



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES

SECRETARIA REGIONAL DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS
LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA
APLICAÇÃO DE BAGACINAS EM SUB-
BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

RELATÓRIO 88/2009

Trabalho realizado para
Laboratório Regional de Engenharia Civil

Ponta Delgada, Dezembro de 2009



REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES

SECRETARIA REGIONAL DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E EQUIPAMENTOS
LABORATÓRIO REGIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE BAGACINAS EM SUB-BASES DE
PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO

Relatório ID: LREC/ss – RELATÓRIO 88/2009
Proc. ID: Proc. 320
LREC/CD - Cota ID: 624.131
F87e
Autor(s) ID: Carlos Alberto Frazão Fraga
Eng. Civil, Mestre em Mecânica dos Solos
Visto(s) ID:
O Director do Laboratório Regional de Engenharia Civil
António Pereira Alves Calado

DECLARAÇÃO DE AUTENTICIDADE

O Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) declara que a cópia em formato PDF gravada no CD com ID LREC 88-09, constitui uma cópia integral e autêntica do documento acima identificado, encontrando-se em arquivo próprio do LREC o original em papel.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DE BAGACINAS EM SUB-BASES DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

1 – INTRODUÇÃO

O termo “bagacinas” é utilizado nos Açores para designar as escórias vulcânicas, que são piroclastos basálticos, de composição máfica, resultantes de erupções vulcânicas sub-aéreas do tipo Stromboliano.

Estas bagacinas, que localmente ainda podem ser conhecidas por outras designações tais como “cascalhos” ou “bagaço” (termo particularmente utilizado na ilha do Pico), têm sido utilizadas na RAA como material constituinte de camadas de sub-base e de leito de pavimento em estradas, apresentando um desempenho adequado às funções que lhes são espectáveis, desde que satisfaçam determinadas características físicas e mecânicas exigíveis aos materiais a utilizar naquelas camadas e lhes sejam aplicadas as técnicas construtivas adequadas.

Até agora essa aplicação tem sido feita sem que os Cadernos de Encargos (CE) das obras contemplem qualquer referência específica às bagacinas. Assim, o objectivo deste trabalho é contribuir com alguns elementos técnicos que permitam incluir nos CE os requisitos a exigir às bagacinas, para que estas possam ser correctamente utilizadas em camadas de sub-base dos pavimentos rodoviários.

Para tal, propõem-se as especificações técnicas a que o material deve satisfazer acrescentando-se também recomendações relativas à sua colocação em obra e execução das camadas.

2 – ASPECTOS GERAIS

O comportamento das bagacinas distingue-se do comportamento típico de um solo pelo facto de estas serem praticamente indiferentes ao teor em água. Especialmente por esta razão e por serem constituídas por grãos, considera-se que as bagacinas devem ser tratadas como agregado.

De acordo com as definições constantes das Normas Europeias, agregado é o material granular utilizado na construção e que pode ser natural, artificial ou reciclado. Um agregado natural é um agregado de origem mineral que foi sujeito apenas a processamento mecânico (que inclui britagem), podendo dividir-se portanto em “britado” e “não britado”. O agregado artificial é um agregado de origem mineral resultante de um processamento industrial compreendendo modificações térmicas ou outras, enquanto que um agregado reciclado é um agregado resultante do processamento de materiais inorgânicos anteriormente utilizados na construção. Deste modo, as bagacinas enquadram-se nos agregados naturais não britados.

De entre as principais características específicas das bagacinas, salienta-se a sua heterogeneidade, o que se deve à própria natureza e origem das escórias vulcânicas, sendo tal característica agravada pela estrutura estratificada que é frequente encontrar nos cones vulcânicos e pelo maior ou menor grau de consolidação do material na jazida.

Em termos físicos, as bagacinas caracterizam-se por ser um material poroso, de baixa densidade a que correspondem valores elevados de absorção de água, cujas massas volúmicas (quer das partículas secas quer das partículas saturadas com a superfície seca quer ainda do material impermeável das partículas) aumentam com a diminuição das dimensões das partículas, acontecendo o inverso relativamente à absorção de água.

Quanto à granulometria, a sua faceta mais importante é a alteração que sofrem por fracturação e esmagamento das partículas quando sujeitas às acções de extracção, transporte, espalhamento e, sobretudo, compactação. As bagacinas são pois um material evolutivo em termos granulométricos.

A resistência mecânica das bagacinas é muito variável de escória para escória, sendo que, numa mesma bagacina, a resistência à fragmentação (avaliada no ensaio de Los Angeles) é tanto melhor quanto mais fina for a fracção granulométrica ensaiada.

Estes aspectos, no seu conjunto, levam a que se preconize que a caracterização do material bagacina deva ser feita através da realização de um trecho experimental, ou seja após se ter efectuado as acções de extracção, transporte, espalhamento e compactação do material, utilizando os meios disponíveis em obra.

3 – CARACTERÍSTICAS PARA OS MATERIAIS DE SUB-BASE

3.1 Agregados naturais

Os agregados naturais a aplicar nos diversos tipos de camadas dos pavimentos rodoviários, devem apresentar-se homogéneos e não devem conter matéria orgânica ou quaisquer substâncias estranhas, tais como madeira, vidro e plástico. Devem ser pouco susceptíveis à meteorização e apresentarem-se são ou pouco alterados (de acordo com os critérios propostos pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas -ISRM).

Para todas as aplicações deve ser efectuado um exame petrográfico dos agregados para classificação geral, de acordo com a NP EN 932-3 “Descrição petrográfica simplificada”.

As Normas Europeias que definem os requisitos aplicáveis aos agregados a utilizar em camadas de sub-base de pavimentos rodoviários são as seguintes:

- NP EN 13242 – Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária, e;
- NP EN 13285 – Misturas não ligadas. Especificações.

Os materiais para camadas não ligadas incluem solos seleccionados, agregados naturais não britados de granulometria extensa – AGE, agregados britados (naturais e reciclados) – ABGE, agregado fino e material drenante com agregado britado.

No caso dos ABGE e dos AGE (onde se consideram incluídas as bagacinas) para além dos requisitos definidos na NP EN 13242, devem ser considerados os requisitos definidos na NP EN 13285.

3.2 - Especificações aplicáveis às bagacinas em camadas de sub-base

No Quadro I especificam-se os requisitos das bagacinas – como agregado natural de granulometria extensa (AGE) - para camadas granulares com características de sub-base.

O Quadro II especifica os requisitos granulométricos das bagacinas a aplicar nas camadas de sub-base.

Quadro I – Requisitos/Propriedades das bagacinas para camadas de sub-base

Requisito/Propriedade	Ref. ^a Normativa	Unidades	Bagacinas	Observações
Forma do agregado grosso – Índice de achatamento	NP EN 933-3	%	NA	
Percentagem de partículas esmagadas ou partidas e de partículas totalmente roladas nos agregados grossos	NP EN 933-5	%	NA	
Qualidade dos finos – Valor de equivalente de areia, mínimo e Valor do ensaio de azul-de-metileno, máximo	NP EN 933-8 NP EN 933-9	% g/kg	Se f > 3%: - SE ≥ 40 ou - MB ≤ 3 ou - MB _{0/D} 1	Propõe-se uma alternativa suplementar, baseada no parâmetro MB _{0/D} , que corresponde ao valor de azul-de-metileno corrigido tendo em consideração a percentagem de partículas com dimensão inferior a 2 mm, relativamente à massa total.
Resistência à fragmentação do agregado grosso, coeficiente Los Angeles	NP EN 1097-2	%	LA ₄₅	A categoria LA ₄₅ está contemplada na nova versão da EN 13242+A1:2008
Resistência ao desgaste por atrito do agregado grosso, coeficiente Micro-Deval	NP EN 1097-1	%	M _{DE} 40	
Massa volúmica das partículas	NP EN 1097-6	Mg/m ³	A declarar	
Absorção de água	NP EN 1097-6	%	A declarar	
Sonnenbrand do basalto	NP EN 1367-3 NP EN 1097-2	%	NA	
Resistência ao gelo e ao degelo, valor de absorção de água como ensaio de triagem e valor do sulfato de magnésio	NP EN 1097-6 NP EN 1367-2	%	NR	
Notas: NA – Não aplicável NR – Não requerido f – % de passados no peneiro de 0,063 mm				

Quadro II – Requisitos granulométricos das bagacinas para camadas de sub-base

Requisito/Propriedade	Ref. ^a Normativa	Unidades	Bagacinas	Observações
Designação agregado/mistura	NP EN 13242 NP EN 13285	-	0/31,5	
Teor de finos	NP EN 13242 NP EN 933-1	%	NA	
Conteúdo de finos, máximo	NP EN 13285 NP EN 933-1	%	UF₇	
Conteúdo de finos, mínimo			LF₂	
Sobretamanhos			OC₈₀	
Curva granulométrica	NP EN 13285	-	G _B	
Dimensão dos peneiros de referência			Fuso granulométrico – % acumulada de passados	
40	NP EN 13242 NP EN 13285 NP EN 932-2	mm		100
31,5			D	80-99
22,4				-
16			A	63-77
8			B	43-60
6,3				-
5,6				-
4			C	30-52
2			E	23-40
1			F	14-35
0,5			G	10-30
0,25				-
0,125				-
0,063				2-7
Notas:				
D – Abertura do peneiro superior que pode reter material, em milímetros				
A,B,C,E,F,G – Peneiros para a granulometria de acordo com a NP EN 13285				

4 – ESPECIFICAÇÕES CONSTRUTIVAS DE SUB-BASES EM BAGACINAS

4.1 – Preparação da superfície subjacente

Antes da execução da camada de sub-base do pavimento em bagacinas devem ser verificadas as condições em que se encontra a plataforma de apoio do pavimento de acordo com o especificado para a camada de leito do pavimento, tendo em conta o material de que é constituída.

4.2 – Disposições gerais, transporte, espalhamento e compactação

4.2.1 – Características gerais do material

Deve ser apresentado à Fiscalização para aprovação, pelo menos 30 dias antes do início da aplicação em obra, um estudo de caracterização genérica da bagacina a utilizar em obra, que inclua a seguinte informação:

- Descrição petrográfica da bagacina, incluindo a sua origem;
- Ordem de grandeza do conteúdo máximo e mínimo de finos e percentagem de material retido no peneiro superior D (sobretamanhos), relativo a amostra colhida na jazida;
- Curva granulométrica da amostra colhida na jazida;
- Valores das massas volúmicas das diferentes fracções granulométricas;
- Valores da resistência à fragmentação obtidos no ensaio de Los Angeles;

4.2.2 - Execução de trechos experimentais

Uma vez aprovado o material a utilizar, deve ser realizado um trecho experimental em obra que permita efectuar a caracterização de referência da bagacina após compactação, a qual deverá satisfazer o cumprimento do disposto nos Quadros I e II.

Este trecho experimental servirá também para especificar o valor máximo do índice de vazios a especificar para o controlo da compactação em obra, definindo-se também o número óptimo de passagens dos cilindros para a sua obtenção.

O relatório do trecho experimental deve ser apresentado à Fiscalização para aprovação, pelo menos 5 dias antes do início da execução das camadas de sub-base e deverá incluir a seguinte informação:

- Localização e data de execução;
- Metodologia de execução (sub-divisão do trecho em zonas, transporte e manuseamento do material, espalhamento, número de passagens dos cilindros por zona, equipamento utilizado);
- Amostragem e ensaios realizados (massas volúmicas, absorção de água e baridade seca *in situ* com gamadensímetro e com garrafa de areia);
- Gráfico da relação entre a variação do índice de vazios e o número de passagens dos cilindros;
- Curva granulométrica de referência obtida após a compactação e cumprindo o fuso estipulado no quadro II;
- Valor ponderado das massas volúmicas, tendo em conta a curva granulométrica de referência;
- Conclusões, as quais devem incluir a proposta de valor do índice de vazios máximo a cumprir em obra.

Só se iniciam os trabalhos de execução em obra depois da aprovação do trecho experimental pela Fiscalização

4.2.3 – Controlo de qualidade e tolerâncias na produção

Para as camadas de sub-base, e relativamente à mistura 0/31,5, devem ser cumpridos as seguintes tolerâncias indicadas no Quadro III, no que respeita à granulometria dos lotes individuais.

Quadro III – Tolerâncias da curva granulométrica

Peneiros		Unidade	Amostras individuais Tolerância sobre a fórmula da mistura
40	1,4 D	%	-2
31,5	D	%	±3
16	A	%	± 8
8	B	%	± 8
4	C	%	± 8
2	E	%	±7
1	F	%	± 5
0,5	G	%	± 5
0,063		%	± 1

Nota: A diferença entre as percentagens, em massa, de material passado pelos peneiros seleccionados deve estar compreendida:
Diferença entre A e B (16 e 8 mm) e entre B e C (8 a 4 mm): 10-25;
Diferença entre C e E (4 e 2 mm): 7-20
Diferença entre E e F(1 e 0,5 mm): 4-15
D - Abertura do peneiro superior que pode reter material, em milímetros
A, B, C, E, F G – Peneiros para a granulometria, de acordo com EN 13285, secção 4.4.1

4.2.4 Armazenamento

O material deve ser armazenado de um modo controlado e os locais de armazenamento e os seus conteúdos devem estar devidamente identificados (designação da bagacina, sua origem e tipo). Não devem ser armazenados no mesmo depósito materiais de origens e tipos diferentes. Devem ser providenciadas as medidas necessárias para que a qualidade do material seja mantida durante o seu manuseamento e armazenamento, tendo em conta a eventual contaminação e segregação do material, a limpeza do equipamento e das áreas de armazenamento e a correcta drenagem dos locais de armazenamento.

O armazenamento deve processar-se construindo um depósito com camadas de espessura não superior a 3,0 m e formando degraus nos bordos das camadas, de modo a evitar a formação de taludes contínuos. O material deve ser espalhado com tractor de rastos e ser depositado na frente da camada. O carregamento para transporte deve ser feito frontalmente e com equipamento adequado. O material não deve ser armazenado em pilhas

O armazenamento ao longo da linha poderá ser efectuado em situações excepcionais, mediante a aprovação da Fiscalização. Nesses casos, deve ser feito de acordo com as necessidades de aplicação, de modo a evitar operações de carga e transporte complementares. A plataforma subjacente deve ser previamente preparada e aprovada pela Fiscalização.

4.2.5 – Transporte e espalhamento

O transporte deve ser realizado por camiões basculantes.

No espalhamento do material devem ser utilizadas motoniveladoras, que permitam uma modelação homogénea da superfície, próxima da forma definitiva da camada, e que a sua espessura, após compactação, seja a prevista no projecto.

4.2.6 - Compactação

A compactação da camada deve ser efectuada por cilindro vibrador, eventualmente seguida da compactação com cilindros de pneus.

Em simultâneo com a compactação com cilindro vibrador, imediatamente antes da passagem deste, poderá ser conveniente efectuar uma boa rega para permitir que a água, ao atravessar a espessura da camada, imprima uma acção lubrificadora entre as partículas da bagacina proporcionando-lhes um melhor arranjo sob acção da vibração e facilitando assim o adensamento da camada.

Para tal deve proceder-se a uma distribuição uniforme e rápida de água, empregando-se carros tanques de pressão cujo jacto deverá cobrir a largura total da área a compactar pelo cilindro.

4.3 – Especificações e critérios de aceitação/rejeição para unidades terminadas

Para as camadas de sub-base em bagacinas, devem ser cumpridos os critérios de aceitação/rejeição indicados no Quadro IV.

Quadro IV – Especificações e critérios de aceitação/rejeição para camadas de sub-base em bagacinas

Especificações		Critérios de Aceitação / Rejeição	Acção Correctiva
Índice de vazios	Média de resultados \leq máximo especificado	90% de resultados individuais \leq ao máximo especificado	Não aplicável
		Mais de 10% de resultados individuais $>$ máximo especificado	Escarificar e refazer a camada
Espessura da camada	Média igual à espessura de projecto podendo ter 5% de resultados individuais $<$ 90% da espessura de projecto	Média \geq 95% da espessura de projecto	Não aplicável
		$85\% \leq$ Média $<$ 95% Espessura de projecto	Compensar na camada seguinte
		Média $<$ 85% da espessura de projecto	Escarificar e refazer camada
Cota da camada	Igual à cota de projecto	Até -25mm relativamente à cota de projecto	Não aplicável
		Entre -26mm e -30mm relativamente à cota de projecto	Compensar na camada seguinte
		Inferior a -31mm ou superior à cota de projecto	Corrigir a camada

5 – CONTROLO DE QUALIDADE

5.1 - Disposições aplicáveis aos produtos de construção

Para colocação no mercado, os “Produtos de Construção”, destinados a ser incorporados ou aplicados de forma permanente nos empreendimentos de construção e conservação rodoviária, devem revelar aptidão para o uso a que se destinam, apresentando características tais que as obras em que venham a ser incorporados, quando convenientemente projectadas e construídas, possam satisfazer as exigências essenciais identificadas pela Directiva n.º 89/106/CEE relativa aos “Produtos de Construção”, a qual foi transposta para a ordem jurídica interna pelo Decreto-lei n.º 113/93, de 10 de Abril, posteriormente alterado pelo Decreto-Lei n.º 4/2007 de 8 de Janeiro.

Assim, com vista ao cumprimento da legislação nacional aplicável, os produtos de construção abrangidos pelas Normas Europeias harmonizadas, como é o caso das bagacinas, devem ter obrigatoriamente aposta a marcação CE.

Os “Donos de Obra” e/ou Fiscalização, ou quem os represente com competência de Fiscalização, devem zelar pelo cumprimento das disposições constantes do Decreto-Lei n.º 4/2007 de 8 de Janeiro, em particular no que respeita à marcação CE e respectiva etiquetagem e à informação constante da declaração e do certificado de conformidade CE.

5.2 – Controlo de qualidade dos materiais

O controlo de qualidade dos trabalhos respeitantes às empreitadas é da responsabilidade do Adjudicatário que deverá apresentar para aprovação, juntamente com o programa de trabalhos e o cronograma financeiro, um plano de garantia e controlo de qualidade, bem como o nome do responsável pela sua implementação. Este plano deverá contemplar, no mínimo, o tipo e a frequência de ensaios discriminados no Quadro V.

Os ensaios indicados são aqueles cuja realização se prevê efectuar em condições normais de desenvolvimento dos trabalhos. Na ocorrência de qualquer anomalia, ou em caso de dúvida, a Fiscalização poderá sempre solicitar ao Adjudicatário a determinação de outras propriedades dos materiais, tendo como referência o estabelecido nos documentos normativos relevantes.

Em todo o caso, a aptidão ao uso de qualquer material deve estar demonstrado pelo respectivo produtor, devendo a Fiscalização solicitar ao Adjudicatário a correspondente informação.

Qualquer controlo por amostragem dos ensaios realizado pelo “Dono de obra” e/ou Fiscalização ou por quem a represente com competência de Fiscalização, não isenta o Adjudicatário de responsabilidade de deficiências e anomalias de construção que lhe sejam imputáveis.

5.3 – Frequência de ensaios

O Adjudicatário obriga-se a satisfazer as frequências mínimas dos ensaios indicadas no Quadro V, as quais estão associadas à definição de lote adoptada para cada tipo de material.

Para os ensaios não previstos no Quadro V, deverá aplicar-se a frequência estabelecida nas especificações de projecto.

As frequências dos ensaios poderão ser ajustadas pela Fiscalização sempre que tal se justifique. A frequência dos ensaios poderá ser aumentada nos casos em que se verifique qualquer desvio registado numa inspecção visual, que conduza a suspeições relativamente à heterogeneidade das características dos materiais, ou quando o valor obtido num dado ensaio se encontre perto do limite especificado.

A Fiscalização poderá colher amostras e mandar realizar, por conta do Adjudicatário, ensaios em laboratórios acreditados ou reconhecidos por ambas as partes e, bem assim, promover as diligências necessárias para verificar se se mantêm as características dos materiais.

À medida que forem sendo feitos os ensaios, serão de imediato entregues à fiscalização os respectivos boletins, sendo o mais tardar entregues no início de cada semana os boletins dos ensaios realizados na semana anterior. Os ensaios serão sempre referenciados aos perfis transversais do projecto, normalmente de 25 em 25 metros. Em obras na plataforma de estradas em exploração, a referência será concretizada relativamente aos marcos hectométricos e quilométricos. Os ensaios devem ser identificados pelo código de referência indicado no Quadro V.

Quadro V – Frequência mínima dos ensaios para bagacinas em camadas de sub-base

Ensaio	Refª Normativa	Nº de ensaios	Período ou quantidade
G, Granulometria	NP EN 933-1	1	por lote (*)
SE, Equivalente de areia	NP EN 933-8	1	por lote (*)
MB, Azul de Metileno	NP EN 933-9	1	por lote (*)
LA, Los Angeles	NP EN 1097-2	1	por cada 10 000 m ³ (*)
M _{DE} , Micro-Deval	NP EN 1097-1	1	por cada 30 000 m ³ (*)
ρ_{ssd} , WA ₂₄ , Massa volúmica e absorção de água	NP EN 1097-6	1	por cada 10 000 m ³ (*)
Ω , Teor de água e ρ_d , v Baridade <i>in situ</i> (gamadensímetro)	NP EN 1097-5 NP EN 1097-3	3	em cada 12,5 m (**)
Régua (3 m)	-	1	De 25 em 25 m
(*) A executar durante a aplicação em obra e durante a criação de locais de armazenamento (**) Deve ser efectuada a calibração do gamadensímetro, tendo em conta os valores obtidos para o teor em água (por secagem em estufa) e para a baridade seca (pelo método da garrafa de areia). Esta calibração deve ser efectuada com a periodicidade mínima de uma vez por mês.			

Na sequência de um ensaio que indique que o produto não está conforme para a aplicação em causa, o material em questão deve ser rejeitado e identificado como não conforme. Todas as situações de não conformidade devem ser registadas pelo Adjudicatário, o qual deve apresentar à Fiscalização um relatório de acções correctivas a empreender, que deverá incluir a investigação da causa da não conformidade (incluindo a verificação do procedimento de ensaio), que permita resolver as não conformidades registadas.

Definição de lote

Para efeitos de verificação de conformidade, a dimensão do lote a considerar deve ser a menor extensão que resulte da aplicação dos seguintes critérios:

- Quinhentos metros (500 m) de extensão de faixa;
- Três mil e quinhentos metros quadrados (3500 m²) de faixa;
- A extensão construída num dia.

P. Delgada e Laboratório Regional de Engenharia Civil, 30 de Dezembro de 2009

Autoria

Carlos Alberto Frazão Fraga
Técnico Superior, Eng.º Civil
Mestre em Mecânica dos Solos

Visto
O Director do LREC

António Pereira Alves calado