TÍTULO

RECICLAGEM *IN SITU* A FRIO COM ESPUMA DE ASFALTO

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Reciclagem. Pavimento. Espuma.

APROVAÇÃO	PROCESSO

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-P 32/05**. Pavimentação: Reciclagem de pavimento “in situ” com espuma de asfalto. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 166/2013-ES**. Pavimentação – Reciclagem de pavimento a frio “in situ” com adição de espuma de asfalto. Rio de Janeiro, 2013.

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

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ÍNDICE

1 OBJETIVO 4
2 DEFINIÇÕES 4
3 MATERIAIS 4
3.1 Cimento Asfáltico 4
3.2 Cimento Portland 4
3.3 Agregado Adicional 5
3.4 Espuma de Asfalto 5
3.5 Água 5
3.6 Mistura Reciclada 5
4 EQUIPAMENTOS 7
5 EXECUÇÃO 8
5.1 Considerações Iniciais 8
5.2 Reciclagem 8
5.3 Compactação 9
5.4 Acabamento 9
5.5 Cura 9
5.6 Abertura ao Tráfego 9
6 CONTROLE 10
6.1 Controle dos Materiais 10
6.2 Controle da Produção e Execução 10
6.3 Controle Geométrico e de Acabamento 12
6.4 Deflexões 12
7 ACEITAÇÃO 12
7.1 Materiais 12
7.2 Produção e Execução 13
7.3 Deflexões138 14
8 CONTROLE AMBIENTAL 14
8.1 Exploração de Ocorrência de Materiais 14
8.2 Emulsão Asfáltica e Agregados - Estocagem 15
8.3 Execução 15
9 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO 16
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 16

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ANEXO A – TABELAS DE CONTROLE 19
ANEXO B – CONTROLE ESTATÍSTICO.....24
ANEXO C – ESPECIFICAÇÃO PARA CIMENTO ASFÁLTICO 26

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

1 OBJETIVO

Definir os critérios que orientam a execução, aceitação e medição dos serviços de reciclagem de pavimento *in situ* com espuma de asfalto, de modo obter uma base reciclada, constituída pelos materiais de reciclagem do pavimento, aglomerante, água e adição eventual de agregados em obras rodoviárias, sob a jurisdição do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

2 DEFINIÇÕES

A reciclagem de pavimento *in situ* a frio com espuma de asfalto é o processo de restauração de pavimento executado no local, com reaproveitamento total ou parcial do revestimento existente, normalmente com incorporação de parte ou de toda base existente; incorporação de cimento Portland ou cal, cimento asfáltico na forma de espuma e, adição de água, e incorporação, quando necessário de agregados, espalhamento e compactação da mistura resultante, obtendo-se desta forma uma nova base do pavimento, isto é, uma base reciclada.

Espuma de asfalto é o estado temporário do cimento asfáltico de petróleo, obtido a partir da injeção de mistura de ar sob pressão e pequenas quantidades de água sobre o cimento asfáltico, aquecido em temperatura adequada para seu tipo. Esta injeção ocasiona o aumento da área superficial e a redução da viscosidade do asfalto, o que promove sua forte expansão volumétrica.

Meia-vida é o intervalo de tempo, em segundos, que a espuma necessita para reduzir-se a metade do volume máximo alcançado.

Taxa de expansão é a relação entre o volume máximo do cimento asfáltico no estado espuma e o volume do CAP remanescente, após a espuma estar completamente ausente.

Relação de tensão é a relação entre a resistência à tração indireta úmida e a resistência à tração indireta seca, obtida através do ensaio de compressão diametral dos corpos de prova Marshall, a 25 ºC.

3 MATERIAIS

3.1 Cimento Asfáltico

Podem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo dos tipos: CAP 85-100 ou CAP 150-200, que devem atender à Resolução da ANP nº 19/2005 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, apresentada no anexo C, ou a especificação que estiver em vigor na época de sua utilização.

3.2 Cimento Portland

A adição de cimento tem a função de auxiliar o asfalto a se dispersar, principalmente quando o material reciclado é deficiente de agregados finos.

O cimento Portland deve atender às especificações do DNER EM 036(1), NBR 16697(2).

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

3.3 Agregado Adicional

Os agregados, eventualmente incorporados aos materiais reciclados para correção granulométrica da mistura, devem ser constituídos por pedra britada ou seixo rolado britado, que apresentem fragmentos duros, limpos, duráveis, livres do excesso de partículas lamelares ou alongadas, macios ou de fácil desintegração, assim como isentos de outras substâncias ou contaminações prejudiciais; e deve atender aos seguintes requisitos:

a) desgaste no ensaio de abrasão *Los Angeles*, conforme NBR 16974(3), igual ou inferior a 50%;

b) equivalente de areia do agregado miúdo, conforme NBR 12052(4), igual ou superior a 55%;

c) índice de forma maior ou igual 0,5 conforme DNIT 425/2020 - ME(5) ;

d) perda no ensaio de durabilidade, conforme DNER ME 089(6), em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio, deve ser inferior a 20% e, com sulfato de magnésio, inferior a 30%.

e) no caso de emprego de seixos rolados britados, exige-se que 90% dos fragmentos, em peso, apresentem pelo menos uma face fragmentada.

3.4 Espuma de Asfalto

A espuma de asfalto produzida deve apresentar as seguintes características:

a) taxa de expansão: mínima de 8 vezes;

b) meia vida: mínima de 6s.

3.5 Água

A água deve ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela NBR NM 137(7).

3.6 Mistura Reciclada

A mistura reciclada deve atender aos seguintes requisitos:

a) a curva granulométrica da mistura de materiais deve ser contínua e deve enquadrar-se em uma das faixas da tabela 1;

b) a mistura deve possuir um mínimo de 5% de finos passantes na peneira nº 200, para que a espuma se disperse convenientemente na mistura;

c) porcentagem de cimento deve ser de no máximo 2%, preferencialmente 1%;

d) o teor de asfalto a ser utilizado deve ser determinado no laboratório, em geral situa-se na faixa de 2% a 4%;

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

e) a quantidade de água adicionada ao asfalto, usualmente está compreendida entre 1% e 2%, sobre o peso do asfalto, respeitando os valores mínimos para taxa de expansão e meia vida, indicados no projeto;

f) a mistura deve apresentar resistência à tração indireta seca de mínima de 0,225 MPa e resistência à tração indireta saturada de 0,2 MPa, ambas a 25 ºC e após 72 horas de cura; conforme NBR 15617[8].

g) relação de tensão mínima de 50%.

Tabela 1 – Faixas Granulométricas

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando		
ASTM	**mm**	**A**	**B**	
2”	50,0	100	100	
1 ½”	37,5	86 – 100	83 – 100	± 8
1”	25,0	72 – 100	76 – 100	± 8
¾”	19,0	64 – 100	70 – 94	± 8
1/2”	12,7	53 – 84	62 – 86	± 8
3/8”	9,5	46 – 76	58 – 80	± 8
nº 4	4,8	34 – 62	42 – 68	± 8
Nº 10	2,0	23 – 50	32 – 54	± 5
Nº 40	0,42	11 – 32	16 – 35	± 5
Nº 80	0,18	8 – 25	10 – 26	± 5
N° 200	0,075	5 – 20	5 – 20	± 3

3.6.1 Determinação da Composição da Mistura Reciclada

Para definição do projeto de mistura dos agregados adicionais e materiais reciclados é necessário que seja feita rigorosa investigação das camadas a serem recicladas. Devem ser efetuadas coletas de amostras com coletas auxílio da própria recicladora, cada 500 m de pista e sejam e realizadas as seguintes determinações:

a) espessura das camadas existentes, revestimento e base;

b) determinação da granulometria dos materiais e do teor de betume;

c) é fundamental que a coleta de amostras seja executada de forma a cobrir todas as possíveis variações das camadas a serem recicladas;

d) o trecho a ser reciclado deve ser classificado em subtrechos homogêneos, isto é, com camadas a serem recicladas com características semelhantes, granulometria, espessura, umidade, teor de betume etc.;

e) para cada subtrecho homogêneo de materiais deve ser elaborado um projeto de mistura específico.

3.6.2 Porcentagem de Agregado Adicional

A porcentagem de agregado adicional é definida como sendo a relação entre massa de agregados secos adicionais e a massa da mistura final.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

3.6.3 Porcentagem de Cimento

A porcentagem de cimento é definida como sendo a relação entre massa de cimento e a massa da mistura final.

4 EQUIPAMENTOS

Antes do início dos serviços todo equipamento deve ser examinado e aprovado pelo DER/SP.

O equipamento básico para a execução da reciclagem *in situ* com espuma de asfalto compreende as seguintes unidades:

a) a recicladora deve possuir as seguintes características:

- largura mínima efetiva do tambor fresador de 2,0 m; com diferentes velocidades de rotação e dotado de ferramenta de corte de fácil substituição distribuidor de agregados;
- deve ser autopropelida e ter a capacidade de pulverizar e misturar o pavimento na espessura mínima de 12,0 cm em uma única passada;
- deve ser equipada com dispositivos para controlar a profundidade de corte;
- possuir acessórios específicos para produção da espuma, sua dosagem e espargimento;
- possuir acessórios específicos para injeção e dosagem da água, de forma a umedecer a mistura reciclada deixando-a no teor ótimo de compactação, em separado do sistema de espuma.

b) caminhão tanque para abastecimento de água;

c) caminhão para transporte de material asfáltico, dotado de sistema de aquecimento térmico compatível com as temperaturas de aquecimento requeridas;

d) distribuidor de agregados, quando houver incorporação adicional de agregado;

e) distribuidor de aglomerante hidráulico;

f) motoniveladora pesada;

g) rolo metálico liso, rolo tipo tandem vibratório;

h) rolo vibratório autopropelido tipo pé de carneiro;

i) rolo pneumático de pressão variável;

j) pás, garfos e rodos metálicos, para operações eventuais.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

5 EXECUÇÃO

5.1 Considerações Iniciais

Antes do início dos serviços é obrigatória, às expensas do contratado, a execução de trecho experimental, que deve possuir no mínimo 150 m e cobrir a largura da faixa ou a metade da largura da pista a reciclar. Após comprovação da espessura das camadas e a aceitação da mistura, por atender aos limites definidos nesta especificação pela fiscalização, a reciclagem pode ter seu início.

No caso de rejeição dos serviços no trecho experimental, por desempenho insatisfatório quanto aos limites especificados nos ensaios ou incorreção na espessura reciclada, o trecho experimental deve ser refeito, as expensas do contratado.

Devem ser definidos, durante a execução do trecho experimental, os tipos de equipamentos, a técnica de compactação mais adequada, o número de coberturas necessárias à obtenção do grau de compactação especificado.

5.2 Reciclagem

A operação de fresagem do revestimento existente, incorporação do cimento, espuma de asfalto, agregados e água ocorrem simultaneamente. A mistura é processada no interior da recicladora e em seguida espalhada e compactada.

A adição do agregado adicional e do cimento ou outro aglomerante hidráulico deve ser feita na seguinte sequência:

a) nos casos em que houver necessidade de incorporação de agregados adicionais estes devem ser espalhados sobre a pista a ser reciclada, com emprego do distribuidor de agregado, na quantidade necessária, de forma a garantir a taxa prevista no projeto.
b) espalhamento do aglomerante hidráulico sobre o pavimento existente, no teor indicado no projeto da mistura reciclada, com emprego de distribuidor de aglomerante hidráulico, de forma a garantir a taxa prevista no projeto.

A reciclagem deve ser executada na seção e espessura de corte indicada em projeto, incorporando-se o aglomerante hidráulico e o agregado adicional, se requerido, com a concomitante adição de água e espuma de asfalto, nas quantidades fixadas, de acordo com o projeto de dosagem elaborado para o segmento homogêneo de materiais.

Imediatamente após atuação da recicladora, atua a motoniveladora, de modo a conformar a camada reciclada aos perfis transversais e longitudinais de projeto.

Devem ser tomadas todas as precauções a fim de serem evitados os processos que levem a segregação da mistura reciclada.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

5.3 Compactação

Após conformação da mistura reciclada, deve-se iniciar imediatamente as operações de compactação. A compactação deve começar das bordas para o eixo, nos segmentos em tangente, e da borda interna para a borda externa, isto é, do lado mais baixo para o mais alto, nos segmentos em curva. Os rolos compactadores devem cobrir uniformemente, em cada passada, pelo menos a metade da largura coberta na passagem anterior.

A compactação deve ser conduzida de modo que a espessura compactada final seja de no máximo 20 cm, e nunca inferior a 12 cm.

O teor de umidade da mistura, quando da compactação, deve estar compreendido no intervalo de -2 % a +1 % em relação à umidade ótima obtida no ensaio de compactação na energia modificada ou na especificada no projeto, conforme NBR 7182[(9)]. A compactação deve evoluir até que se obtenha o grau de compactação mínimo de 100% em relação à massa específica aparente seca máxima.

5.4 Acabamento

O acabamento é executado mediante o emprego de motoniveladora, atuando exclusivamente em operação de corte. Não é permitida a correção de depressões pela adição de material. A superfície da base deve ser compactada até que se apresente lisa e isenta de partes soltas ou sulcadas.

5.5 Cura

A superfície da base reciclada com espuma de asfalto deve ser protegida contra a evaporação da água por meio de imprimação. A película protetora deve ser aplicada em quantidade suficiente para construir uma membrana contínua. Este procedimento deve ser executado imediatamente após o término da compactação.

No caso de emprego de material betuminoso, este deve ser usado de acordo com a especificação de imprimação betuminosa impermeabilizante ou ligante do DER/SP, não devendo ser aberto ao tráfego até que a imprimação esteja completamente curada.

A pintura de proteção só deve ser considerada como pintura de ligação se, por ocasião da aplicação do revestimento asfáltico possuir condições de cumprir os requisitos necessários e estar livre de pó ou material estranho.

5.6 Abertura ao Tráfego

A base reciclada com espuma de asfalto deve ser submetida à ação do tráfego, somente após a cura da imprimação, por período de 3 ao no máximo 7 dias, de forma que eventuais deficiências que a base venha apresentar sejam sanadas antes da aplicação da camada final.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

6 CONTROLE

6.1 Controle dos Materiais

6.1.1 Cimento Asfáltico

Para todo carregamento que chegar à obra, devem ser realizados:

a) um ensaio de penetração a 25 ºC, conforme NBR 6576 [10];

b) um ensaio de viscosidade de *Saybolt Furol*, conforme NBR 14950[11].

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

6.1.2 Cimento Portland

Ensaio da determinação da finura, conforme NBR 11579[12] a cada 600m³ de mistura a ser reciclada, ou quando houver dúvidas sobre a sua sanidade.

6.1.3 Agregado Adicional

a) abrasão *Los Angeles*, conforme NBR 16974[3]: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

b) índice de forma, conforme DNIT 425/2020 - ME[5]: um ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

c) durabilidade conforme DNER ME 089[6]: 1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material;

Para agregado miúdo, determinar o equivalente de areia, conforme NBR 12052[4]: um ensaio por jornada de 8 horas de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.

6.1.4 Água

Deve ser examinada sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade, conforme NBR NM 137[7].

6.2 Controle da Produção e Execução

6.2.1 Controle do Material Fresado

O controle das características do material fresado deve ser executado em cada subtrecho homogêneo, com no mínimo uma determinação a cada 3.500 m² de pista, e deve abranger as seguintes determinações:

a) granulometria conforme NBR 17054 [13];

b) teor de umidade pelo método expedito da frigideira;

c) extração de asfalto, conforme ME-DE-P00/011[14];

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

A cada 30m determinar:

a) espessura de corte, imediatamente após a passagem da recicladora; a tolerância admitida é ± 1,0 cm da definida em projeto;

b) espessura das camadas de revestimento e da base

Os resultados obtidos são parâmetros para ajuste e verificação da composição granulométrica definida no projeto de dosagem da mistura reciclada, e confirmação dos segmentos de materiais homogêneos.

6.2.2 Controle da Base Reciclada

O controle da produção das características da mistura reciclada e de execução, deve ser feito pelas seguintes determinações:

a) temperatura do cimento asfáltico no tanque, duas determinações por jornada de 8 horas trabalho, espaçadas de no mínimo 4 horas;

b) determinação da taxa de expansão e meia vida da espuma, após o equipamento entrar em ritmo constante de operação, duas determinações por jornada de 8hs trabalho, espaçadas de no mínimo 4 horas;

c) teor de umidade, imediatamente antes do espalhamento para compactação, pelo método expedito da frigideira, a cada 500 m²;

d) moldagem de seis corpos de prova Marshall, com 75 golpes por face, para determinação da resistência à tração indireta por compressão diametral para condições seca e saturada, a 25 ºC, determinada conforme ABNT NBR 15087[16] após período de cura de 72 horas em estufa a 60 ºC, uma determinação por jornada de 8 horas de trabalho;

e) determinação da densidade seca máxima e umidade ótima, na energia modificada, conforme NBR 7182[9], um ensaio a cada 500 m², e sempre que a mistura se encontra fora da faixa granulométrica;

f) determinação do teor de cimento asfáltico incorporado à mistura, obtido através da diferença entre o teor obtido no ensaio de extração e o teor encontrado na fase de dosagem, conforme ME-DE-P00/011[14] uma determinação a cada 500 m²;

g) granulometria da mistura reciclada com material resultante das extrações da alínea f; conforme NBR 17054 [13];

h) determinação do teor de umidade, da massa específica aparente seca *in situ*, conforme NBR 7185[17] e o respectivo do grau de compactação imediatamente após a conclusão da camada, a cada 500 m^2, a partir dos resultados da alínea e;

i) extração de corpos de prova com sonda rotativa de 6” de diâmetro, para análise visual da integridade e homogeneidade da camada, uma extração a cada 1.800 m², após o período de cura.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

6.3 Controle Geométrico e de Acabamento

6.3.1 Controle de Espessura e Cotas

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20 m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e em dois pontos intermediários.

6.3.2 Controle da Largura e Alinhamentos

A verificação do eixo e das bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da semiplataforma ou faixa reciclada deve ser determinada por medidas à trena executadas pelo menos a cada 20 m.

6.3.3 Controle de Acabamento da Superfície

O acabamento da superfície dos diversos segmentos concluídos é verificado com duas réguas, uma de 1,20 m e outra 3,00 m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.

6.4 Deflexões

Deve-se verificar as deflexões recuperáveis máximas (D_0) da camada, após 7 dias de cura, a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa, através da viga *Benkelman*, conforme DNER ME 024[18], ou FWD, *Falling Weight Deflectometer*, de acordo com DNER PRO 273[19].

7 ACEITAÇÃO

Os serviços são aceitos e passíveis de medição desde que atendam simultaneamente as exigências de materiais, de produção e execução, estabelecidas nesta especificação, e discriminadas a seguir.

7.1 Materiais

7.1.1 Cimento Asfáltico

O cimento asfáltico utilizado é aceito desde que atenda a legislação em vigor para cimentos asfálticos, da ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis -anexo C, ou a legislação que estiver em vigor na ocasião de sua utilização.

7.1.2 Cimento Portland

Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado de qualidade que ateste a qualidade do material e o atendimento às especificações DNER EM 036[1] e NBR 16697[2].

Os resultados individuais de resíduos retidos na peneira de abertura 0,075, devem ser no máximo 10% para o cimento Portland de alto forno, e de no máximo 15% para o cimento comum.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

7.1.3 Agregados Adicionais

Os agregados adicionais graúdos são aceitos desde que os resultados individuais de abrasão *Los Angeles*, índice de forma e durabilidade atendam aos estabelecidos no item 3.3.

Os agregados miúdos são aceitos desde que os resultados individuais de equivalente areia sejam superiores a 55%.

7.1.4 Água

A água utilizada é aceita desde que seja isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais, e atenda a NBR NM 137[(7)].

7.2 Produção e Execução

7.2.1 Temperatura do Cimento Asfáltico

A tolerância admitida para variação da temperatura é ± 3 ºC em relação à temperatura especificada para a formação de espuma de asfalto.

7.2.2 Teor de Cimento Asfáltico

Os teores de cimento asfáltico incorporados devem ser analisados estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, através do controle bilateral, de acordo com o anexo B. As tolerâncias admitidas para variação do teor são de ± 0,4 pontos percentuais do teor ótimo de ligante do projeto da mistura.

7.2.3 Granulometria da Mistura

Os resultados da granulometria da mistura devem ser analisados estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, através do controle bilateral, anexo B. A granulometria da mistura deve estar compreendida dentro dos limites de faixa A ou B da tabela 1, item 3.6.

7.2.4 Taxa de Expansão e Meia Vida da Espuma de Asfalto

Os resultados individuais de expansão e meia vida da espuma de asfalto devem atender ao prescrito no projeto de dosagem.

7.2.5 Resistência a Tração

Os resultados individuais de resistência à tração indireta por compressão diametral na condição seca e saturada devem possuir, no mínimo, 0,225 MPa e 0,2 MPa, respectivamente.

7.2.6 Compactação

O grau de compactação é aceito desde que não sejam obtidos valores individuais inferiores a 100%, ou os resultados da análise feita estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, através da equação 3 do anexo B, sejam iguais ou superiores a 100%.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

7.2.7 Homogeneidade da Camada

As condições de homogeneidade e integridade da camada reciclada, avaliadas em bases visuais nos corpos de prova extraídos, serão aceitas desde que sejam consideradas satisfatórias.

7.2.8 Geometria e Acabamento

Os serviços executados são aceitos quanto à geometria desde que:

a) os resultados individuais da semilargura da plataforma ou faixa reciclada, não apresente valores inferiores aos previstos para a camada; e os desvios verificados no alinhamento não excedam a +10 cm;

b) a espessura determinada estatisticamente, por controle bilateral, conforme equações 3 e 4 do anexo B, devem apresentar variações de ± 2 cm da espessura de projeto;

c) não são tolerados valores individuais de espessura fora do intervalo de ± 3 cm em relação à espessura de projeto;

O acabamento da superfície reciclada é aceito desde que a variação máxima entre dois pontos de contato de qualquer uma das réguas e a superfície da camada seja inferior a 0,5 cm.

7.3 Deflexões138

A deflexão característica de cada subtrecho determinada de acordo equação 4 do anexo B, para número mínimo 15 determinações, deve ser a estabelecida em projeto.

8 CONTROLE AMBIENTAL

Os procedimentos de controle ambiental referem-se à proteção de corpos d'água, da vegetação lindeira e da segurança viária. A seguir são apresentados os cuidados e providências para proteção do meio ambiente, a serem observados no decorrer da execução da reciclagem de pavimento *in situ*, com espuma de asfalto.

8.1 Exploração de Ocorrência de Materiais

Devem ser observados os seguintes procedimentos na exploração das ocorrências de materiais:

a) para as áreas de apoio necessárias à execução dos serviços devem ser observadas as normas ambientais vigentes no DER/SP;

b) o material somente será aceito após a executante apresentar a licença ambiental de operação da pedreira e areal;

c) não é permitida a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação permanente ou de proteção ambiental;

d) não é permitida a exploração de areal em área de preservação permanente ou de proteção ambiental;

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

e) deve-se planejar adequadamente a exploração dos materiais, de modo a minimizar os impactos decorrentes da exploração e facilitar a recuperação ambiental após o término das atividades exploratórias;

f) caso seja necessário promover o corte de árvores, para instalação das atividades, deve ser obtida autorização dos órgãos ambientais competentes; os serviços devem ser executados em concordância com os critérios estipulados pelos órgãos ambientais constante nos documentos de autorização. Em hipótese alguma, será admitida a queima de vegetação ou mesmo dos resíduos do corte: troncos e árvores;

g) deve-se construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso ou por lavagem da brita, evitando seu carreamento para cursos d'água;

h) caso os agregados britados sejam fornecidos por terceiros, deve-se exigir documentação que ateste a regularidade das instalações, assim como sua operação, junto ao órgão ambiental competente;

i) instalar sistemas de controle de poluição do ar, dotar os depósitos de estocagem de agregados de proteção lateral e cobertura para evitar dispersão de partículas, dotar o misturador de sistema de proteção para evitar emissões de partículas para a atmosfera.

8.2 Emulsão Asfáltica e Agregados - Estocagem

A estocagem da emulsão asfáltica, e agregados deve-se feita em local pré-estabelecido e controlado. Caso seja necessário a instalação de canteiro de obras, este deve ser cadastrado conforme a legislação vigente.

a) os locais de estocagem e estacionamento de caminhões tanques devem ser afastados de cursos d'água, vegetação nativa ou áreas ocupadas;

b) no local de estacionamento e manutenção dos caminhões tanques devem ser instalados dispositivos para retenção de pequenos vazamentos;

c) os tanques de emulsão devem ser instalados dentro de tanques periféricos, para retenção do produto em casos de vazamentos;

d) os silos de estocagem de agregados devem ser dotados de proteções laterais, para evitar a dispersão das emissões fugitivas durante a operação de carregamento;

e) a área de estocagem, estacionamento, manutenção de equipamentos deve ser recuperada ambientalmente, quando da desmobilização das atividades.

8.3 Execução

Durante a execução devem ser observados os seguintes procedimentos:

a) deve ser implantada a sinalização de alerta e de segurança de acordo com as normas pertinentes aos serviços;

b) executar os serviços preferencialmente em dias secos, de modo a evitar o arraste da emulsão pelas águas das chuvas para os cursos d'água;

c) deve ser proibido o tráfego dos equipamentos fora do corpo da estrada para evitar

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

danos desnecessários à vegetação e interferências na drenagem natural;

d) caso haja necessidade de estradas de serviço fora da faixa de domínio, deve-se proceder o cadastro de acordo com a legislação vigente;

e) as áreas destinadas ao estacionamento e manutenção dos veículos devem ser devidamente sinalizadas, localizadas e operadas de forma que os resíduos de lubrificantes ou combustíveis não sejam carreados para os cursos d'água. As áreas devem ser recuperadas ao final das atividades;

f) todos os resíduos de lubrificantes ou combustíveis utilizados pelos equipamentos, seja na manutenção ou operação dos equipamentos, devem ser recolhidos em recipientes adequados e dada a destinação apropriada;

g) os resíduos dos produtos utilizados devem ser acumulados em locais pré-definidos e livres de restrições ambientais. No encerramento das atividades devem ser removidos em recipientes apropriados para o canteiro de obras;

h) é proibida a deposição irregular de sobras de materiais utilizado na reciclagem do pavimento junto ao sistema de drenagem lateral, evitando seu assoreamento, bem como o soterramento da vegetação;

i) é obrigatório o uso de EPI, equipamentos de proteção individual, pelos funcionários.

9 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

O serviço deve ser medido em metros cúbicos de camada acabada, cujo volume é calculado multiplicando-se as extensões obtidas a partir do estaqueamento pela área da seção transversal de projeto.

O serviço recebido e medido da forma descrita é pago conforme o respectivo preço unitário contratual, no qual está incluso: corte de material, fornecimento, carga e transporte de material até locais de aplicação, produção da mistura reciclada, perdas, espalhamento, compactação e acabamento; abrangendo inclusive a mão-de-obra com encargos sociais, BDI e equipamentos necessários aos serviços, executados de forma a atender ao projeto e às especificações técnicas.

DESIGNAÇÃO	UNIDADE
23.13.06.01 – Base reciclada *in situ* a frio com espuma de asfalto	m³

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 036 –** Cimento Portland – recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 1995.

2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697.** Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

3 ____. **NBR 16974**.Agregado graúdo – Ensaio de Abrasão *Los Angeles*. Rio de Janeiro, 2022.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

4 ____. **NBR 12052**. Solo ou agregado miúdo - Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

5 ____. **DNIT 425/2020 - ME**. Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio. Brasília, 2020.

6 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 089**. Agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994.

7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 137.** Argamassa e concreto – Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

8 ____. **NBR 15617**. Misturas asfálticas - Determinação do dano por umidade induzida. São Paulo, 2015.

9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2020.

10 ____. **NBR 6576**. Materiais Asfálticos – Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 2007.

11 ____. **NBR 14950**. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.

12 ____. **NBR 11579**.Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira de 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2013.

13 ____. **NBR 17054.** Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

14 DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **ME-DE-P00/011**. Determinação do teor de asfalto por meio do forno NCAT (Ignition Method). São Paulo, 2021.

15 ____. **NBR 15184**. Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperaturas elevadas usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, 2004

16 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15087**. Misturas asfálticas — Determinação Da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 2012.

17 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185** – Solo - Determinação da massa específica aparente *in situ*, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.

18 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 024**. Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

19 ____. **DNER PRO 273**. Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo *Falling Weight Deflectometer* – FWD. Rio de Janeiro, 1996.

20 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6560**. Ligantes asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2016.

21 ____. **NBR 11341**. Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro, 2014.

22 ____. **NBR 14855**. Ligantes asfálticos - Determinação da solubilidade em tricloroetileno. Rio de Janeiro, 2015.

23 ____. **NBR 6293**. Ligantes asfálticos – Determinação da ductilidade. Rio de Janeiro, 2015.

24 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2872**. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). Pennsylvania, 2019.

_____

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

MINUTA

ANEXO A – TABELAS DE CONTROLE

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
1. CONTROLE DOS MATERIAIS				
1.1 Cimento Asfáltico				
Penetração a 25 ºC	NBR 6576[10]	Para todo carregamento que chegar à obra	Resultados Individuais	Ver especificação dos Cimentos Asfálticos – anexo C, ou regulamentação em vigor
Viscosidade de Saybolt Furol	NBR 14950 [11]			
1.2 Cimento Portland				
Finura	NBR 11579[12]	1 determinação a cada 600m³ de mistura a ser reciclada, ou quando houver dúvida sobre a sua sanidade.	Resultados Individuais	Cimento Portland de alto forno deve possuir resíduo na peneira 0,074 ≤ 10% Cimento Comum, deve possuir resíduo na peneira 0,074 ≤ 15%
Todo carregamento de cimento que chegar à obra deve vir acompanhado de certificado de qualidade que ateste a qualidade do material e o atendimento as especificações DNER-ME 036[1] e NBR 16697[2].				
1.3 Agregado Graúdo				
Abrasão *Los Angeles*	NBR 16974[3]	1 ensaio, no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	≤ 50%
Índice de forma	DNIT 425/2020 – ME[5]		Resultados individuais	> 0,5
Durabilidade	DNER ME 089[6]		Resultados individuais	≤ 12%
1.4 Agregado Miúdo				
Equivalente de areia	NBR 12052[4]	1 ensaio por jornada de 8 h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material	Resultados individuais	≥ 55%

/continua

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
1.5 Água				
Qualidade da água	NBR NM 137[7]	Sempre que houver dúvida sobre a sua sanidade	Resultados individuais	Ser isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis, matéria orgânica ou outras substâncias nocivas
2.CONTROLE DE PRODUÇÃO e EXECUÇÃO				
2.1 Material Fresado				
Granulometria do material fresado	NBR 17054[13]	Uma determinação em cada subtrecho homogêneo, com no mínimo uma determinação a cada 3.500 m² de pista.	Resultados Individuais	Parâmetro de controle e ajuste da produção
Teor de umidade, após a passagem da acabadora	Método expedito da frigideira			
2.2 Execução				
Temperatura do cimento asfáltico, no tanque	Termômetro bimetálico com precisão de 2 ºC	3 determinações durante a jornada de 8hs de trabalho, espaçadas de no mínimo 4 horas	Resultados individuais	tolerância ± 3ºC da temperatura fixada na dosagem
Taxa de expansão da espuma de asfalto	Visual em balde graduado	Após o equipamento entrar em ritmo constante de operação, duas determinações por jornada de 8hs trabalho, espaçadas de no mínimo 4 horas	Resultados Individuais	Atender a dosagem
Meia vida da espuma de asfalto				
Medida da espessura do corte	Medida de trena	Imediatamente após a passagem da recicladora, a cada 30m.	Resultados Individuais	Tolerância máxima admitida é de ± 1% da definida em projeto
Teor de umidade, após a passagem da acabadora	Método expedito da frigideira	1 determinação a cada 500 m².	Resultados Individuais	Tolerância máxima admitida é de ± 1% do teor ótimo da mistura

/continua

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/continuação

ENSAIO	MÉTODO	FREQUÊNCIA	CÁLCULOS ESTATÍSTICOS OU VALORES INDIVIDUAIS	ACEITAÇÃO
Moldagem de 6 corpos de prova, com 75 golpes por face Determinação da resistência à tração indireta a compressão diametral nas condições seca e saturada a 25ºC, após período de cura de 72 horas em estufa a 60ºC.	ABNT NBR 15087[16]	1 determinação a cada 8hs de jornada de trabalho.	Resultados Individuais	Na condição seca mín 0,225 MPa Na condição saturada mín 0,2 MPa
Ensaio de compactação, na energia modificada	NBR 7182[9]	1 determinação a cada 500 m² e sempre que a curva granulométrica se encontrar fora da faixa de trabalho.	Resultados Individuais	Parâmetro de controle
Determinação do teor de cimento asfáltico incorporado na mistura, obtido através da diferença entre o teor obtido no ensaio de extração, e o teor encontrado nas amostras coletadas na fase de dosagem	Extração do asfalto ME-DE-P00/011[14]	1 determinação a cada 500 m².	Resultados Individuais	± 0,4% do teor ótimo
Granulometria da mistura	NBR 17054[13]	1 determinação a cada 500 m², com material resultante das extrações de asfalto.	Controle Bilateral $X = \bar{X} - K_1 S \geq LIE$ $X = \bar{X} + K_1 S \leq LSE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	A granulometria da mistura deve estar compreendida dentro dos limites de faixa A ou B da tabela 1, item 3.6
Determinação da massa específica aparente “in situ” e o respectivo grau de compactação	NBR 7185[17]	Imediatamente após a conclusão da camada, 1 determinação a cada 500 m²	$X = \bar{X} - KS \geq LIE$ Análise de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras	Resultados Individuais GC ≥ 100% ou GC_{est} ≥ 100%.
Análise visual da integridade e homogeneidade da camada.	Extração com sonda rotativa de 6” de diâmetro	1 extração a cada 1.800 m²	Resultados Individuais	Sejam consideradas satisfatórias

/continua

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

/conclusão

3. CONTROLE GEOMÉTRICO E ACABAMENTO				
Espessuras e cotas	Relocação e Nivelamento da seção transversal Medidas de trena	A cada 20m, no eixo, bordas e dois pontos intermediários.	Resultados individuais	Variação no eixo longitudinal e das cotas das bordas, nas seções transversais não devem ser superiores a - 2,0 à +1,0cm das cotas de projeto Variação máxima admitida na espessura analisadas estatisticamente é de ± 2 cm e valores individuais de ± 3 cm da espessura de projeto, em qualquer ponto da camada;
Largura e alinhamentos da plataforma		A cada 20 m	Resultados individuais	Não se admite valores para semilargura inferiores aos previstos em projeto
Acabamento da superfície	Duas réguas, uma de 1,20m e outra 3,0m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada	A cada 20 m	Resultados individuais	A variação máxima admitida, entre dois pontos de contado, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada é de 0,5cm.
4. DEFLEXÕES				
Determinação das deflexões	Viga Benckelman DNER ME 024[18] ou FWD DNER PRO 273[19]	A cada 20 m por faixa alternada, a cada 40 m na mesma faixa, determinar D_0;	Controle Unilateral $X = \overline{X} + KS \leq LSE$ Análise de no mínimo 15 determinações	A deflexão característica de cada subtrecho deve ser a estabelecida em projeto

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

MINUTA

ANEXO B – CONTROLE ESTATÍSTICO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Tabela B-1 – Controle Estatístico

Parâmetro		
1 - Média aritmética da amostra ($\overline{X}$)	$\overline{X} = \frac{\sum X_i}{N}$	Onde: **X_i** = valor individual da amostra; **N** = nº de determinações efetuadas; **K =** coeficiente unilateral tabelado em função do número de amostras; **K_1 =** coeficiente bilateral tabelado em função do número de determinações; **LSE** = limite superior especificado; **LIE** = limite inferior especificado.
2 – Desvio-padrão da amostra (S)	$S = \sqrt{\frac{\sum(\overline{X} - X_i)^2}{N-1}}$	
Controle Unilateral		
3 – Controle pelo limite inferior 4- Controle pelo limite superior	$X = \overline{X} - KS \geq LIE$ Ou $X = \overline{X} + KS \leq LSE$	
Controle Bilateral		
5 – Controle pelo limite inferior e superior	$X = \overline{X} - K_1 S \geq LIE$ e $X = \overline{X} + K_1 S \leq LSE$	

Tabela B-2 – Valores K – Tolerância Unilateral e K1 Tolerância Bilateral

N	K	K_1	N	K	K_1	N	K	K_1
4	0,95	1,34	**10**	0,77	1,12	**25**	0,67	1,00
5	0,89	1,27	**12**	0,75	1,09	**30**	0,66	0,99
6	0,85	1,22	**14**	0,73	1,07	**40**	0,64	0,97
7	0,82	1,19	**16**	0,71	1,05	**50**	0,63	0,96
8	0,80	1,16	**18**	0,70	1,04	**100**	0,60	0,92
9	0,78	1,14	**20**	0,69	1,03	**∞**	0,52	0,84

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

MINUTA

ANEXO C – ESPECIFICAÇÃO PARA CIMENTO ASFÁLTICO

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.

Características	Unidades	Limites				Métodos	
		CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200	ABNT	ASTM
Penetração (100g, 5s, 25ºC)	0,1 mm	30-45	50-70	85-100	150-200	NBR 6576(10)	
Ponto de amolecimento, mín.	ºC	52	46	43	37	NBR 6560(20)	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950(11)	
- a 135 ºC, mín.		192	141	110	80		
- a 150 ºC, mín.		90	50	43	36		
- a 177 ºC, mín.		40-150	30-150	15-60	15-60		
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184(15)-	
- a 135 ºC, SP 21 mín. 20 rpm		374	274	214	155		
- a 150 ºC, SP 21 mín.		203	112	97	81		
- a 177 ºC, SP 21 mín.		76-285	57-285	28-114	28-114		
Índice de susceptibilidade térmica[1]		(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)	(-1,5) a (+0,7)		
Ponto de fulgor, mín.	ºC	235	235	235	235	NBR 11341(21)	
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855(22)	
Ductilidade a 25ºC, mín.	cm	60	60	100	100	NBR 6293(23)	
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163ºC, 85 mín.							
- Variação em massa[2], máx.	%	0,5	0,5	0,5	0,5	-	D 2872(24)
- Ductilidade a 25ºC, mín.	cm	10	20	50	50	NBR 6293(23)	
- Aumento do ponto de amolecimento, máx.	ºC	8	8	8	8	NBR 6560(20)	
- Penetração retida[3], mín.	%	60	55	55	50	NBR 6576(10)	

Observações:

[1] Índice de Susceptibilidade Térmica $= \dfrac{(500)\,(\log PEN) + (20)\,(T^{o}C) - 1951}{120 - (50)\log PEN) + (T^{o}C)}$

onde: (T ºC) = ponto de amolecimento; PEN = penetração a 25ºC, 100 g, 5 seg.

[2] A variação em massa (%) é definida como: $AM = \dfrac{M_{inicial} - M_{final}}{M_{final}} x100$

onde: $M_{inicial}$ = massa antes do ensaio RTFOT; M_{final} = massa após o ensaio RTFOT

[3] A penetração retida é definida como: $PEN\ retida = \dfrac{PEN_{final}}{PEN_{inicial}} x100$

onde: $PEN_{inicial}$ = penetração antes do ensaio RTFOT; PEN_{final} = penetração após o ensaio RTFOT

MINUTA

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte – DER/SP – mantido o texto original e não acrescentando qualquer tipo de propaganda comercial.