DNIT

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

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

OUTUBRO 2026 | **NORMA DNIT 169/2026 – ES**

Pavimentação – Reciclagem de pavimento asfáltico a frio em usina com adição de espuma de asfalto – Especificação de serviço

Autor: Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR

Processo: 50600.010910/2026-57

Origem: Revisão da norma DNIT 169/2014 – ES

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 20/10/2026.

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

Palavras-chave:	**Nº total de páginas**
Pavimentação, reciclagem a frio em usina, espuma de asfalto, material fresado	20

Resumo

Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na execução de reciclagem de pavimento a frio, em usina, com a utilização de material fresado (revestimento + base) de pavimentos asfálticos, agregado mineral (quando necessário), fíler ativo (cimento Portland ou cal), água e cimento asfáltico de petróleo (na condição de espuma). Também são apresentados os requisitos referentes 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 procedure to be followed for cold in-plant pavement recycling, using milled material (surface course + base course) from asphalt pavements, mineral aggregate (when necessary), active filler (Portland cement or lime), water, and foamed asphalt. It also presents requirements regarding materials, equipment, execution, environmental conditions, quality control, sampling plan, acceptance and nonconformity conditions, and criteria for measuring the services.

Sumário

Prefácio 1

1 Objetivo 2

2 Referências normativas 2

3 Termos e definições 3

4 Condições gerais 4

5 Condições específicas 4

6 Condicionantes ambientais 12

7 Inspeções 12

8 Critérios de medição 16

Anexo A (Normativo) – Amostragem variável 17

Anexo B (Informativo) – Esquema da produção de espuma 18

Anexo C (Informativo) – Esquema da taxa de expansão e meia-vida da espuma 19

Anexo D (Informativo) – Bibliografia 20

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR/DPP, conforme a Instrução Normativa nº 20/DNIT SEDE, de 1º de novembro de 2022, e a norma DNIT 001/2023 – PRO.

Esta publicação cancela e substitui a norma DNIT 169/2014 – ES.

1 Objetivo

Esta Norma estabelece as condições exigíveis para a produção e a execução de camada de pavimento, quando empregada mistura reciclada a frio em usina com espuma de asfalto como agente estabilizador.

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 053/94: Misturas Betuminosas – Percentagem de Betume.

c) _____. DNER – PRO 273/96: Determinação de deflexões utilizando deflectômetro de impacto tipo "*Falling Weight Deflectomer* – FWD".

d) _____. DNER – PRO 277/97: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços – Procedimento.

e) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 095 – EM: Cimentos asfálticos de petróleo – Especificação de material.

f) _____. DNIT 418 – EM: Pavimentação – Solo-cal – Cal virgem e cal hidratada – Especificação de material.

g) _____. DNIT 159 – ES: Pavimentos asfálticos – Fresagem a frio – Especificação de serviço.

h) _____. DNIT 179 – IE: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio.

i) _____. DNIT 133 – ME: Determinação das deflexões pela Viga Benkelman - Método de ensaio.

j) _____. DNIT 134 – ME: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio.

k) _____. DNIT 136 – ME: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio.

l) _____. DNIT 155 – ME: Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio.

m) _____. DNIT 158 – ME: Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio.

n) _____. DNIT 164 – ME: Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio.

o) _____. DNIT 412 – ME: Agregados – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.

p) _____. DNIT 424 – ME: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com crivos – Método de ensaio.

q) _____. DNIT 425 – ME: Pavimentação – Agregado – Determinação do índice de forma com paquímetro – Método de ensaio.

r) _____. DNIT 428 – ME: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de ensaio.

s) _____. DNIT 429 – ME: Agregados – Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio.

t) _____. DNIT 430 – ME: Agregados – Determinação da porcentagem de partículas fraturadas em agregados graúdos – Método de ensaio.

u) _____. DNIT 446 – ME: Agregados – Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio – Método de ensaio.

v) ____. DNIT 450 – ME: Equivalente de areia – Método de ensaio

w) ____. DNIT 451 – ME: Agregados – Determinação do desgaste por abrasão e impacto no equipamento "Los Angeles" – Método de ensaio.

x) _____. DNIT 456 – ME: Determinação do teor de umidade de solos e agregados - métodos expeditos e de laboratório – Método de ensaio.

y) _____. DNIT 458 – ME: Solos – Determinação da massa específica aparente *in situ* com emprego do frasco de areia – Método de ensaio.

z) _____. DNIT 011 – PRO: Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento.

aa) _____. DNIT 070 – PRO: Condicionantes ambientais das áreas de uso de obras – Procedimento.

bb) _____. DNIT 435 – PRO: Materiais rochosos usados em rodovias – Análise petrográfica – Procedimento.

cc) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6471 – Cal virgem e cal hidratada – Retirada e preparação de amostra – Procedimento.

dd) _____. ABNT NBR 14950 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade Saybolt Furol.

ee) _____. ABNT NBR 11579 – Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº. 200).

ff) _____. ABNT NBR 11341 – Derivados de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland.

gg) _____. ABNT NBR 15184 – Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional.

hh) _____. ABNT NM 137 – Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland.

3 Termos e definições

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

3.1 Mistura reciclada em usina com espuma de asfalto

Material proveniente da mistura em usina de material fresado, fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada), água, espuma de asfalto como agente estabilizante e, quando necessário, agregados adicionais, em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório. O material resultante gera uma mistura ligada de forma não contínua, que pode ser espalhada e compactada de maneira a compor uma nova camada do pavimento.

3.2 Cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Derivado de petróleo de alta viscosidade, semissólido à temperatura ambiente (25 ºC) e de cor preta. O CAP é obtido por refino de petróleo e apresenta consistência e propriedades específicas para o uso direto na construção de pavimentos.

3.3 Espuma de asfalto

É o estado temporário do CAP que, quando aquecido em temperaturas geralmente superiores a 160 ºC e limitadas a 175 ºC, se expande por meio da injeção simultânea de água e ar em temperatura ambiente, obtido em câmaras de expansão específicas.

3.4 Fíler ativo

Para os fins desta Norma, o termo fíler ativo refere-se ao material (cimento Portland ou cal hidratada) capaz de alterar quimicamente as propriedades da mistura, objetivando a melhoria de suas características.

3.5 Material fresado

Caracterizado como o material resultante do processo de fresagem de camadas de pavimentos asfálticos, devendo ser isento de materiais contaminantes (plásticos, madeiras, vidros e demais resíduos não integrantes da estrutura de pavimento).

3.6 RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

Para os fins desta especificação, o termo RAP refere-se ao material proveniente exclusivamente de fresagem de revestimento asfáltico, composto por agregados e ligante remanescente.

3.7 Taxa de expansão (TE)

Razão entre o volume máximo da espuma e o volume original do ligante asfáltico.

3.8 Tempo de meia-vida (MV)

É o tempo, em segundos, necessário para a espuma reduzir pela metade o volume máximo alcançado durante a expansão.

3.9 Relação de resistência à tração indireta retida

Relação entre a resistência à tração indireta dos corpos de prova Marshall condicionados em água e a resistência à tração indireta dos corpos de prova secos, ambas determinadas por ensaio de compressão diametral a 25 °C, expressa em porcentagem.

4 Condições gerais

a) A mistura reciclada em usina com adição de espuma de asfalto como agente estabilizador pode ser empregada como camada de base ou sub-base.

b) Não deve ser permitida a usinagem e execução dos serviços objeto desta Norma em dias de chuva.

c) Todo carregamento de CAP que chegar à obra deve estar acompanhado de um certificado emitido pelo fabricante/fornecedor com os resultados dos ensaios de caracterização de acordo com a Norma DNIT 095 – EM, além de outros ensaios, se especificados para a obra. Tais resultados devem corresponder à data de produção do ligante asfáltico, ou ao dia de carregamento para transporte com destino à obra, caso o intervalo entre os dois eventos ultrapasse 10 dias. Deve também conter indicação clara da origem e tipo de ligante asfáltico, quantidade do conteúdo da carreta e distância de transporte entre o fabricante/fornecedor e o canteiro de obra.

d) É responsabilidade da empresa executora a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

e) Para correta execução da camada e adequado acompanhamento dos serviços, deverá ser executado previamente um segmento experimental, conforme a subseção 5.4.1.

f) Antes da execução dos serviços, deve ser implantada a sinalização da obra, visando à segurança do tráfego. Essa sinalização deverá ser objeto de manutenção contínua, durante a execução dos serviços. E uma atenção especial deve ser dada à segurança do tráfego na operação do sistema siga/pare.

NOTA 1: Deve-se seguir obrigatoriamente o Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias (Publicação IPR – 738).

5 Condições específicas

5.1 Materiais

Os materiais constituintes da mistura reciclada a frio em usina estabilizada com espuma de asfalto são: material fresado, agregado mineral (quando necessário), fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada), água e CAP, incorporado à mistura na forma de espuma. Esses materiais devem ser avaliados na fase de dosagem e só podem ser utilizados se atenderem às especificações indicadas nesta Norma.

5.1.1 Cimento Portland

Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado do certificado de fabricação, com informações dos resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos na norma DNER – EM 036/95, ou na norma DNIT que venha a substituí-la, do prazo de validade e data de fabricação, da indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo. O tipo de cimento deve ser o mesmo utilizado na dosagem, e sua incorporação está limitada a 1 % em massa.

O ensaio de finura, conforme a ABNT NBR 11579, deve ser realizado sempre que houver dúvida sobre a sanidade ou a conformidade do cimento, ou por determinação da fiscalização.

5.1.2 Cal hidratada

Todo carregamento de cal hidratada que chegar à obra deve vir acompanhado do certificado de fabricação, com informações sobre o produto, seu manuseio e estocagem e os ensaios realizados, conforme os requisitos gerais e específicos prescritos na norma DNIT 418 – EM. O tipo de cal hidratada deve ser o mesmo utilizado na dosagem, e sua incorporação está limitada a 1 % em massa.

5.1.3 Água

Deve ser utilizada água potável, isenta de materiais nocivos, como sais solúveis, ácidos, álcalis ou matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais.

5.1.4 CAP

Podem ser empregados os seguintes tipos CAP na produção de espuma:

a) CAP-30/45;

b) CAP 50/70;

c) CAP-85/100.

NOTA 2: Outros tipos de ligantes podem ser empregados desde que comprovado o atendimento às especificações de projeto e após aceitação pela fiscalização do DNIT.

5.1.5 Agregados

Poderão ser empregados agregados adicionais (graúdos e miúdos), caso seja necessária a correção granulométrica da mistura. Devendo esses atender às especificações seguintes.

5.1.5.1 Agregado graúdo adicional

O agregado graúdo poderá ser de rocha britada ou seixo rolado (britado) ou outro material indicado nas especificações complementares. Devem ser constituídos por fragmentos sãos, duráveis e livres de torrões de argila, matéria orgânica e outras impurezas.

Recomenda-se a análise petrográfica da rocha (DNIT 435 – PRO), para definir seus constituintes minerais e principais propriedades.

O agregado graúdo deve apresentar as seguintes características:

a) Abrasão Los Angeles ≤ 50 % (DNIT 451 – ME), pode-se admitir valores superiores a 50 %, quando o agregado tiver apresentado, em utilização anterior, desempenho comprovadamente satisfatório, ou quando submetidos a ensaios tecnológicos específicos.

b) Percentual de partículas fraturadas ≥ 90 %, em massa, dos fragmentos retidos na peneira nº 4 (4,8 mm), devendo apresentar, pelo menos, uma face fragmentada pela britagem (DNIT 430 – ME).

c) Índice de forma ≥ 0,5 (DNIT 424 – ME) ou ≤ 2 (DNIT 425 – ME).

d) Percentual de partículas chatas e alongadas ≤ 40 %, (DNIT 429 – ME).

e) Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio com perda < 20 % ou de sulfato de magnésio com perda < 30 % (DNIT 446 – ME).

5.1.6 Agregado miúdo adicional

O agregado miúdo poderá ser pó de pedra, ou outro material indicado nas especificações do DNIT. Suas partículas individuais resistentes, devem estar livres de torrões de argila, matéria orgânica e outras impurezas.

O agregado miúdo deve apresentar as seguintes características:

a) Equivalente de areia ≥ 55 % (DNIT 450 – ME).

b) Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio com perda ≤ 20 % ou de sulfato de magnésio com perda < 30 % (DNIT 446 – ME).

NOTA 3: As fontes de agregados graúdos e miúdos devem ser validadas durante a dosagem da mistura, e, se possível, mantidas durante toda a obra. Em caso de alteração, a fiscalização deverá ser comunicada, e todos os parâmetros de caracterização destinados aos agregados, abordados nesta Norma, devem ser atendidos.

5.1.7 Material fresado

Para estruturas de pavimentos de concreto asfáltico cuja camada de base é composta por um material cimentado, a fresagem da camada de revestimento e base poderão ser realizadas de forma conjunta e levados para usina.

Para pavimentos de concreto asfáltico cuja camada de base é composta por materiais sem coesão, como brita graduada simples (BGS) ou solos estabilizados granulometricamente, deverá ser realizada a fresagem da camada de revestimento e, posteriormente, a retirada da camada de base, devendo ser os materiais estocados na usina em pilhas separadas.

NOTA 4: O material fresado deverá ser estocado em área coberta e drenada, de forma a evitar o acúmulo de umidade.

NOTA 5: Para os diversos tipos de materiais fresados resultantes, deverá ser realizada a composição de um traço para enquadrar a mistura na faixa granulométrica especificada em projeto.

5.1.8 RAP

O material proveniente da fresagem do revestimento asfáltico (RAP) deve possuir gradação 100 % passante na peneira com abertura de 37,5 mm, devendo ser verificadas as seguintes características:

a) Granulometria (DNIT 412 – ME).

b) Teor de umidade (DNIT 456 – ME).

c) Deve-se verificar o teor e o grau de atividade do CAP remanescente. Caso o RAP apresente coloração cinzenta, infere-se que o CAP remanescente presente na camada a ser reciclada encontra-se com baixa ou nenhuma atividade. Caso contrário, deve-se verificar o grau de atividade do ligante, pois poderá afetar a dosagem da camada reciclada.

d) O teor e o grau de atividade do ligante remanescente devem ser verificados através da seguinte metodologia:

   – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral (DNIT 136 – ME) sob condição saturada, em corpos de prova (100 mm de diâmetro), compactados a 70 ºC com 75 golpes em cada face utilizando soquete Marshall, ou com 30 giros quando usado o compactador giratório Superpave (SGC) em ângulo de 1,25º, e pressão de 600 kPa, tendo passado por um período de condicionamento de 24 horas em banho de imersão com água a 25 ºC. Para valores de resistência à tração abaixo de 100 kPa, considera-se o ligante como inativo, enquanto, para os valores acima de 100 kPa entende-se que o ligante se apresenta ativo.

NOTA 6: Para determinação do teor de umidade do fresado, deve ser realizada uma análise amostral de cada pilha do material estocado. Não é necessário, para a referida análise, realizar o peneiramento.

NOTA 7: Para garantir um material ligado não continuamente, recomenda-se a adição de 15 % de pó de pedra para o caso de RAP inativo, e 30 % de brita graduada para o caso de RAP ativo. A adição de pó ou brita graduada deverá ser considerada na curva granulométrica da mistura.

5.2 Composição da mistura reciclada

A composição da mistura reciclada deve satisfazer o que foi estabelecido na dosagem quanto à combinação do material fresado, agregados adicionais quando necessários, fíler ativo, água e CAP. Em caso de alteração será necessário comunicar à fiscalização, devendo ser realizado um novo projeto de dosagem.

No projeto de dosagem, a mistura reciclada estabilizada em usina com espuma de asfalto deverá se enquadrar em uma das faixas granulométricas especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição granulométrica

Peneira de malha quadrada		Faixa I	Faixa II	Tolerância da faixa de projeto (%)
ABNT	Abertura (mm)	% Passando em massa	% Passando em massa	
2”	50,8	100	-	±7
1 ½	38,1	87 - 100	-	±7
1”	25,4	74 - 100	100	±7
3/4”	19,1	65 - 99	93 - 100	±7
1/2"	12,7	51 - 87	74 - 100	±7
3/8”	9,5	43 - 74	65 - 92	±7
1/4"	6,3	40 - 62	53 - 75	±7
N° 4	4,75	35 - 56	45 - 66	±5
N° 8	2,36	21 - 42	31 - 49	±5
N° 16	1,18	16 - 33	23 - 37	±5
N° 30	0,600	12 - 26	17 - 29	±5
N° 40	0,425	10 - 22	14 - 25	±5
N° 50	0,300	8 - 19	11 - 22	±5
N° 100	0,150	5 - 14	7 - 17	±2
N° 200	0,075	4 - 11	4 - 14	±2

Os limites da faixa de trabalho são obtidos a partir dos percentuais passantes em cada peneira da curva granulométrica do projeto de dosagem, somando e subtraindo os respectivos valores da tolerância individual. A faixa de trabalho não deve extrapolar os valores da faixa granulométrica escolhida, conforme a Tabela 1. Na determinação da curva granulométrica da mistura de agregados, recomenda-se utilizar a equação de Talbot para definição e ajuste dos percentuais correspondentes a cada fração granulométrica, proporcionando uma distribuição contínua dos tamanhos de partículas e

adequado empacotamento do esqueleto mineral, e contribuindo para a estabilidade da mistura e para sua resistência à ocorrência de deformações permanentes.

A composição final da mistura reciclada em usina com espuma de asfalto deverá satisfazer aos requisitos do projeto, e ao estabelecido a seguir:

a) Deve haver um mínimo de 4 % de finos passante na peneira nº 200, para que a espuma se disperse de forma adequada na mistura, conforme já indicado na Tabela 1.

b) A faixa de trabalho da curva granulométrica de projeto não deve extrapolar os limites da faixa granulométrica selecionada. Quando isso ocorrer, os percentuais das peneiras que extrapolarem a faixa devem ser ajustados, fazendo com que os limites da faixa de trabalho coincidam com os limites da faixa selecionada.

c) O teor máximo de fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada) adicionado à mistura deverá ser de 1 %.

d) O teor de CAP adicionado à mistura deve ficar entre 2 % e 3 %.

e) A propriedade da espuma de asfalto, expressa pela taxa de expansão (TE) e pelo tempo de meia-vida (MV), deve atender aos valores mínimos estabelecidos em função da temperatura dos agregados adicionais e do RAP no momento da usinagem, conforme indicado na Tabela 2:

Tabela 2 – Taxa de expansão e tempo de meia-vida da espuma de asfalto

	Temperatura dos agregados e do RAP	
	> 15 °C	**entre 10 °C e 15 °C**
TE	≥ 8	≥ 10
MV	≥ 6 segundos	≥ 8 segundos

f) Recomenda-se que a temperatura dos agregados adicionais e do RAP, previamente à usinagem, seja ≥ 15 °C. A produção de mistura reciclada em temperaturas entre 10 °C e 15 °C é condicionada ao atendimento aos requisitos mínimos de TE e MV da Tabela 2, não devendo ser inferior a 10 °C.

g) O teor de água para a espumação, expresso em % em relação à massa do CAP, deve ser definido e ajustado, de modo que os valores indicados na Tabela 2 sejam atendidos. Devem ser registrados o teor de água adotado, a temperatura do CAP na espumação e os valores medidos de TE e MV. Recomenda-se traçar um gráfico que represente a relação de expansão em função do tempo de meia-vida, para as diferentes taxas de injeção de água, no mesmo sistema de eixos (ver Anexo C). O teor ótimo de água deve ser selecionado como a média dos dois teores de água necessários para cumprir esses critérios mínimos.

h) Para uso da mistura reciclada em camadas de base, a mistura deverá satisfazer aos requisitos do projeto e apresentar:

- resistência à tração indireta seca ≥ 225 KPa, em amostras condicionadas a 25 ºC pelo período mínimo de 2 horas antes do ensaio, após terem passado pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME;
- resistência à tração indireta saturada ≥ 125 KPa, em amostras que passaram pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h e mais 24 h submersas em água a temperatura de 25 ºC, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME;
- relação obtida entre a resistência à tração indireta saturada e a resistência à tração indireta seca ≥ 50 %.

i) Para uso da mistura reciclada em camadas de sub-base, a mistura deverá satisfazer aos requisitos do projeto e apresentar:

- resistência à tração indireta seca ≥ 175 KPa, em amostras condicionadas a 25 ºC pelo período mínimo de 2 horas antes do ensaio, após terem passado pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME;
- resistência à tração indireta saturada ≥ 100 KPa, em amostras que passaram pelo período de cura em estufa a 40 ºC por 72 h e mais 24 h submersas em água a temperatura de 25 ºC, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME;
- relação obtida entre a resistência à tração indireta saturada e a resistência à tração indireta seca ≥ 50 %;

NOTA 8: Outros ensaios mecânicos poderão ser realizados, quando previstos em projeto, no contrato ou ainda a critério da fiscalização, visando verificar o comportamento do material sob condições de serviço, tais como o módulo de resiliência (DNIT 134 – ME) e o ensaio de deformação permanente (DNIT 179 – IE).

5.3 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços de reciclagem, apresentados a seguir, serão verificados antes do início das atividades, e devem atender às características indicadas nesta Norma.

Devem ser utilizados, no mínimo, os seguintes equipamentos.

5.3.1 Equipamentos para fresagem

a) Máquina fresadora, com as características seguintes:

- sistema autopropulsionado, que permita a execução da fresagem, de modo uniforme, da(s) camada(s) do pavimento, na espessura de corte ou desbaste determinada pelo projeto;
- dispositivo que permita controlar corretamente a profundidade de corte, fornecendo uma superfície uniforme;
- capacidade de nivelamento automático e precisão de corte que permitam o controle da conformação da inclinação transversal, para atender ao projeto geométrico;
- cilindro fresador, do tipo específico para a fresagem, construído em aço especial, para girar em alta rotação, onde são fixados os dentes de corte;
- dentes de corte do cilindro fresador, constituídos por corpo forjado em aço, cambiáveis, inseridos e extraídos de forma simples e prática, com ponta de material mais rígida que proporcione rugosidade perfeita;
- A rugosidade resultante na pista é definida para cada tipo de fresagem:
  - fresagem padrão – espaçamento de 15 mm, aproximadamente, entre os dentes de corte;
  - fresagem fina – espaçamento de 8 mm, aproximadamente, entre os dentes de corte;
  - microfresagem – espaçamento de 2 a 3 mm entre os dentes de corte.
- dispositivo tipo correia transportadora, que permita a elevação do material fresado do pavimento para a caçamba do caminhão simultaneamente com a execução da fresagem;
- dispositivo que permita a aspersão de água, para controlar a emissão de poeira na operação de fresagem.

b) Vassoura mecânica autopropulsionada, para a limpeza da superfície fresada, equipada com caixa integrada para recebimento e armazenamento do material fresado.

c) Caminhão(ões) basculante(s), provido(s) de lona.

d) Caminhão tanque, para abastecimento do reservatório de água da fresadora.

e) Compressor de ar portátil.

f) Rompedor pneumático, para execução de arremates.

5.3.2 Usina para reciclagem

A reciclagem do material deve ser realizada em equipamento apropriado para esta finalidade, do tipo "usinas a frio com sistema de espuma de asfalto", podendo essas serem fixas ou móveis.

O equipamento deve dispor de silos dotados de peneiras vibratórias e dispositivos de controle de pesagem e distribuição dos materiais, inclusive no sistema de injeção de cimento ou cal.

Também deve ser dotado de acessórios específicos para a dosagem da espuma, sua produção e espargimento, bem como de acessórios específicos para injeção e dosagem da água usada na compactação, em sistema distinto do destinado à espuma.

É recomendável que a usina possua sistema de aquecimento para barra de alimentação do ligante asfáltico, que recebe o material já aquecido, e que mantém a temperatura requerida do material, até esse alcançar as câmaras de expansão, que se encontram na entrada do misturador.

Deve dispor de um misturador tipo *pugmill* com eixo duplo, e de correia transportadora secundária para o carregamento do material reciclado em caminhões basculantes. Além de cabine de operação para controle dos insumos.

NOTA 9: Para o serviço de abastecimento da usina poderá ser utilizada a pá carregadeira.

5.3.3 Equipamentos para espalhamento e acabamento

Para o espalhamento da mistura reciclada, podem ser utilizados a vibroacabadora ou a motoniveladora. Em caso de uso de motoniveladora, essa deve ser autopropelida, possuir largura mínima de lâmina de 3,6 m e potência de motor suficiente para as atividades citadas.

Ambos os equipamentos (vibroacabadora ou motoniveladora) devem ser capazes de espalhar e conformar a mistura ao alinhamento, às cotas e ao abaulamento definidos no projeto, possuindo, preferencialmente, um sistema de controle eletrônico de forma a garantir o nivelamento adequado.

Durante o espalhamento, devem ser tomadas precauções a fim de evitar processos de segregação da mistura reciclada.

5.3.4 Equipamentos para compactação

A compactação da mistura deve ser efetuada por rolos vibratórios autopropelidos do tipo pé de carneiro, rolos lisos do tipo tandem com raspadores operando corretamente e com sistema de pulverização de água e rolos autopropelidos pneumáticos, devendo seus pesos serem compatíveis com a espessura da camada a ser reciclada. Para camadas com espessuras de até 20 cm, deverão ser empregados rolos compactadores com peso mínimo de 15 toneladas, e para camadas com espessuras superiores a 20 cm, deverão ser empregados rolos compactadores com massa estática de 22 toneladas.

O equipamento deve ser suficiente para compactar a mistura de forma a atingir o grau de compactação especificado em projeto, em toda a espessura da camada reciclada, enquanto se encontrar em condições de trabalhabilidade.

5.4 Execução

A execução compreende a fresagem do pavimento asfáltico, o carregamento e o transporte para a usina, a usinagem (mistura e homogeneização) do material fresado, com a incorporação de agregados adicionais para correção granulométrica, fíler ativo (cimento Portland ou cal hidratada), água e CAP, incorporado à mistura na forma de espuma, de acordo com o projeto de dosagem estabelecido, seguido do carregamento do material usinado em caminhões basculantes, transporte, espalhamento sobre a pista e compactação, em conformidade com os alinhamentos e cotas definidos no projeto de engenharia.

5.4.1 Segmento experimental

Para correta execução da camada e adequado acompanhamento dos serviços, deverá ser previamente executado um segmento experimental de no mínimo 150 m, visando verificar os procedimentos a serem seguidos desde a fresagem até a compactação, acabamento, e proteção da base reciclada estabilizada com espuma de asfalto.

A realização dos serviços deverá ser assistida pelos profissionais responsáveis pela execução da obra e pelos responsáveis da fiscalização.

Devem ser definidos, durante a execução do trecho experimental, os tipos de equipamentos, a técnica de compactação mais adequada e o número de coberturas necessárias à obtenção do grau de compactação. Adicionalmente, deve ser monitorado o comportamento inicial da camada, visando identificar eventuais anomalias e subsidiar os critérios operacionais de liberação ao tráfego.

Após comprovação, pela fiscalização, acerca do atendimento aos limites definidos nesta especificação e no projeto (se houver), a reciclagem poderá ser iniciada.

5.4.2 Fresagem do pavimento

O serviço de fresagem deve ser executado de acordo com o projeto e com a norma DNIT 159 – ES.

A fresadora deve ser configurada e operada visando à profundidade de corte estabelecida e à classificação granulométrica definida no projeto da mistura.

Constatada a necessidade de qualquer intervenção localizada durante a execução da fresagem, deve ser providenciado seu adequado tratamento, antes do espalhamento da mistura reciclada na pista. Pontos elevados isolados devem ser removidos e o material recolhido da pista.

5.4.3 Produção da mistura reciclada com adição de espuma de asfalto como agente estabilizador

A mistura e a incorporação dos materiais devem ser feitas nas seguintes condições:

a) abastecimento com auxílio de pá carregadeira do primeiro silo da usina com material fresado selecionado;

b) abastecimento do segundo silo com agregado virgem adicional, visando corrigir a granulometria final do material usinado em conformidade com o projeto de dosagem;

c) introdução de cimento ou cal na mistura por meio de sistema de injeção de fíler da própria usina, depositado na entrada do misturador;

d) introdução da espuma de asfalto na entrada do misturador.

NOTA 10: Devem ser atendidas as exigências complementares especificadas no projeto, no que se refere à qualidade da espuma e teor, medidas pela taxa de expansão e meia-vida.

5.4.4 Espalhamento da mistura reciclada

O material usinado deve ser transportado para o local de espalhamento por intermédio de caminhões basculantes. Podendo ser despejado diretamente sobre a pista, no caso de espalhamento com auxílio de motoniveladora; ou na mesa da vibroacabadora, atendendo às cotas e espessuras especificadas em projeto.

Antes do espalhamento da mistura usinada devem ser procedidas a limpeza e a remoção da água sobre a faixa em execução.

A mistura distribuída deve apresentar aspecto uniforme e homogêneo, sem indícios de segregação.

Em função da espessura projetada, a camada poderá ser executada de forma única ou estratificada, para que seja capaz de atingir a compactação requerida.

5.4.5 Compactação, cura e proteção da camada

O processo deve ser executado nas seguintes condições e sequência:

a) A rolagem deve ser iniciada imediatamente após a distribuição da mistura reciclada com espuma de asfalto sobre a plataforma da pista.

b) A compactação deve ser feita longitudinalmente, iniciando-se pela borda mais baixa da faixa, com rolo pé de carneiro pata curta, e prosseguindo até a borda mais elevada da faixa, sobrepondo-se às passadas sucessivas, de modo que a faixa em execução seja uniformemente compactada em toda a sua largura.

c) Durante a rolagem, não são permitidas mudanças de direção, inversões bruscas da marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado.

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

e) Admite-se a compactação de camadas com espessuras superiores a 20 cm, desde que seja aceito pela fiscalização, e que sejam empregados rolos compactadores com massa estática de 22 toneladas ou superior, devendo seu peso ser compatível com a espessura da camada a ser compactada.

f) Durante as operações finais de compactação devem ser tomadas as medidas necessárias para que a camada superficial seja mantida na umidade ótima, ou ligeiramente acima, recorrendo-se a pequenas adições de água, se preciso for, e procedendo-se à nova homogeneização com equipamento adequado.

g) A compactação deve ser executada com a energia modificada, correspondente à massa específica aparente seca máxima.

h) Durante o processo de compactação, deve ser observado se há formação de trincas. Isso pode ocorrer devido à vibração excessiva na compactação. Nesse caso, deve-se então, utilizar a rolagem estática. Se as trincas ainda aparecerem sob compactação estática, deve-se paralisar o processo de compactação e permitir que ocorra a redução de umidade com a cura da camada. Posteriormente, seguir a compactação com rolo chapa e rolo pneumático para corrigir irregularidades.

i) Concluída a compactação, deve ser efetuado o acerto final da superfície, de modo a satisfazer ao projeto, pela eliminação de saliências, com o emprego da motoniveladora. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material. A superfície da camada executada deve apresentar-se lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas.

j) A camada reciclada deve permanecer em cura, com ganho progressivo de coesão e rigidez associado principalmente à redução de umidade e à estabilização do ligante, não sendo permitida a passagem de qualquer tráfego nas primeiras 2 (duas) horas, contadas do término da compactação. Passado esse período, pode ser admitida a circulação de tráfego público, em baixa velocidade, sob controle de pare/siga, devendo-se evitar paradas prolongadas e formação de filas sobre trechos executados.

k) Após 48 horas de passagem de tráfego de forma controlada e de eventuais correções que se fizerem necessárias, a superfície da camada reciclada deve receber tratamento de proteção superficial contra intempéries, conforme previsto na subseção 5.4.7.

l) Após a cura da camada reciclada (pelo menos 48 horas e quando a umidade na espessura total da camada for inferior a 2 %), poderá ser executada a camada de revestimento determinada em projeto (ex.: concreto asfáltico, tratamento superficial etc.), devendo ser observado, quando aplicável, o disposto na subseção 7.2.5, referente ao controle deflectométrico.

NOTA 11: Quando exigido o controle de deflexão, a execução da camada posterior somente poderá ocorrer após a realização desse controle e a aceitação dos resultados pela fiscalização.

NOTA 12: As condições de drenagem devem ser asseguradas, de maneira a garantir a saída de água presente na camada.

5.4.6 Juntas

As juntas transversais e longitudinais devem ser homogêneas, em relação ao conjunto da mistura, e serem executadas de forma a assegurar condições adequadas de acabamento. Observar os procedimentos conforme os casos descritos abaixo:

- Em rodovias de pista dupla, é recomendado o uso de duas vibroacabadoras ou motoniveladoras, para que os revestimentos das pistas adjacentes sejam executados simultaneamente, tanto nas faixas da pista quanto nos acostamentos.
- Em rodovias sob operação, devem ser evitados degraus longitudinais muito extensos, sendo permitido no máximo o equivalente a uma jornada de trabalho.
- Em aplicações realizadas em dias distintos, a execução da mistura reciclada deve começar no degrau remanescente da jornada de trabalho anterior. Deve ser realizada a compactação da emenda, com o rolo perpendicular ao eixo, estando um terço sobre o pano já compactado e os outros dois terços sobre a mistura reciclada recém-aplicada.

5.4.7 Abertura ao tráfego

A camada reciclada estabilizada com espuma de asfalto poderá ser liberada ao tráfego após 2 (duas) horas de sua execução e mais 48 horas de passagem controlada de veículos (pare/siga), além da execução de camada de proteção.

Cerca de 30 minutos antes da abertura ao tráfego, a camada reciclada deverá receber um tratamento de superfície, compreendido por uma pintura de proteção, devendo ser utilizada a emulsão descrita nas normas DNIT 165 – EM ou DNIT 128 – EM, com a taxa que

atenda ao ligante residual de 500 g/m2, seguida da aplicação de areia ou pó de pedra, na taxa de 1,2 kg/m² (*Fog Spray*).

NOTA 13: Em caso de necessidade, o período de 48 h poderá ser reduzido, a critério da fiscalização, e desde que já executada camada de proteção superficial mínima e que a umidade da camada não seja superior a 70 % da umidade ótima.

NOTA 14: Permitir que o tráfego circule sobre a camada reciclada tem a vantagem de evidenciar defeitos de construção. Trechos com aplicação insuficiente de ligante betuminoso tendem a se desagregar excessivamente quando expostos às cargas do tráfego, chamando a atenção para qualquer área que exija medidas corretivas antes da aplicação do revestimento final. A superfície deve ser mantida limpa de material solto. Caso após a liberação ao tráfego ocorra a degradação da capa selante e a exposição da base, deve ser aplicada nova camada de *Fog Spray*, após varredura do material solto existente.

5.4.8 Estocagem da mistura reciclada

Para casos em que a mistura reciclada não seja aplicada imediatamente após a usinagem, é facultado o processo de estocagem do material para a aplicação em momento posterior. Nesse caso, devem ser atendidas as seguintes condições:

a) O fíler ativo, para esse caso, deverá ser a cal hidratada.

b) Deve ser evitada a formação de pilhas superiores a 2 metros de altura, a fim de se prevenir uma compactação passiva do material.

c) A mistura reciclada deve ser mantida coberta e drenada, sob proteção de lonas plásticas de maneira a preservar o teor de umidade da mistura reciclada.

d) O material deve ser protegido de chuvas e das intempéries.

e) A mistura reciclada estabilizada estocada somente poderá ser utilizada se a umidade de amostras coletadas na pilha não for inferior a 50 % da umidade ótima definida em projeto, e se os valores de resistência à tração por compressão diametral (DNIT 136 – ME) das amostras (seca e saturada) estiverem de acordo com o valor definido na dosagem e conforme às condições mínimas, descritas na subseção 5.2.

6 Condicionantes ambientais

Devem ser observadas e adotadas as soluções e os procedimentos relacionados ao tema ambiental, especificados nas normas vigentes do DNIT, especialmente a norma DNIT 070 — PRO, e na documentação técnica vinculada à execução das obras.

Essa documentação compreende o Componente Ambiental do Projeto de Engenharia, os estudos, os planos e as recomendações e exigências dos órgãos ambientais**.**

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção, a estocagem e a aplicação dos insumos, assim também como a operação da usina e demais equipamentos utilizados na execução da reciclagem com espuma de asfalto. Os procedimentos de controle ambiental referem-se à proteção de cursos d’água, da vegetação lindeira, do solo e da segurança viária, buscando técnicas mais sustentáveis de forma a aproveitar recursos e reduzir as emissões de CO_2.

7 Inspeções

7.1 Controle de insumos

Os materiais utilizados na produção da mistura reciclada devem ser examinados na fase de dosagem e de forma rotineira, devendo atender às especificações apresentadas no item 5, conforme as normas indicadas pelo DNIT. Caso alguma especificação não seja atendida, o insumo em questão não deve ser aceito. Em campo, os insumos devem ser rotineiramente examinados no laboratório do canteiro de obras, realizando-se os ensaios especificados a seguir:

7.1.1 RAP

O controle das propriedades do RAP deve ser realizado pelos seguintes ensaios:

a) Determinação do teor de ligante para cada pilha ou lote de material, de acordo com a norma

DNIT 158 – ME ou DNER – ME 053/94 (ou norma DNIT que venha a substitui-la).

b) Ensaio de granulometria do RAP, a cada 8 horas de produção, conforme norma DNIT 412 – ME.

c) Teor de umidade a cada dia de produção (DNIT 456 – ME).

NOTA 15: Para a secagem da amostra antes do ensaio de granulometria, o material fresado não deve ser aquecido em temperaturas superiores a 40 ºC.

NOTA 16: Caso o material esteja armazenado em bota-espera ou em usina, devem ser executadas, no mínimo, três determinações de granulometria e teor de umidade por pilha de material (topo, meio e base da pilha) cujos resultados obtidos são parâmetros para ajuste e verificação da composição granulométrica e umidade ótima definida durante a dosagem.

7.1.2 Cimento Portland ou Cal Hidratada

a) A adição de cimento ou cal tem a função de auxiliar a coesão da mistura reciclada, e de atuar na melhoria da resistência à ação deletéria da água.

b) A definição do material a ser utilizado, dependerá de estudo de laboratório, salvo para casos de aplicação de material em momento posterior ao da usinagem, deve ser usada a cal hidratada.

c) Caso empregado na obra, o cimento deve ser obrigatoriamente do mesmo tipo utilizado na dosagem, possuir certificado que ateste a qualidade do material e a conformidade com o disposto nas normas DNER – EM 036/95, e NBR 16697. Se utilizada, a cal deve atender às especificações da norma DNIT 418 – EM e ser do mesmo tipo daquela utilizada na dosagem.

d) No caso de utilização de cimento, deve ser realizado um ensaio do índice de finura (ABNT NBR 11579) sempre que houver dúvida sobre a sanidade ou a conformidade do cimento.

e) No caso de utilização de cal hidratada, havendo suspeita de alteração do produto, deve ser retirada amostra de acordo com a norma ABNT NBR 6471 e realizados os ensaios exigidos na norma DNIT 418 – EM.

NOTA 17: Para cimentos Portland de Alto Forno (CP III) o resíduo retido na peneira de nº 200 deve ser ≤ 10 %, e para cimentos Portland Comum (CP I) deve ser ≤ 15 %.

7.1.3 Agregados adicionais

O controle da qualidade dos agregados deve ser feito pelos seguintes ensaios:

a) Ensaios eventuais – realizados no início da utilização dos agregados na obra e quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais:

- 01 ensaio de abrasão Los Angeles no agregado graúdo (DNIT 451 – ME);
- 01 ensaio de índice de forma no agregado graúdo (DNIT 424 – ME ou DNIT 425 – ME);
- 01 ensaio de durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou pelo emprego de sulfato de magnésio no agregado graúdo (DNIT 446 – ME);
- 01 ensaio de percentual de partículas chatas e alongadas (DNIT 429 – ME);
- 01 ensaio de percentual de partículas fraturadas em massa, dos fragmentos retidos na peneira nº 4 (DNIT 430 – ME).

b) Ensaios de rotina – realizados por jornada de 8 horas de trabalho:

- 01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo (DNIT 450 – ME);
- 01 ensaio de granulometria do agregado adicional (DNIT 412 – ME).

7.1.4 Cimento asfáltico de petróleo

O controle da qualidade do CAP, para todo carregamento que chegar à obra, deve ser feito pelos seguintes ensaios:

- 01 ensaio de ponto de fulgor (ABNT NBR 11341);
- 01 ensaio de penetração, a 25 °C (DNIT 155 – ME);
- 01 ensaio de viscosidade com viscosímetro Saybolt Furol (ABNT NBR 14950) ou viscosímetro rotacional (ABNT NBR 15184).

Para todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à usina deve-se retirar uma amostra que será identificada e armazenada, para possíveis ensaios posteriores.

7.1.5 Água

Deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais. Deve ser examinada sempre que houver dúvida sobre sua qualidade, conforme ABNT NM 137 ou norma DNIT 454 – EM.

7.2 Controle da execução

O controle da execução da reciclagem de pavimento asfáltico em usina com espuma de asfalto, deve ser efetuado mediante a realização de ensaios laboratoriais e medições feitas em campo.

7.2.1 Controle da espuma de asfalto

Devem ser realizados os ensaios da taxa de expansão e meia-vida da espuma de asfalto a cada passagem de 100 litros de CAP pelo bocal de pulverização da espuma de asfalto.

A Figura B2 do Anexo B apresenta, esquematicamente, a localização do ponto de medição dos parâmetros de expansão e de meia-vida da espuma de asfalto no compartimento da usina.

7.2.2 Controle da mistura reciclada na usina

A usina deve estar calibrada após sua instalação e os silos monitorados durante a operação, para evitar a ausência de algum dos materiais na composição da mistura. O controle das características da mistura reciclada deve abranger os seguintes ensaios:

a) Ensaio de compactação para determinação da massa específica aparente seca máxima, com a energia modificada (DNIT 164 – ME).

b) Determinação do teor de umidade (DNIT 456 – ME), após a adição de água e homogeneização da mistura.

c) Ensaios de granulometria (DNIT 412 – ME) e determinação do teor de CAP (DNIT 158 – ME ou DNER – ME 053/94), incorporado à mistura, obtido através da diferença entre o teor obtido no ensaio de extração e o teor encontrado na fase de dosagem.

d) Moldagem, em laboratório, de no mínimo seis corpos de prova Marshall (75 golpes/face), condicionados a 72 horas de cura em estufa a 40 ºC, para determinação da resistência à tração indireta por compressão diametral, sendo três corpos de prova na condição seca e três na condição saturada, em conformidade com a norma DNIT 136 – ME, moldagem de no mínimo, dois corpos de prova Marshall (75 golpes/face), condicionados a 72 horas de cura em estufa a 40 ºC para determinação da massa específica aparente, em conformidade com a norma DNIT 428 – ME.

NOTA 18: Quando previsto em projeto, no contrato ou a critério da fiscalização poderão ser realizados ensaios triaxiais de carga repetida para determinação do módulo de resiliência (DNIT 134 – ME) e da deformação permanente (DNIT 179 – IE), bem como para avaliação do comportamento mecânico sob condições representativas de serviço.

7.2.3 Controle da mistura reciclada em campo

Para o controle em campo da mistura reciclada com adição de espuma de asfalto como agente estabilizador, devem ser avaliados parâmetros quanto ao material espalhado e compactado na plataforma construtiva. Devem ser realizadas as seguintes análises:

a) Controle de espessura, logo após a execução da camada, serão feitos locação e nivelamento do eixo e dos bordos, a cada 20 m, envolvendo, no mínimo, cinco pontos da seção transversal.

b) Controle de acabamento da superfície com atenção à verificação da presença de segregação superficial.

c) Determinação do teor de umidade na pista pelo método expedito da frigideira ou outro método aceito pela fiscalização a cada 700 m2 de pista, alternando bordo direito, eixo, bordo esquerdo.

d) Extração de corpos de prova com sonda rotativa, para análise visual da integridade e homogeneidade da camada, sendo uma extração a cada 1800 m², após o período de cura.

7.2.4 Compactação

O grau de compactação deve ser verificado a cada 250 m de faixa de tráfego através da relação entre a massa específica *in situ* (DNIT 458 – ME) e a massa específica aparente seca obtida conforme na subseção 7.2.2, alínea a.

Para camadas de base, o grau de compactação deve ser de, no mínimo, 100 % em relação à massa específica aparente seca obtida (DNIT 458 – ME), decorrente dos procedimentos de compactação com a energia modificada, devendo-se evitar compactação em excesso que possa vir a prejudicar a qualidade da camada.

Para camadas de sub-base, o grau de compactação deve ser de, no mínimo, 98 % em relação à massa específica aparente seca obtida (DNIT 458 – ME), decorrente dos procedimentos de compactação com a energia modificada.

NOTA 19: O controle do grau de compactação também poderá ser realizado por meio de equipamentos calibrados tipo GeoGauge ou densímetros não nucleares, a cada 250 metros de extensão de faixa de tráfego.

7.2.5 Controle construtivo por deflexão

Quando definidos em contrato ou no projeto de dimensionamento, deverá ser realizado o controle construtivo por deflexão para verificar o atendimento aos valores previstos. As deflexões podem ser medidas com a Viga Benkelman (DNIT 133 – ME) ou com o FWD (DNER – PRO 273/96 ou norma DNIT que venha a substituí-la).

A deflexão máxima (D0) deve ser determinada após, no mínimo, 5 dias, a cada 20 m por faixa alternada e a cada 40 m na mesma faixa, no mínimo. A bacia deflectométrica deve ser determinada, no mínimo, a cada 100 m por faixa alternada e a cada 200 m na mesma faixa.

O controle estatístico unilateral deve ser aplicado, conforme a subseção 7.4.

NOTA 20: O equipamento a ser empregado na medição das deflexões deve ser o indicado no projeto de dimensionamento da estrutura de pavimento ou no contrato para casos de restaurações.

NOTA 21: Caso o controle de deflexão não tenha sido previsto no projeto ou no contrato, a aplicação desta subseção poderá ser dispensada, se autorizada pela fiscalização.

7.3 Verificação do produto

Após a execução da camada reciclada, proceder o nivelamento e locação, de maneira que a camada reciclada estabilizada com espuma de asfalto apresente:

a) Superfície bem desempenada, não possuindo marcas indesejáveis do equipamento de compactação, e que esteja protegida por um *fog spray*.

b) Limite de até 10 cm em excesso, quanto à largura da plataforma.

c) Limite de até 20 % em excesso para flecha de abaulamento ou até 0,5 % em excesso para a declividade transversal de caimento simples, não se tolerando falta nos dois casos.

d) Valores de espessura individuais limitados no intervalo de ± 10 % em relação à espessura de projeto.

e) A tolerância de conformação da superfície acabada deve ser verificada regularmente durante a execução da camada. As deformações que se fizerem presentes deverão ser corrigidas por meio de retrabalho, com fresagem e posterior preenchimento do afundamento, imediatamente antes da aplicação do *fog spray*.

7.4 Plano de amostragem

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico dos insumos, da execução e do produto devem ser estabelecidos segundo um Plano de Amostragem, previamente apresentado pela executora 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.

7.5 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 critérios descritos a seguir.

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:

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

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

Onde:

x_i – são os valores individuais;

$\bar{X}$ – é a média da amostra;

s – é o desvio padrão da amostra;

k – é o coeficiente em função do número de determinações, conforme a Tabela A1 do Anexo A;

n – é o 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 que estabelece providências para tratamento das "não conformidades".

Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta Norma. Os serviços não conformes (ou rejeitados) deverão ser refeitos, e quaisquer detalhes incorretos ou mal executados deverão ser executados.

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 desses critérios, de acordo com as seguintes disposições gerais:

a) A camada reciclada com adição de espuma de asfalto como agente estabilizador deve ser medida em metros cúbicos, considerando o volume compactado na pista.

b) No cálculo dos volumes da camada reciclada, deve ser considerada a área da sessão transversal (as larguras e as espessuras médias da camada obtidas no controle geométrico) multiplicada pela extensão obtida no estaqueamento.

c) A medição é realizada conforme preço unitário contratual, incluindo: fornecimento, carga, transporte, equipamentos, encargos sociais, BDI, mão de obra, serviços e materiais.

d) Não devem ser considerados quantitativos de serviço superiores aos indicados no projeto.

e) Nenhuma medição deve ser processada, se junto a ela não estiver anexado um relatório de controle da qualidade, contendo os resultados dos ensaios e as determinações devidamente interpretadas, caracterizando a qualidade do serviço executado.

Anexo A (Normativo) – Amostragem variável

Tabela A1 – Amostragem variável

n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	19	21
k	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
α	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 = n° de amostras

k = coeficiente multiplicador

α = risco da empresa executora

_____/Anexo B

Anexo B (Informativo) – Esquema da produção de espuma

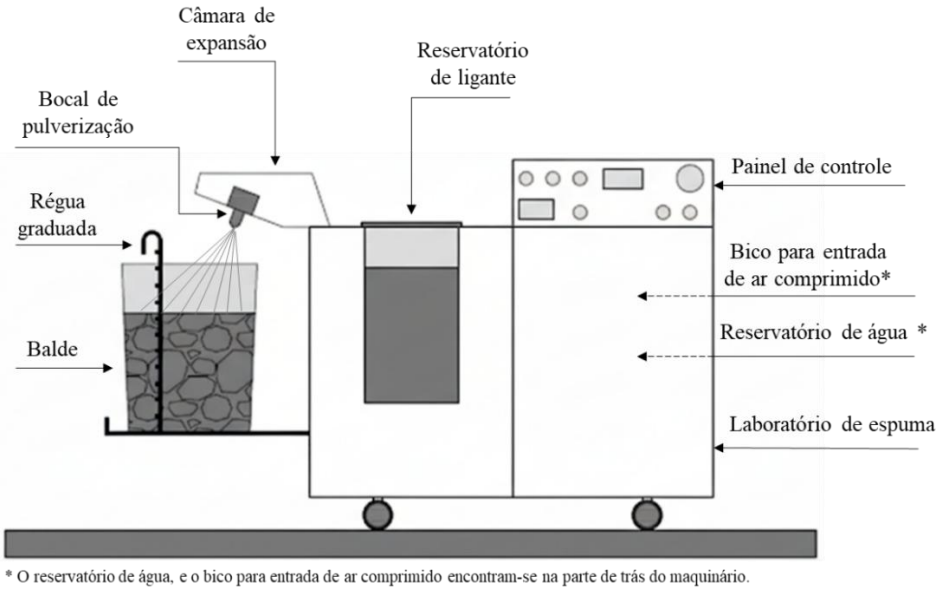


Figura B1 – Produção da espuma de asfalto em laboratório

Fonte: Adaptado de Bonfim (2021)

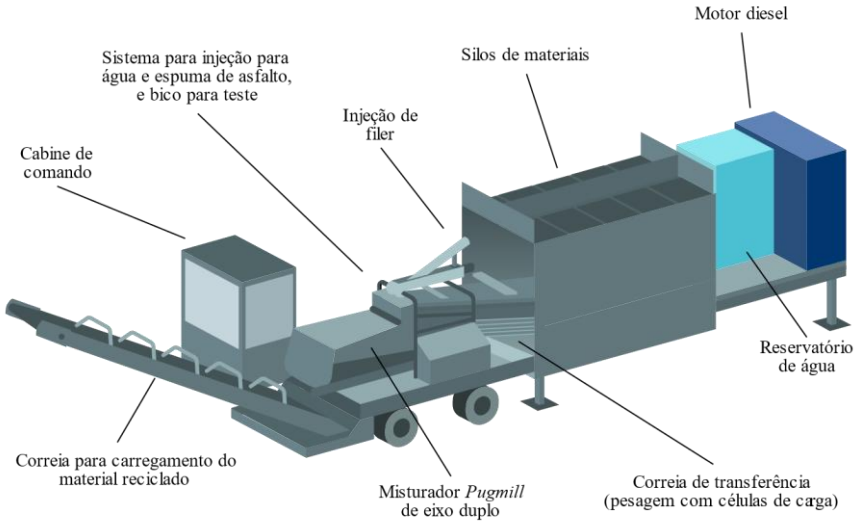


Figura B2 – Produção da espuma de asfalto em usina

Fonte: Adaptado de Wirtgen (2016)

_____/Anexo C

Anexo C (Informativo) – Esquema da taxa de expansão e meia-vida da espuma

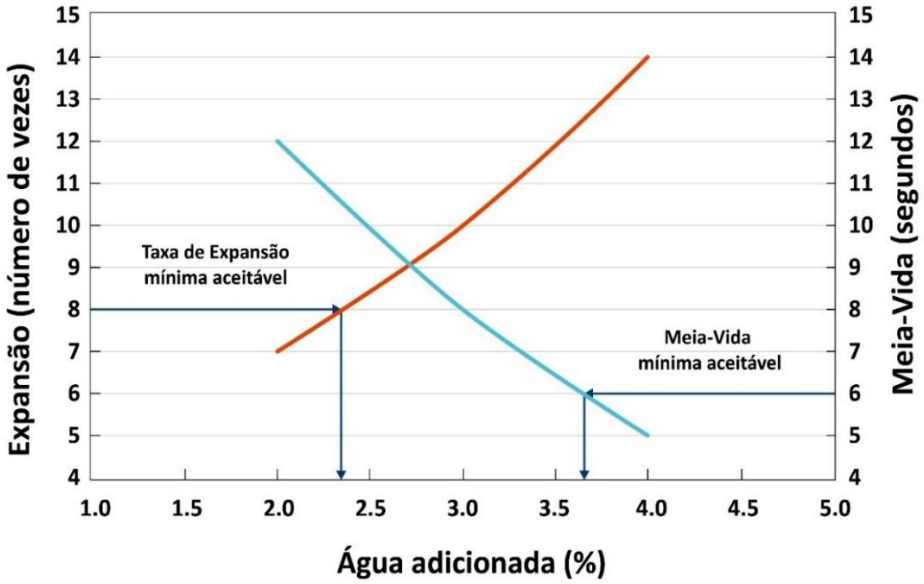


Figura C1 – Gráfico de expansão e meia-vida da espuma

Fonte: Adaptado de Wirtgen (2012); TG-2 (2020) e Bonfim (2021)

_____/Anexo D

Anexo D (Informativo) – Bibliografia

a) American Association of State Highway and Transportation Officials (2024). AASHTO T 170-24: Standard Method of Test for Recovery of Asphalt Binder from Solution by Abson Method.

b) American Society for Testing and Materials (2010). ASTM D5404-03. Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator.

c) AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO – ANP – Resolução Nº 897, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2022.

d) Bonfim, Valmir. Pavimento Sustentável, 1 ed., São Paulo: Exceção Editorial e Eventos, 2021.Departamento de estradas de rodagem de São Paulo. DER/SP (2024). Reciclagem *in situ* a frio com espuma de asfalto. Especificação Técnica ET-DE-P00/033. São Paulo. Brasil. 2024.

e) BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de sinalização de obras e emergências em rodovias. Publicação IPR - 738, 2ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

f) Departamento de estradas de rodagem de São Paulo. DER/SP (2024). Reciclagem de pavimento asfáltico em usina com adição de espuma de asfáltico. Especificação Técnica ET-DE-P00/049. São Paulo. Brasil. 2024

g) Departamento de estradas de rodagem do Paraná. DER/PR (2023). Reciclagem de pavimento a frio *in situ* com espuma de asfalto. Especificação de Serviço DER/ PR-ES-PA-32/23. Paraná. Brasil. 2023.

h) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 166 – EM: Pavimentação – Reciclagem de pavimento a frio "*in situ*" com adição de espuma de asfalto - Especificação de serviço

i) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 169 – EM: Pavimentação – Reciclagem de pavimento em usina com espuma de asfalto - Especificação de serviço.

j) GUATIMOSIM, F. V. Mechanical Behaviour and Structural Performance of Recycled Foamed Bitumen Stabilized Materials. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

k) PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. PMSP (2009). ETS-02/2009. Base de material fresado com espuma de asfalto. Especificação Técnica de Serviço.

l) Technical Guideline (2020): Bitumen Stabilized Materials – A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials, TG2, Third Edition.

m) Wirtgen GmbH. Reciclagem a frio: Tecnologia de reciclagem a frio. 1ª edição. Windhagen, Alemanha. 2012.