



MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA
DEPARTAMENTO NACIONAL DE
INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES
DIRETORIA-GERAL
DIRETORIA 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 421/2019 - ES

Pavimentação – Solo-Cal – Adição de cal para Estabilização de camada de Sub-base – Especificação de Serviço

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR

Processo: 50606.001896/2019-11

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:

Pavimentação, Base, Solo, Cal, Solo melhorado, Solo estabilizado

Nº total de páginas

9

Resumo

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

Abstract

This document defines the systematics to be used in the execution of subbase of pavement using a mixture of soil with lime. Requirements related to materials, equipment, execution, sampling plan, environmental conditioners, quality control, compliance and non-conformity conditions and service measurement criteria are also presented.

Sumário

Prefácio	1
1 Objetivo.....	1
2 Referências normativas	1
3 Definições	2
4 Condições gerais	2
5 Condições específicas	3
6 Condicionantes ambientais.....	4
7 Inspeções	5
8 Critérios de medição.....	7

Anexo A (Informativo) Bibliografia 8

Índice geral..... 9

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DPP para servir como documento base, visando estabelecer a sistemática empregada na execução da camada de sub-base, quando utilizado solo misturado com cal. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009 – PRO.

1 Objetivo

Esta Norma tem por objetivo estabelecer a sistemática a ser empregada na execução de camada de sub-base de mistura de solo e cal, visando sua estabilização.

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).

- DNIT 419/2019-ME: Pavimentação – Solo-Cal – Estimativa do teor mínimo de cal para estabilização química de solo – Método de ensaio. Brasília: IPR.
- DNIT 418/2019-EM: Pavimentação – Cal Virgem e Cal Hidratada – Especificação de material. Brasília: IPR.

- c) DNIT 417/2019-ME: Solos – Controle de Compactação com Equipamento Densímetro Eletromagnético – Método de Ensaio. Brasília: IPR.
- d) DNIT 172-ME: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: IPR.
- e) DNIT 164-ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro: IPR.
- f) DNIT 144-ES: Pavimentação – Imprimação com ligante asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR.
- g) DNIT 145-ES: Pavimentação – Pintura de Ligação com ligante asfáltico convencional. Rio de Janeiro: IPR.
- h) DNIT 134-ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.
- i) DNIT 070-PRO: Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras. Rio de Janeiro: IPR.
- j) DNIT 013-PRO: Requisitos para qualidade no controle de execução de obras rodoviárias. Rio de Janeiro: IPR.
- k) DNIT 011-PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias. Rio de Janeiro: IPR.
- l) DNER-ME 024: Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman. Rio de Janeiro: IPR.
- m) DNER-PRO 273: Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo “Falling Weight Deflectometer – FWD. Rio de Janeiro: IPR.
- n) DNER-ME 052: Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy” - Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.
- o) DNER-ME 080: Solos - Análise granulométrica por peneiramento – Método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR.
- p) DNER-ME 088: Solos – Determinação da umidade pelo método expedito do álcool – Método de ensaio.
- q) DNER-ME 092: Solo – Determinação da massa específica aparente do solo “in situ”, com

emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: IPR.

- r) ABNT NBR 6473: Cal virgem e Cal Hidratada – Análise Química.
- s) ABNT NBR 6471: Cal virgem e Cal Hidratada – Retirada e Preparação de Amostras - Procedimento

3 Definições

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

3.1 Sub-base

Camada de um pavimento, complementar à base e com as mesmas funções dessa, executada sobre o subleito ou reforço do subleito devidamente compactado e regularizado.

3.2 Solo estabilizado com cal (Solo-Cal)

Material estabilizado proveniente de mistura de solo, cal e água em proporções previamente determinadas por processo de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência, deformabilidade e durabilidade. O Método DNIT 419/2019-ME deve ser empregado para fazer a estimativa do teor mínimo de cal que estabiliza quimicamente cada solo. O teor selecionado deve ser aquele que proporciona o aumento requerido de ISC, resistência a compressão simples ou módulo de resiliência em relação ao do solo puro, dentro da proporção prevista no dimensionamento da estrutura do pavimento.

4 Condições gerais

- a) Não deve ser permitida a execução dos serviços, objeto desta Norma, em dias de chuva.
- b) Todo o carregamento de cal 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 DNIT 418/2019-EM, da data de fabricação, a indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo. O tipo de cal deve ser o mesmo utilizado na dosagem.
- c) É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação

destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

5 Condições específicas

5.1 Materiais

5.1.1 Cal

A cal deve ser calcítica e pode ser dos tipos virgem ou hidratada, de acordo com a norma DNIT418/2019-EM.

5.1.2 Água

Deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

5.1.3 Solo

O solo (ou combinação de solos) empregado na execução da camada de sub-base estabilizada com cal, deve ser proveniente de ocorrências de materiais, devendo apresentar as características definidas na fase de projeto, devendo ser argiloso e ou siltoso. Os agregados eventualmente retidos na peneira n° 10 devem ser constituídos de partículas duras e duráveis, isento de fragmentos moles, alongados ou achatados, ou de matéria vegetal ou outra substância prejudicial.

5.2 Mistura projetada de solo-cal e água

A mistura de solo-cal deve ser dosada conforme os critérios estabelecidos em projeto, onde a porcentagem de cal a ser incorporada ao solo deve atender ao Método Físico-químico do pH (DNIT 419/2019-ME) para estimar o teor mínimo de cal para estabilização do solo.

Cabe ao executor garantir que a mistura selecionada atenda aos requisitos definidos pelo projeto de dimensionamento do pavimento, que serão ISC, resistência à compressão simples e módulo de resiliência.

5.3 Equipamento

5.3.1 Execução de camadas de solo cal

Para execução de camadas de solo cal são indicados os equipamentos seguintes:

- a) Motoniveladora com escarificador;
- b) Trator de esteira com escarificador;
- c) Pá carregadeira;
- d) Pulvimisturador ou recicladora com dispositivo de controle de profundidade;
- e) Trator de pneus com arados e grade de discos;
- f) Carro-tanque distribuidor de água;

- g) Rolos compactadores dos tipos: pé-de-carneiro e pneumático;
- h) Compactadores portáteis, para pequenas extensões;
- i) Veículo distribuidor de cal.

5.4 Execução

5.4.1 Mistura na pista

Com o solo selecionado distribuído na pista, devem ser obedecidas as seguintes fases de execução:

- a) Preparo da faixa;
- b) Pulverização e homogeneização do solo local ou de empréstimo. Neste processo exige-se que no mínimo 50% do material seja reduzido a partículas de diâmetro inferior a 4,8 mm;
- c) Distribuição da cal, preferencialmente através de processos mecânicos;
- d) Preparo da mistura de solo e cal utilizando o equipamento de pulverização e homogeneização;
- e) Umedecimento e homogeneização.

Nota: Caso seja utilizada a recicladora é dispensável a pulverização prévia.

5.4.2 Espalhamento

O material é distribuído e homogeneizado mediante ação combinada de grade de discos e motoniveladora.

5.4.3 Correção e homogeneização da umidade

A variação do teor de umidade admitido para o material para início da compactação é de ± 1 ponto percentual 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.

5.4.4 Compactação

- a) Na fase inicial da obra devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferentes de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação.

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

- b) A compactação deve evoluir longitudinalmente, iniciando pelas bordas. Nos trechos em tangente, a compactação deve prosseguir das duas bordas para o eixo. Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma tal que, em cada percurso, seja coberta 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 camada 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 carro-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.

5.4.5 Espessura da camada compactada

Não deve ser inferior a 12 cm nem superior a 20 cm. Quando houver necessidade de se executar camadas com espessura final superior a 20 cm, estas devem ser subdivididas em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada deve ser de 12 cm, após a

compactação. Nesta fase devem ser tomados os cuidados necessários para evitar a adição de material na fase de acabamento.

5.4.6 Acabamento

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

5.4.7 Cura

A cura será realizada utilizando emulsão asfáltica e as técnicas previstas nas normas DNIT 144/2014-ES ou DNIT 145/2012-ES.

5.4.8. Abertura ao tráfego

A camada de solo cal construída deve ser submetida a um processo de cura, devendo ser protegida contra perda rápida de umidade por um período no mínimo de 7 dias. A camada não deve ser submetida à ação do tráfego até ser liberada pelo controle de deflexão, e durante todo o processo de cura.

5.4.9 Segurança do trabalho

Os produtos devem ser manuseados cuidadosamente com equipamentos de proteção individual (EPI) adequados, para evitar o seu contato com a pele e os olhos. As recomendações de segurança do fornecedor e legislação vigente devem ser seguidas, por se tratar de um produto químico.

O produto deve vir acompanhado da sua FISPQ (Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos), contendo informações de segurança, transporte, manuseio e armazenamento que atendam a ABNT NBR 14725-4.

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 070/2006-PRO, e na documentação técnica vinculada à execução das obras, documentação esta que compreende o Projeto de Engenharia – PE, o Estudo Ambiental (EIA ou outro), os Programas Ambientais do PBA pertinentes e as recomendações e exigências dos órgãos ambientais.

7 Inspeções

7.1 Controle dos insumos

Os materiais utilizados na execução da camada de solo cal devem ser rotineiramente examinados, mediante a execução dos seguintes procedimentos:

7.1.1 Cal

- a) A cal a ser utilizado na obra deve ser obrigatoriamente do mesmo tipo utilizado na dosagem do solo cal.
- b) Todo carregamento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado de qualidade que ateste que a cal possui o percentual de Óxido de Cálcio disponível.
- c) Uma determinação do teor óxido de cálcio disponível em cal virgem e cal hidratada (NBR 6473), de amostras de 5 kg, retiradas aleatoriamente a cada carregamento de cal recebido na obra.

7.1.2 Solos

O solo a ser empregado no preparo da mistura solo cal deve ser examinado mediante ensaios de caracterização especificados para verificar se estão de acordo com o projeto de mistura e as tolerâncias especificadas pelo projetista.

A frequência indicada para a execução de ensaios deve ser de 100 em 100 m de pista.

Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos cinco amostras, para execução do controle dos insumos.

7.2 Controle da execução

O controle da execução da camada de solo cal deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória, e controle deflectométrico, de acordo com o Plano de Amostragem Variável (vide subseção 7.4). Devem ser efetuadas as seguintes determinações e ensaios:

7.2.1 Preparo da mistura e compactação de solo cal

Na mistura na pista, devem ser verificadas aleatoriamente:

- a) antes da aplicação da cal:
 - determinação do grau de pulverização do solo através de peneiramento na peneira n° 4.

- determinações do teor de umidade da mistura (DNER-ME 052/94, DNER-ME 088/94), para verificação do atendimento do teor de umidade do projeto;

b) depois da adição da cal:

- verificação da quantidade da cal incorporada (por peso ou volume);

c) Após passagem da recicladora ou pulvimisturadora:

- determinação do teor de umidade, e, se necessário, executar leve correção de umidade durante o processo executivo;
- Determinação da espessura da camada de solo cal solta, a cada 50 m;
- A cada 300 m de pista, devem ser realizados os ensaios de ISC e expansão com amostras coletadas na pista, imediatamente antes da compactação.

d) Após a compactação:

- determinação da massa específica aparente “in situ” na pista compactada, para o cálculo do Grau de Compactação (GC) (DNER-ME 092/1994, DNER-ME 036/1994 ou DNIT 417/2019-ME), que deve ser $\geq 100\%$ da energia de compactação normal ou intermediária e atender aos requisitos deflectométricos definidos pelo projetista.

7.2.2 Controle construtivo por deflexão.

Deve ser realizado o controle construtivo por deflexão no topo da camada acabada, após, no mínimo, 7 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 sub-trecho ou segmento, para número mínimo de 15 determinações, deve ser comparada com a estabelecida em projeto. As deflexões podem ser medidas com a Viga Benkelman (DNER ME 024/1994) ou com FWD (DNER PRO 273/1996), a cada 20 m por faixa alternada para determinar a deflexão máxima (D0). O Controle Unilateral deve ser aplicado:

$$X = D_{0\text{médio}} + KS \leq LSE$$

Onde:

X – deflexão característica do segmento;

K – valor tabelado conforme o número de medidas;

S – desvio padrão;

LSE – limite superior especificado no projeto.

7.3 Verificação do produto

A verificação final da qualidade da camada de solo cal deve ser exercida através das determinações executadas de acordo com o Plano de Amostragem Variável (vide subseção 7.4) e a Norma DNIT 013/2004-PRO.

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

- a) ± 10 cm, quanto à largura da plataforma;
- b) até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando falta;
- c) ± 10%, quanto à espessura da camada indicada no projeto.

Também deve ser feito o controle construtivo pela deflexão característica comparada a de projeto.

7.4 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 aprovado pela Fiscalização, elaborado de acordo com os preceitos da Norma DNIT 013/2004-PRO.

O tamanho das amostras deve ser documentado e previamente informado à Fiscalização.

7.5 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 7.4, devem cumprir as Condições Gerais e Específicas desta Norma, e estar de acordo com os seguintes critérios, 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:

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

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

- b) Condições de não-conformidade:

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

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

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

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

Onde:

x_i – valores individuais

\bar{X} – média da amostra

s - desvio padrão da amostra

k - coeficiente tabelado em função do número de determinações, conforme tabelas abaixo.

n - número de determinações (tamanho da amostra).

Tabela de Amostragem Variável

n	5	6	7	8	9	10	12
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10

Tabela de Amostragem Variável - continuação

n	13	14	15	16	17	19	21
K	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

n = nº de amostras;
k =coeficiente multiplicador
A = risco do executante.

Os resultados do controle estatístico devem ser registrados em relatórios periódicos de acompanhamento de acordo com a norma DNIT 011/2004-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 deve ser aceito se as correções executadas o colocarem em conformidade com o disposto nesta Norma; caso contrário deve 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) A camada de solo cal deve ser medida em metros cúbicos, considerando o volume

efetivamente executado. Não devem ser motivos de medição em separado: mão-de-obra,

- b) materiais (inclusive a cal), transporte, equipamentos e encargos, devendo os mesmos ser incluídos na composição do preço unitário;
- c) no cálculo dos volumes da camada devem ser consideradas as larguras e espessuras médias da camada obtidas no controle geométrico;
- d) não devem ser considerados quantitativos de serviço superiores aos indicados no projeto;
- e) nenhuma medição deve ser processada se a ela não estiver anexado um relatório de controle da qualidade, contendo os resultados dos ensaios e determinações devidamente interpretados, caracterizando a qualidade do serviço executado.

_____/Anexo A

Anexo A (Informativo) - Bibliografia

- a) BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. *Manual de pavimentação*. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. (IPR. Publ., 719).
- b) _____. *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. (IPR. Publ., 720).
- c) DER-SP: ET-DE-P00/005 (2006). Sub-base ou base de solo-cal.
- d) Arteris: ES-005 Camadas de solo cal (2015).
- e) DER-PR: ES-P 13/91. Pavimentação: Solo-cal Especificação provisória. Curitiba, 1991.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract	1	Espessura da camada compactada .. 5.4.5	4
Abertura ao tráfego	5.4.8.....	4	Execução
Acabamento	5.4.6.....	4	Execução de camadas de solo cal 5.3.1
Água	5.1.2.....	3	Inspeções
Anexo A (Informativo) - Bibliografia.....	8	Materiais	5.1.....
Cal.....	5.1.1.....	3	Mistura na pista
Cal.....	7.1.1.....	4	Mistura projetada de
Compactação	5.4.4.....	4	solo-cal e água
Condicionantes ambientais	6.....	4	Objetivo
Condições de conformidade			Prefácio
e não-conformidade	7.5.....	6	Plano de amostragem
Condições específicas	5.....	3	Preparo da mistura e compactação
Condições gerais	4.....	2	de solo cal
Controle da execução	7.2.....	5	Referências normativas
Controle dos insumos.....	7.1.....	4	Resumo
Controle construtivo por deflexão.....	7.2.2.....	6	Segurança do trabalho
Correção e homogeneização			Solo estabilizado com cal (Solo-cal)
da umidade	5.4.3.....	3	Solo
Critérios de medição	8.....	7	Solos
Cura	5.4.7.....	4	Sub-base
Definições	3.....	2	Sumário
Equipamento	5.3.....	3	Verificação do produto.....
Espalhamento	5.4.2.....	3	7.3.....