladora. Se o teor de umidade de campo exceder ao limite superior especificado, deve-se aerar o material mediante ação

conjunta da grade de discos e da motoniveladora, para que o material atinja o intervalo da umidade especificada.

Concluída a correção e homogeneização da umidade, o material deve ser conformado de maneira a se obter a espessura especificada após a compactação.

#### 5.4.5 Compactação

Encerrada a fase de mistura, é realizada a compactação da camada de sub-base de acordo com a seção especificada em projeto.

No segmento experimental realizado na fase inicial da obra, devem ser verificadas diferentes formas de compactação de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos no decorrer da obra.

Nesta fase, deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos rolos compactadores para atingir o grau de compactação especificado e, sempre que houver variação no material ou equipamento empregado, deve ser realizada nova determinação.

O tempo decorrido entre a adição da água na mistura de solo melhorado com cimento e o início do espalhamento não deve ser superior a 1 hora, a menos que, a critério da fiscalização, e devidamente comprovado por ensaios, constate-se a possibilidade de aumentar este tempo. Em qualquer hipótese, o limite máximo de tempo entre a adição da água e o final da compactação deve ser de 3 horas.

A compactação deve evoluir longitudinalmente, iniciando pelas bordas. Nos trechos em tangente, a compactação deve prosseguir das duas bordas para o centro, em percursos equidistantes do eixo. Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja recoberta metade da faixa coberta no percurso anterior. Nos trechos em curva, havendo superelevação, a compactação deve progredir da borda mais baixa para a mais alta, com percursos análogos aos descritos para os trechos em tangente.

Nas partes adjacentes ao início e ao fim da sub-base em construção, a compactação deve ser executada transversalmente ao eixo. Nas partes inacessíveis aos rolos compactadores, assim como nas partes em que seu uso não for recomendável, tais como cabeceira de pontes e viadutos, a compactação deve ser executada com rolos vibratórios portáteis ou sapos mecânicos.

Durante a compactação, se necessário, pode ser promovido o umedecimento da superfície da camada, mediante emprego de caminhão-tanque distribuidor de água. Esta operação é exigida sempre que o teor de umidade estiver abaixo do limite inferior do intervalo de umidade admitido para a compactação.

#### **5.4.6 Espessura da camada compactada**

A camada compactada deve ter espessura no intervalo entre 10 cm e 20 cm. Quando houver necessidade de se executar camadas de sub-base com espessura final superior a 20 cm, estas devem ser subdivididas em camadas parciais, sendo 10 cm a espessura mínima permitida após compactação, para as camadas subdivididas. Nesta fase, devem ser tomados os cuidados necessários para evitar a adição de material na fase de acabamento.

#### **5.4.7 Acabamento**

O acabamento deve ser executado pela ação conjunta de motoniveladora e de rolos compactadores. A motoniveladora deve atuar, quando necessário, exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões com adição de material.

#### **5.4.8 Juntas de construção**

As juntas transversais de construção devem ser executadas para assegurar a eficiência e o bom acabamento da camada, quando for necessário interromper a execução da sub-base de solo melhorado com cimento, para posterior retomada do serviço.

As juntas longitudinais de construção devem ser evitadas. A camada de sub-base de solo melhorado com cimento deve ser executada em etapa única, abrangendo toda a largura da pista.

#### **5.4.9 Cura**

Logo após a execução da camada, a sub-base de solo melhorado com cimento deve ser submetida a um processo de cura, devendo ser protegida da perda rápida de umidade, por pelo menos sete dias, antes da execução da camada de base.

A cura deve ser realizada com Emulsão Asfáltica RR-2C ou Emulsão Asfáltica para Imprimação – EAI, as quais

devem estar em conformidade com a norma DNIT 165/2013 – EM, seguindo as técnicas previstas na norma DNIT 144 – ES: Pavimentação – Imprimação com ligante asfáltico.

Para a pintura de cura, sugere-se uma taxa de aplicação à razão de 0,6 l/m<sup>2</sup> quando utilizada emulsão RR-2C, e para o uso de EAI, recomenda-se uma razão entre 0,9 l/m<sup>2</sup> e 1,7 l/m<sup>2</sup>. Em ambos os casos, a taxa deve ser confirmada no segmento experimental, ou pode ser alterada, desde que também adequadamente avaliada no segmento e autorizada pela Fiscalização.

A emulsão asfáltica deve ser aplicada com caminhão espargidor, devendo ser executada sobre a superfície limpa com jatos de ar comprimido e suficientemente umedecida. O material deve ser aspergido na temperatura adequada e em uma única aplicação.

#### **5.4.10 Abertura ao tráfego**

A sub-base de solo melhorado com cimento não deve ser submetida à ação do tráfego até ser liberada pelo controle de deflexão, sendo garantidas as condições de cura sem perda de umidade.

### **6 Condicionantes ambientais**

Objetivando a preservação ambiental, devem ser devidamente observadas e adotadas as soluções e os respectivos procedimentos específicos atinentes ao tema ambiental, definidos e/ou instituídos no instrumental técnico-normativo pertinente vigente no DNIT, especialmente a norma DNIT 070 – PRO, e na documentação técnica vinculada à execução das obras, documentação esta que compreende o Projeto de Engenharia – PE, o Estudo de Impacto Ambiental (EIA ou outro), os Programas Ambientais pertinentes do Plano Básico Ambiental – PBA e as recomendações e exigências dos órgãos ambientais.

### **7 Inspeções**

#### **7.1 Controle dos insumos**

Os materiais utilizados na execução da sub-base devem ser rotineiramente examinados, mediante a execução dos seguintes procedimentos:

- a) Todo cimento empregado na obra deve estar em conformidade com o disposto na norma DNER – EM 036/95, de acordo com o certificado do fabricante.
- b) O cimento a ser utilizado na obra deve ser obrigatoriamente do mesmo tipo utilizado na dosagem do solo melhorado com cimento.
- c) Antes de utilizado, tanto na central de mistura quanto no espalhamento na pista, devem ser executados, na obra, ensaios de determinação de finura (ABNT NBR 16372:2015), a fim de verificar se o cimento não está empedrado. A frequência destes ensaios é de, no mínimo, um ensaio por dia de trabalho, ou sempre que houver dúvidas sobre a sanidade do cimento.
- d) O resíduo retido na peneira n° 200 (malha de 0,075 mm) não deve exceder a:
  - cimento Portland de alto forno – 10 %;
  - cimento Portland comum – 15 %.

## 7.2 Controle da mistura

Para garantir que o material a ser aplicado em campo atenda aos parâmetros definidos em projetos com análise mecanicista, antes do início da obra ou se houver mudança significativa dos materiais, devem ser realizados os ensaios seguintes na mistura:

- um ensaio de módulo de resiliência, em triplicata (DNIT 134 – ME);
- um ensaio de deformação permanente (DNIT 179 – IE).

Os valores obtidos nestes ensaios não devem variar de forma significativa daqueles obtidos na fase de projeto.

NOTA 3: Caso o resultado do ensaio do módulo de resiliência apresente valor significativamente superior ao previsto em projeto, demonstrando rigidez excessiva, deverá ser solicitada avaliação da Supervisora e/ou Projetista principalmente com relação ao potencial de ocorrência de danos por fadiga na mistura cimentada. Neste caso, poderá ser necessária a realização de ensaios de resistência à tração e de fadiga na mistura.

NOTA 4: Deverá ser avaliada a sensibilidade do módulo de resiliência em relação à variação de umidade. Na hipótese de redução significativa no parâmetro de rigidez, deverá ser solicitada avaliação da Supervisora e/ou Projetista.

## 7.3 Controle de execução

O controle da execução da camada de sub-base de solo melhorado com cimento deve ser exercido mediante a coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória, e controle defletoométrico, de acordo com o Plano de Amostragem (vide subseção 7.5). Devem ser efetuadas as seguintes determinações e ensaios:

### 7.3.1 Preparo da mistura de solo melhorado com cimento

Tanto na mistura em central quanto na mistura na pista, devem ser verificadas aleatoriamente:

- a) Antes da aplicação do cimento:
  - determinação do grau de pulverização do solo, através de peneiramento na peneira n° 4;
  - determinações do teor de umidade do solo (DNER – ME 052/94 e DNER – ME 088/94).

- b) Depois da adição do cimento:

- verificação da quantidade de cimento incorporada (por peso ou volume).

### 7.3.2 Compactação da mistura de solo melhorado com cimento

Tanto para a mistura fabricada e transportada da central quanto para a mistura realizada na pista e manipulada nas mesmas condições, devem ser verificadas de maneira aleatória:

- a) Imediatamente antes da compactação:

- determinações do teor de umidade da mistura (DNER – ME 052/94 e DNER – ME 088/94) e, se necessário, executar leve correção de umidade durante o processo executivo, para atendimento ao teor de umidade do projeto;

- ensaio de compactação com energia intermediária (Método B - DNIT 164 – ME);
- ensaio de Índice de Suporte Califórnia (DNIT 172 – ME), se especificado em projeto;
- ensaio de expansão (DNIT 172 – ME);
- ensaio de módulo de resiliência, em triplicata (DNIT 134 – ME), a cada segmento de 1500 m de pista e/ou a confirmação de módulo de resiliência com equipamentos de campo devidamente calibrados (nesse caso a avaliação deve ser realizada após a compactação e ser aceita pela fiscalização).

b) Após a compactação:

- determinação da massa específica aparente “*in situ*” na pista compactada, para o cálculo do Grau de Compactação (DNER – ME 092/94, DNER – ME 036/94 ou DNIT 417 – ME).

NOTA 5: Quando utilizado densímetro eletromagnético, deverá ser realizada sua calibração, conforme indicado na norma DNIT 417 – ME, a fim de obter resultado adequado na análise da camada de solo melhorado com cimento.

### 7.3.3 Controle construtivo por deflexão

Deverá ser realizado o controle construtivo por deflexão, após, no mínimo, sete dias de cura, antes da construção da próxima camada, para verificar o atendimento ao valor previsto no projeto de dimensionamento. A deflexão característica de cada subtrecho ou segmento, para um número mínimo de 15 determinações, deve ser comparada com àquela estabelecida em projeto. As deflexões podem ser medidas com a Viga Benkelman (DNER – ME 024/94) ou com o FWD (DNER – PRO 273/96), a cada 20 m por faixa alternada e a cada 40 m na mesma faixa para determinar a deflexão máxima ( $D_0$ ). O Controle Unilateral deve ser aplicado:

$$D_c = D_{0_{\text{médio}}} + kS \leq LSE \quad (1)$$

Onde:

$D_c$  – deflexão característica do segmento, em  $10^{-2}$  mm;

$D_{0_{\text{médio}}}$  – Deflexão recuperável média dos valores individuais  $D_i$  levantados, em  $10^{-2}$  mm;

$k$  – coeficiente em função do número de determinações, conforme a Tabela A1 – Amostragem Variável (Anexo A);

$S$  – desvio padrão;

$LSE$  – limite superior de deflexão especificado no projeto, em  $10^{-2}$  mm.

### 7.4 Verificação do produto

A verificação final da qualidade da camada de sub-base de solo melhorado com cimento deve ser exercida através das determinações executadas de acordo com o Plano de Amostragem (vide subseção 7.5) e a norma DNIT 013 – PRO.

Após a execução da camada de sub-base deve ser realizado o controle geométrico, mediante a relocação e nivelamento do eixo e bordas, permitindo-se as seguintes tolerâncias:

- a) Até 10 cm, em excesso, quanto à largura da plataforma, não sendo permitida largura inferior à indicada no projeto geométrico.
- b) Até 20 %, em excesso, para a flecha de abaulamento, ou até 0,5 % em excesso para a declividade transversal de caimento simples, não se tolerando falta nos 2 casos.
- c)  $\pm 10$  %, quanto à espessura da camada indicada no projeto.

### 7.5 Plano de amostragem – Controle tecnológico

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da execução e do produto devem ser estabelecidos segundo um Plano de Amostragem, previamente apresentado pela executante e aprovado pela Fiscalização, elaborado de acordo com os preceitos da norma DNER – PRO 277/97. O tamanho das amostras deve ser documentado e previamente informado à Fiscalização.

## 7.6 Condições de conformidade e não conformidade

Todos os ensaios de controle e determinações relativos aos insumos, à execução e ao produto, realizados de acordo com o Plano de Amostragem citado na subseção 7.5, devem cumprir as Condições Gerais e Específicas desta norma, e estar de acordo com os critérios seguintes, sendo que os insumos devem atender a estas.

Quando especificado um valor mínimo e/ou máximo a ser(em) atingido(s), devem ser verificadas as seguintes condições:

a) Condições de conformidade:

$$\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo especificado};$$

$$\bar{X} + ks \leq \text{valor máximo especificado}.$$

b) Condições de não conformidade:

$$\bar{X} - ks < \text{valor mínimo especificado};$$

$$\bar{X} + ks > \text{valor máximo especificado}.$$

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Onde:

$x_i$  – valores individuais;

$\bar{X}$  – média da amostra;

$s$  – desvio padrão da amostra;

$k$  – coeficiente em função do número de determinações, conforme a Tabela A1 – Amostragem Variável (Anexo A);

$n$  – número de determinações (tamanho da amostra).

Os resultados do controle estatístico devem ser registrados em relatórios periódicos de acompanhamento de acordo com a norma DNIT 011 – PRO, a qual estabelece que sejam tomadas providências para tratamento das “Não conformidades”.

Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta norma.

Todo detalhe incorreto ou mal executado deve ser corrigido.

Qualquer serviço corrigido só deverá ser aceito se as correções executadas o colocarem em conformidade com o disposto nesta norma, caso contrário deverá ser rejeitado.

## 8 Critérios de medição

Os serviços considerados conformes devem ser medidos de acordo com os critérios estabelecidos no Edital de Licitação dos serviços ou, na falta destes critérios, de acordo com as seguintes disposições gerais:

- A camada de sub-base de solo melhorado com cimento deve ser medida em metros cúbicos, considerando o volume de material compactado na pista. Não devem ser motivos de medição em separado: mão de obra, materiais (inclusive o cimento), transporte, equipamentos e encargos, devendo estes serem incluídos na composição do preço unitário.
- No cálculo dos volumes da sub-base, devem ser consideradas as larguras e as espessuras médias da camada obtidas no controle geométrico.
- Não devem ser considerados quantitativos de serviço superiores aos indicados no projeto.

\_\_\_\_\_/Anexo A

**Anexo A (Normativo) – Amostragem Variável****Tabela A1 – Amostragem Variável**

<b>n</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>19</b>	<b>21</b>
<b>k</b>	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,19	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
<b>α</b>	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

**n** = nº de amostras  
**k** = coeficiente multiplicador  
**α** = risco do executante

\_\_\_\_\_/Anexo B

**Anexo B (Informativo) – Bibliografia**

- a) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO. ABPV. Módulos de resiliência de dois solos de comportamento laterítico e não laterítico com teores variados de cimento. Reunião Anual de Pavimentação, 35. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2004. Publicação IPR – 719: Manual de pavimentação. Diretoria de Planejamento e Pesquisa, Coordenação-Geral de Estudos e Pesquisa, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2006.
- b) \_\_\_\_\_. ABPV. Dimensionamento mecânico de pavimentos usando dois solos, laterítico e não laterítico, tratados com cimento. Reunião Anual de Pavimentação, 36. Curitiba: [s.n.]. 2005. p. 01-12. g) \_\_\_\_\_. DNIT Publicação IPR – 738: Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias. Diretoria Executiva, Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2010.
- c) BALBO, J.T. Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração. São Paulo, SP, Oficina de Textos, 2007. h) MACÊDO, M.M. Solos modificados com cimento – Efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos. Dissertação (mestrado), Recife, PE, 2004.
- d) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DER ET-DE-P00/004. Sub-base ou base de solo-cimento, São Paulo, 2006. Disponível em: <<[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-004\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-004_A.pdf)>>. i) MOTTA, L. M. G. Comportamento de solo melhorado com cimento para uso em pavimentação sob carga repetida. Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia de infraestrutura de Transportes. [S.l.]: ABMS. 2006.
- e) \_\_\_\_\_. DER/PR ES-P 11/18. Pavimentação: Solo-cimento e solo tratado com cimento, Curitiba, 2018. Disponível em: <<<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/ESP1118SOLOCIMENTOESOLOTRATADOCOMCIMENTO.pdf>>>. j) OLIVEIRA, R. F. V. Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos, Dissertação de mestrado. Ouro Preto: [s.n.]. 2011.
- f) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT

## Índice geral

Abertura ao tráfego.....	5.4.10...6	Espalhamento .....	5.4.3 .... 5
Abstract .....	1	Espessura da camada compactada .....	5.4.6 .... 6
Acabamento .....	5.4.7 ....6	Execução .....	5.4..... 4
Água.....	5.1.2 ....3	Execução de sub-base de solo melhorado com cimento ..	..... 5.3.1 .... 4
Anexo A (Normativo) – Amostragem Variável....	10	Índice geral .....	12
Anexo B (Informativo) – Bibliografia .....	11	Inspeções.....	7 ..... 6
Central de mistura .....	5.3.2 ....4	Juntas de construção .....	5.4.8 .... 6
Cimento Portland.....	5.1.1 ....3	Materiais .....	5.1 ..... 3
Compactação .....	5.4.5 ....5	Mistura em central.....	5.4.1 .... 4
Compactação da mistura de solo melhorado com cimento	.....7.3.2 ....7	Mistura na pista.....	5.4.2.... 5
Condicionantes ambientais .....	6 .....6	Mistura de solo melhorado com cimento.....	5.2..... 3
Condições de conformidade e não conformidade .	.....	Objetivo.....	1 ..... 1
.....	7.6 .....9	Plano de amostragem – Controle tecnológico ...	7.5..... 8
Condições específicas .....	5 .....3	Prefácio.....	1
Condições gerais .....	4 .....3	Preparo da mistura de solo melhorado com cimento .....	.....
Controle construtivo por deflexão .....	7.3.3 ....8	.....	7.3.1 .... 7
Controle da execução .....	7.3 .....7	Referências normativas .....	2 ..... 1
Controle da mistura.....	7.2 .....7	Resumo .....	1
Controle dos insumos .....	7.1 .....6	Solo .....	5.1.3 .... 3
Correção e homogeneização da umidade .....	5.4.4 ....5	Solo melhorado com cimento.....	3.2 .....3
Critérios de medição.....	8 .....9	Sub-base.....	3.1 ..... 2
Cura .....	5.4.9 ....6	Sumário .....	1
Definições.....	3 .....2	Verificação do produto.....	7.4..... 8
Equipamentos.....	5.3 .....4		