

CAPÍTULO

6

USOS E ESPECIFICAÇÕES

Adão Benvindo da Luz
Engenheiro de Minas pela UFPE, Doutor em
Engenharia Mineral pela USP
Prof. Visitante do Departamento de Geologia-UFRJ
Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

Salvador Luiz Matos de Almeida
Engenheiro Metalurgista pela UFRJ, Doutor em
Engenharia Mineral pela USP
Pesquisador Titular do CETEM/MCTI

1. INTRODUÇÃO

Os agregados são matérias primas minerais de grande importância econômica para o desenvolvimento socioeconômico de cada País e de relevância para a qualidade de vida na sociedade. Esses são usados basicamente na construção civil e obras de infraestrutura. De acordo com a Norma ABNT NBR 9935/2005 que estabelece a terminologia dos agregados, estes são caracterizados como materiais sem forma ou volume definidos, geralmente inertes, de dimensões e propriedades adequadas para a produção de argamassas e concreto.

Na construção de 1 km de autopista, usam-se cerca de 18.000 t de agregado. Em obras de estradas, os custos desses materiais representam um valor entre 10 e 20%. Cerca de metade do consumo das matérias primas minerais consumidas pela sociedade, correspondem aos agregados (LOEMCO, 2003).

Os agregados tem um vasto campo de aplicações na indústria de construção civil e os principais são:

- agregados para concreto e argamassa de cimento Portland: uso com finalidade estrutural e uso sem finalidade estrutural;
- agregados para concreto asfáltico;
- lastro de ferrovia;
- aterros;
- tratamentos superficiais em pavimentos;
- drenagem e filtros;
- proteção e contenção de taludes;
- controle de erosão;
- componente de argamassa para alvenaria e revestimento.

2. AGREGADOS PARA CONCRETO E ARGAMASSA DE CIMENTO PORTLAND (NBR 7211 E 7214)

A norma 7211 estabelece as características tecnológicas requeridas para a produção de agregados graúdo (brita) e miúdo (areia), de origem natural, já fragmentados ou resultantes do processo de cominuição (britagem) e destinada à produção de concreto.

A norma 7214 fixa as condições requeridas da areia destinada à execução do ensaio de resistência à compressão de cimento Portland, de acordo com a norma NBR 7215.

O concreto de Cimento Portland ou Hidráulico

É uma mistura, em proporções pré-estabelecidas, de um aglomerante (cimento) com um ou mais materiais agregados (brita e-areia) e água.

No caso de agregados que não se conhece, ainda, os antecedentes do seu desempenho ou irão ser usados pela primeira vez, ou em regiões onde não seja possível, economicamente, produzir um agregado dentro da Norma-7211, deverão ser realizados, previamente, em laboratório especializado, estudos técnicos de caracterização tecnológica do agregado, que garanta a sua produção com qualidade satisfatória para o uso a que se destina – concreto hidráulico, concreto asfáltico, lastro ferroviário, argamassa etc.

Argamassa (SMITH & COLLIS, 2001)

Na construção civil, argamassa é o termo usado para denominar a mistura de areia natural ou outros agregados de granulometria fina e algum agente ligante (cimento ou cal).

A argamassa preparada apenas com areia e cal como ligante, por ser de menor custo, ainda é usada como emboço de paredes em construções de casas populares.

A argamassa preparada com areia, cimento do tipo Portland como ligante e aditivos, para melhorar a sua trabalhabilidade, é hoje usado universalmente. A essa mistura também pode ser adicionado um pouco de silte e argila, que melhora ainda mais a trabalhabilidade da argamassa e provê superfícies mais untuosas (escorregadias), propriedade muito requerida pelos pedreiros.

Nos estudos de caracterização tecnológica de uma rocha visando ao seu uso como agregado (brita ou areia) para a construção civil, recomenda-se a aplicação das normas requeridas para esses estudos, constituídas por ensaios físicos, químicos e mecânicos (Capítulo. 5, nesta publicação), segundo as Normas ABNT, complementadas por normas internacionais, como seguem:

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas--NBR: 5734, 6465, 7216, 7217, 7218, 7219, 7220, 7221, 7389, 7809;

AFNOR - Association Française de Normalisation (França); NF 18-572, 18-576 (1978);

ASTM - American Society for Testing Materials (EUA): ANSI/ASTM C 123-69, ASTM C 127-77, 128-73, 227-81, 586-69;

BSI - British Standard Institution (Grã-Bretanha): BS: 812-Part 3: 1975-6, 1975-7, 1975-8, BS 1047:1952;

DIN - Deutsches Institut für Normung (Alemanha): DIN 4226 Parte 3, DIN 52102, 52103, 52105, 52109,

2.1. Uso com Finalidade Estrutural

O concreto do tipo estrutural ou armado é o que contém barras de aço projetadas para que esses materiais resistam aos esforços previstos pelo seu uso. Esses são colocados em formas projetadas.

Os agregados usados para concreto devem atender às propriedades requeridas pela caracterização tecnológica, tais como: conteúdo em minerais duros, compactos, limpos, isento de substâncias que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, durabilidade, ou quando for desejado, os aspectos visuais externos do concreto.

Os agregados não devem conter materiais reativos com os álcalis do cimento, em proporções que possam causar expansão do concreto, exceto nos casos em que o cimento contiver menos de 6% de equivalente alcalino, expresso em Na_2 ou for adicionado aditivos que evitem a sua expansão, prejudicial à reação álcali-agregado.

Agregado (NBR 7225)

Para efeito desta Norma, define-se agregado como o material natural de propriedades adequadas, ou obtido por fragmentação da rocha (pedra), com granulometria menor do que 100 mm e superior a 0,075 mm.

Agregado Miúdo

A areia natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, deverá, para efeito desta norma (NBR-7211), estar abaixo de 4,75 mm ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 1, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR ISO 3310-1.

Para obtenção de uma amostra representativa de um lote de agregado miúdo, a amostragem deverá seguir a NBR 7216.

Areia

Material natural (NBR 7225), de propriedades adequadas, de granulometria inferior a 2,0 mm e superior a 0,075 mm. Esta pode ser classificada em:

Areia grossa: granulometria de 2 a 1,2 mm

Areia média: granulometria de 1,2 a 0,42 mm

Areia fina: granulometria de 0,42 a 0,075 mm

Tabela 1 – Limites granulométricos do agregado miúdo (areia).

Peneiras com abertura em mm (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem em massa retida acumulada na peneira para as diferentes zonas			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona Utilizável	Zona Ótima	Zona Zona Ótima	Zona Utilizável
9,50	0	0	0	0
6,30	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: ABNT NBR 7211:2009

Nota 1: O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

Nota 2: O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

Nota 3: O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

A granulometria é determinada segundo a NBR 7217 e deverá atender os limites de apenas uma das zonas da Tabela 1. Essa Norma estabelece que poderão ser usadas areias com distribuição granulométrica diferente, desde que sejam feitos os ajustes, mediante estudos prévios de dosagem.

O *Módulo de Finura* do agregado miúdo (areia), cuja granulometria cumpre com qualquer uma das zonas indicadas na Tabela 1, não deve variar de mais de 0,2 para material de mesma origem.

Pelo Módulo de Finura, as areias são classificadas em:

Tipos de Areia	Módulo de finura - MF
Grossa	MF > 3,9
Média	(3,9 > MF > 2,4)
Fina	MF < 2,4

Substâncias Nocivas

Os agregados não deverão conter substâncias nocivas acima dos limites estabelecidos pelas normas (ver a seguir), com relação à massa do agregado miúdo:

- torrões de argila e materiais friáveis (ABNT NBR 7218), máximo de 3%;
- materiais carbonosos (ASTM C 123), para concreto aparente, máximo de 0,5 % e concreto não aparente, máximo de 1,0% ;

- material fino < 75 µm obtido por peneiramento a úmido (material pulverulento, ABNT NBR NM 46), para concreto submetido a desgaste superficial, máximo de 3,% e concretos protegidos do desgaste superficial, máximo de 5%;
- impurezas orgânicas (ABNT NBR 7221), máximo de 10%.

Agregado Graúdo

Para obtenção de uma amostra representativa de um lote de agregado graúdo, a amostragem deverá seguir a NBR 7216.

Define-se *Agregado graúdo* como aquele cujos grãos passam numa peneira com abertura de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 4,8 mm, ressalvados os limites estabelecidos na Tabela 3.

A granulometria dos agregados graúdos, determinada pela NBR 7217, deve atender os requisitos indicados na Tabela 2.

Substâncias Nocivas

Os agregados graúdos ou brita devem também atender aos limites impostos pelas normas ABNT e ASTM para:

Torrões de argila e partículas friáveis, determinados segundo a NBR 7218:

- | | |
|--|-----------|
| - em concreto onde a aparência é importante | máximo 1% |
| - em concreto submetido a desgaste superficial | máximo 2% |
| - demais concretos | máximo 3% |
| - Material pulverulento, determinado pela NBR 7219 | máximo 1% |

Materiais carbonosos, determinados pela ASTM C 123:

- | | |
|---|-------------|
| - no caso de concreto onde a aparência é importante | máximo 0,5% |
| - nos demais concretos | máximo 1% |

Forma de Grão (NBR 7809)

Por esta norma, o índice não deve ser superior a 3.

Abrasão Los Angeles (NBR 6465)

Por esta norma, deve ser inferior a 50%.

A norma *NBR 7225*, para materiais de pedra e agregados naturais, apresenta uma classificação mais resumida para a Brita (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação da brita de acordo com as dimensões nominais.

Número	Aberturas de peneiras de malhas quadradas (mm)	
	Mínima	Máxima
1	4,8	12,5
2	12,5	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte NBR 7225

A distribuição granulométrica, determinada segundo a ABNT NBR 248, deve atender aos limites indicados para o agregado graúdo constantes da Tabela 3.

Tabela 3 – Limites granulométricos de agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha em mm (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona Granulométrica d/D ^a				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75	-	-	-	-	0 - 5
63	-	-	-	-	5 - 30
50	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	-	0 - 5	5 - 25 ^b	87 - 100	
19	-	2 - 15 ^b	65 ^b - 95	95 - 100	
12,5	0 - 5	40 ^b - 65 ^b	92 - 100	-	
9,5	2 - 15 ^b	80 ^b - 100	95 - 100	-	
6,3	40 ^b - 65	92 - 100	-	-	
4,75	80 ^b - 100	95 - 100	-	-	
2,36	95-100	-	-	-	

^a Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo
^b Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com b. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites

Fonte: NBR 7211:2009

Segundo Senna e Resende, (2009), os principais usos dos agregados estão sumarizados no Quadro 1.

Quadro 1 – Principais utilizações dos agregados.

Produtos	Usos
Areia artificial e areia natural (4,8 a 0,074 mm)	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, emboço, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pó de pedra (< 4,8 mm)	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamento em geral.
Brita "0" ou pedrisco (4,8 a 9,5 mm)	Massa asfáltica.
Brita 1 (4,8 a 12,5 mm)	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2 (12,5 a 25,0 mm)	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3 (25 a 50 mm)	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4 (50 a 76 mm)	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão ⁽¹⁾ , pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões ³ , muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.
Bica corrida ⁽²⁾ <25 mm	Massa asfáltica, aterro.

Fonte: Kulaif (2001), Sampaio *et al.*, 2001, modificado.

⁽¹⁾Rachão - é o material obtido diretamente do britador primário e que é retido na peneira de 75 mm.

⁽²⁾Bica corrida: conjunto de pedra britada pedrisco e pó de pedra, sem graduação definida, obtido diretamente do britador, sem separação por peneiramento.

⁽³⁾Gabião: muro de contenção feito de pedras arrumadas dentro de uma tela e bastante usado em estradas para evitar erosão.

OUTRAS PROPRIEDADES

Outras propriedades - físicas, químicas/mineralógicas e mecânicas não prescritas nas Normas ABNT, a NBR 7211 recomenda recorrer às Normas DIN, BS, AFNOR, até que a ABNT publique Normas sobre esses assuntos.

2.2. Uso sem Finalidade Estrutural

Neste caso, a mistura denominada do tipo massa, quando essa é lançada no meio envolvente, poderá ser trabalhada ou não.

3. AGREGADOS PARA CONCRETO ASFÁLTICO (BERNUCCI *et al.*, 2008)

Os revestimentos asfálticos também conhecidos por asfalto são produtos obtidos pela compactação de misturas de ligantes asfálticos, agregados minerais e, em alguns casos, de produtos complementares. Quando esses revestimentos são aplicados adequadamente, devem originar estruturas duráveis em sua função de serviço. Para tal, é imprescindível conhecer e selecionar as propriedades que os agregados devem apresentar.

Na engenharia, o desempenho do concreto asfáltico, em obras de pavimentação, é medido em anos ou décadas. Os ensaios de laboratório e a experiência prática devem indicar como o agregado irá se comportar durante sua vida de projeto em um pavimento.

O agregado selecionado para concreto asfáltico deverá apresentar propriedades capazes de suportar tensões impostas na superfície do pavimento e também em seu interior. O desempenho das partículas do agregado depende da forma como foram produzidas, mantidas unidas e das condições que irão atuar. A escolha de um agregado ocorre, a partir de uma caracterização tecnológica em laboratório, onde uma série de ensaios é utilizada para prever o seu comportamento posterior, quando em serviço. Este depende também das propriedades geológicas da rocha: tipo de rocha, sua composição química e mineralógica, sua granulação, grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou a fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície.

Há uma grande variedade de agregados passíveis, a priori, de utilização em revestimentos asfálticos. No entanto, cada uso, em particular, requer agregados com características tecnológicas específicas e isso poderá inviabilizar muitas fontes potenciais. Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes grupos:

- segundo sua natureza;
- tamanho e
- distribuição granulométrica.

Segundo a Natureza

A norma de ensaio do DNER-IE 006/94 dá uma indicação sobre os minerais que poderão conferir às rochas uma tendência maior ou menor ao polimento, quando usadas como agregados para fins rodoviários. Essa norma do DNER descreve uma metodologia petrográfica - microscópica e mineralógica, de materiais rochosos usados em rodovia. No caso da análise microscópica em lâmina delgada, as seguintes características serão obtidas: granulação, textura e estrutura, composição mineralógica, forma de ocorrência e minerais secundários. Outras informações também serão levantadas - tais como o estágio de alteração

dos minerais primários, tipos de microfissuras, densidade, vazios ou poros, natureza dos materiais, sílica amorfa, vidro vulcânico, alumina livre, zeólitas, sulfetos e argilominerais expansivos.

Quanto ao tamanho

Para uso em misturas asfálticas, os agregados são classificados, quanto ao tamanho, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou *filler* (DNIT 031/2004 - ES):

graúdo - é o material com granulometria maior do que 2,0 mm e menor que 12,5 mm. São as britas, cascalhos, seixos etc.;

miúdo - é o material maior que 0,075 mm e menor que 2,0 mm.

São as areias, o pó de pedra etc.;

material de enchimento (filler) - é o material onde pelo menos 65% das partículas são menores que 0,075 mm, exemplo, cal hidratada, cimento.

O tamanho máximo do agregado e sua distribuição granulométrica são controlados por especificações para uma determinada aplicação. Como exemplo, pode ser mencionado que a espessura mínima de execução da camada de asfalto, determina o tamanho máximo a ser usado nessa mistura asfáltica.

Tabela 4 – Métodos de ensaio para determinação de características mecânicas de agregados e valores de aceitação (IPR, 1998).

Métodos de Ensaio	Valores Limite Tentativa
DNER-ME 35/94 - Agregado - determinação da abrasão <i>Los Angeles</i>	LA ≤ 65%
DNER-ME 399/99 - Agregados - determinação da perda ao choque no aparelho Treton	T ≤ 60%
DNER-ME 96/98 - Agregado graúdo - avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos	10% finos ≥ 60 kN
DNER-ME 401/99 - Agregados - determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante - ID _{ML} e sem ligante - ID _M	ID _{ML} com ligante ≤ 5 ID _M sem ligante ≤ 8
DNER-ME 398/99 - Agregados - determinação do índice de degradação após compactação Proctor - IDP	IDP ≤ 6
DNER-ME 397/99 - Agregados - determinação do índice de degradação Washington - IDW	IDW ≥ 30
DNER-ME 197/97 ou NBR 9938 - Agregados - determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos	E ≥ 60

Fonte: Pavimentação asfáltica, Bernucci *et al.* 2008).

Limpeza

Os agregados para pavimento asfáltico devem ser limpos e isentos de vegetação, conchas, grumos de argila. Esta pode ser verificada macroscopicamente, no entanto aconselha-se uma análise granulométrica a úmido.

A norma DNER-ME 054/97 descreve o ensaio de equivalente de areia, no qual se determina a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em agregados miúdos.

Textura Superficial dos Agregados

Esta influi na trabalhabilidade, na adesividade e na resistência ao atrito e ao cisalhamento das misturas asfálticas para pavimentação. Quando o agregado apresenta uma maior rugosidade, há perda na trabalhabilidade da mistura asfáltica e aumento na resistência ao cisalhamento dessa mistura. A rigor, não há uma metodologia consagrada para se medir a textura superficial dos agregados.

Forma das Partículas dos Agregados

Esta influi na trabalhabilidade e resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas e influencia na energia de compactação requerida para se alcançar determinada densidade. No caso de partículas irregulares ou com forma angular, tal como pedra britada, cascalhos e algumas areias de brita propiciam melhor Inter travamento entre os grãos compactados, que será maior, no caso de partículas cúbicas e mais afiladas suas arestas. O índice de forma das partículas (f) é determinado pela norma DNER-ME e varia de 0,0 a 1,0. É aceito o limite mínimo de 0,5 e quando cúbico, o fator de forma (f) = 1,0.

Adesividade ao Ligante Asfáltico (DNER -ME 078/94)

Agregados que tem afinidade pela água, ou seja, que são hidrófilos podem se tornar inaceitáveis para misturas asfálticas, pois a água tende a descolar o ligante asfáltico da superfície do agregado. Segundo a literatura, agregados silicosos como o quartzito e alguns granitos, são citados como exemplos que merecem atenção quanto à sua adesividade ao ligante asfáltico. O que é requerido para os agregados para misturas asfálticas é que estes sejam hidrófobos, ou seja, não molháveis pela água ou oleofílicos.

Sanidade

Os agregados precisam apresentar resistência à desagregação química quando são expostos às condições ambientais do pavimento. Esta resistência é medida pelo método DNER-ME 089/94, que consiste em atacar o agregado com uma solução de sulfato de sódio ou de magnésio, seguidos de secagem em estufa. A perda de massa não pode ser maior do que 12%.

Propriedades de Consenso

São aquelas que propiciam um bom desempenho dos revestimentos asfálticos:

- angularidade do agregado graúdo;
- angularidade do agregado miúdo;
- partículas alongadas e achatadas; e
- teor de argila.

4. AGREGADOS PARA CONCRETOS POLIMÉRICOS

O concreto polimérico é um material relativamente novo e de alto desempenho. Esse é formado por uma mistura de agregados usando um polímero como único aglomerante. A sua elevada resistência mecânica, química e durabilidade contribuem para minimizar a necessidade de manutenção e incidência de patologia. Uma característica do concreto polimérico é a sua rápida cura, o que torna esse material adequado para pré-moldados, revestimentos e reparos estruturais. No entanto, a principal característica do concreto polimérico é a substituição do aglomerante cimento por aglomerante polimérico (GORNINSKI, J. P.; KAZMIERCZACK, 2008; METHA & MONTEIRO, 1994).

Nos Estados Unidos da América, as aplicações do concreto polimérico estão voltadas para os revestimentos de pavimentação de pontes e de elementos estruturais de indústrias petroquímicas.

No Brasil, o concreto polimérico tem sido pouco usado, apesar da necessidade do uso de materiais mais duráveis, de maior resistência mecânica e química. O seu custo mais elevado e o pouco conhecimento de suas propriedades talvez tenham contribuído para o seu pouco uso.

Visto que o polímero é o item mais caro do concreto polimérico, é da maior importância usar uma massa seca de agregado a mais compactada possível. Neste caso, recomenda-se usar uma brita de granulometria máxima de 19 mm combinada com diferentes frações de areia, de forma a minimizar os espaços vazios na massa do agregado, reduzindo, assim, a quantidade do polímero requerida para a preparação do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Segundo ainda esses mesmos autores, dependendo dos materiais empregados, os concretos poliméricos podem desenvolver resistências à compressão da ordem de 140 Mpa (acima de 60 Mpa já pode ser considerado de alta resistência) sendo recomendado para concretagem de emergência em minas, túneis e autoestradas.

5. LASTRO DE FERROVIA (NBR 5564)

Esta norma estabelece as condições requeridas para lastro padrão (LP) para via férrea. Poderá também ser usada para outro tipo de lastro de pedra, quando for aplicável ou na falta de especificações próprias.

O lastro padrão de ferrovia é um agregado constituído por fragmentos resultantes da britagem de rocha dura e sã, com características petrográficas requeridas para lastro de ferrovia.

Quando da aplicação dessa norma NBR 5564, recomenda-se consultar as Normas NBR 5734 6465, 6953, 6954, 6490, 6502, 7217, 7218, 7219, 7225, 7389, 7390, 7418, 7641, 7702, 7914, 8487, 8697, 8938, 19000.

As principais rochas usadas para lastro de ferrovia são granito, diorito, quartzito, basalto, gnaiss, calcário silicoso, arenito duro, dentre outros.

Os fragmentos de rochas devem ser homogêneos, duros, limpos, duráveis etc.

A escolha pelo tipo de rocha depende da sua disponibilidade e proximidade da frente de construção da via férrea.

As *Propriedades Físicas* requeridas para Lastro de Ferrovia são:

Massa específica aparente mínima	2,4 g/cm ³
Absorção d'água	1,0%
Porosidade aparente máxima	1,0%
Resistência ao desgaste-abrasão <i>Los Angeles</i> máxima	40,0%
Resistência ao choque Trenton máximo	20,0%
Formato da partícula	cúbica

Granulometria

O agregado para Lastro Ferroviário deverá apresentar a seguinte distribuição granulométrica (Tabela 5).

Tabela 5 – Distribuição granulométrica de Lastro Padrão.

Abertura da malha da peneira (mm) NBR 5734		% em peso acumulada	
		Padrão A	Padrão B
1	1	2	3
	76,2	-	0 - 0
2	63,5	0 - 0	0 - 10
3	50,8	0 - 10	-
4	38,0	30 - 65	40 - 75
5	25,4	85 - 100	-
6	19,0	-	90 - 100
7	12,0	95 - 100	95 - 100

Fonte: NBR 5564

6. ATERRO (WEGNER E DAVIS, 2010)

Do ponto de vista de construção, aterro pode ser definido como todos os solos e materiais rochosos (agregados) usados no preenchimento de áreas escavadas, corte de estradas e superfícies naturais.

Do nosso conhecimento, não existem ainda, no País, os procedimentos de normalização para caracterizar os agregados para uso como aterro. Este termo nem se quer é definido na Norma de terminologia dos agregados (NBR 9935).

Segundo a ASTM, todos os materiais usados como aterro devem ser avaliados segundo testes específicos recomendados para sua caracterização tecnológica:

- determinação de densidade pelo método do cone de areia (ASTM D1556);
- teste de compactação: equipamento vibratório para solos granulares e não vibratório tipo pé de carneiro, para solos argilosos;
- tipo de material e granulometria - o aterro não deve conter material com granulometria acima de 75 mm, nos primeiros 60 cm da parte superior da sub-base;
- aterro para profundidades superiores a 60 cm, abaixo da sub-base, pode conter material acima de 75 mm;
- carvão ou madeira parcialmente queimada não dever ser usado em aterro;
- solo expansivo - não deve ser usado material com índice de plasticidade > 15;
- o agregado usado como aterro não deve conter matéria orgânica, dever ter uma granulometria abaixo de 75 mm, ser predominantemente granular, e ter um índice de plasticidade menor do que 15.

Aterro para Rodovia (NBR 11805/7682)

A norma NBR 11805 estabelece as condições requeridas para os materiais utilizados na execução de camadas de sub-base ou base de pavimentos com solo brita.

Na aplicação desta norma (NBR 11805) é necessário consultar: NBR 6465, 7181, 7809, 9895, 11170, 1253 e ASTM C 88.

A norma NBR 7682 fixa as condições e características que devem ter a pedra britada graduada e o solo para serem empregados em base macadame. Esta é formada por uma ou várias camadas superpostas de pedra britada

graduada, comprimidas separadamente até que seja alcançado a completa entrosagem de seus fragmentos e pela posterior colmatagem por compressão dos vazios da cada camada, com material de enchimento, constituído de solo.

Na aplicação da NBR 7682 é necessário consultar as normas:

NBR 6490 - Reconhecimento e amostragem para fins de caracterização de ocorrências de rochas - Procedimentos;

NBR 6502 - Rochas e solos- terminologia;

NBR 7216 - Amostragem de agregado - método de ensaio;

NBR 7225 - Materiais de pedra de agregados naturais - terminologia.

Bases e sub-bases são constituídas por materiais estabilizados granulometricamente.

Os 15 cm de material sob a seção do agregado base deve ser definida como a seção sub-base. A base e sub-base devem ter uma compactação de no mínimo 95%.

A pedra britada deve ser de rocha não alterada e não deve conter em excesso:

- fragmentos alongados, conchoidais, lamelares, quadráticos, arredondados e defeituosos;
- fragmentos moles;
- substâncias nocivas e impurezas.

7. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS EM PAVIMENTOS (NORMA DNER-ES 308/97; DNER ES 309/97)

Estas normas do DNIT (revisadas em 2009) definem a sistemática que deverá ser empregada na execução de revestimento betuminoso, do tipo tratamento superficial simples e duplo, sobre uma superfície imprimada, ou pintada, de acordo com os alinhamentos greide e seções transversais do projeto.

Na aplicação dessas normas, deverão ser consultadas as normas referenciadas do DNIT, DNER e ABNT.

Tratamento superficial simples - TSS é a camada de revestimento do pavimento constituída de uma aplicação de ligante betuminoso coberta por uma camada de agregado mineral, submetida a compressão.

Os materiais requeridos para o tratamento superficial simples são o ligante betuminoso e o agregado mineral, os quais devem atender às normas do DNER, DNIT e DER/PR.

Adesividade: Não havendo boa adesividade entre agregado e o ligante betuminoso, deverá ser empregado um melhorador de adesividade, de acordo com a quantidade estabelecida no projeto.

Agregados

Estes podem ser brita, escória, cascalho ou seixo rolado. Devem ser constituídos de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e substâncias nocivas. Os agregados deverão apresentar as seguintes características tecnológicas:

- desgaste *Los Angeles* igual ou inferior a 40% (DNER-ME 035/98);
- índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086/94);
- durabilidade, perda inferior a 12% (DNER ME 089/94);
- granulometria do agregado (DNER-ES308/97), de acordo com a tabela 6.

Tratamento superficial duplo - TSD é a camada de revestimento do pavimento constituída por duas aplicações sucessivas de ligantes betuminosos, cobertas cada uma, por camada de agregado mineral, submetida a compressão.

Agregados

Estes são também constituídos por brita, escória, cascalho ou seixo rolado. O agregado deve ser constituído por partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e substâncias nocivas. Deverá apresentar as seguintes características tecnológicas:

- desgaste *Los Angeles* igual a 40%;
- índice de forma superior a 0,5 (DNER ME 086/94);
- durabilidade, perda inferior a 12% (DNER ME 89/94);
- o agregado (DNER-ES309/97) deve apresentar a distribuição granulométrica da Tabela 7.

Tabela 6 – Granulometria dos agregados para Tratamento Superficial Simples.

Peneiras		% Peso (passante)		Tolerância da faixa do projeto
Polegada	mm	Faixa A	Faixa B	
1"	25,4	-	-	±7
3/4"	19,1	-	-	±7
1/2"	12,7	100	-	±7
3/8"	9,5	85-100	100	±7
Nº 4	4,8	10-30	85-100	±5
Nº 10	2,0	0-10	10-40	±5
Nº 200	0,074	0-2	0-2	±2

Fonte: Norma DNER-ES 308/97

Tabela 7 – Granulometria dos Agregados para Tratamento Superficial Duplo.

Peneira		% Peso (passante)			Tolerância de faixa de projeto
Polegada	mm	A 1ª camada	B 1ª ou 2ª camada	C 2ª camada	
1"	25,4	100	-	-	±7
3/4 "	19,1	90-100	-	-	±7
1/2 "	12,7	20-55	100	-	±7
3/8 "	9,5	0-15	85-100	100	±7
Nº 4	4,8	0-5	10-30	85-100	±5
Nº 10	2,0	-	0-10	10-40	±5
Nº 200	0,074	0-2	0-2	0-2	±2

Fonte: Norma DNER – ES 309/97

Nota: a faixa B pode ser empregada como 1ª ou 2ª camada.

8. DRENAGEM E FILTROS

O projeto de filtros e drenos é da maior importância para a segurança e economia de muitas obras de engenharia, em particular daquelas expostas aos efeitos da água sobre os materiais de apoio e das estruturas.

A drenagem é o processo pelo qual a infiltração ou o movimento das águas subterrâneas é removido dos solos ou maciços rochosos, por meios naturais ou artificiais. Os problemas advindos da drenagem são solucionados aplicando-se os princípios básicos da filtração.

Os filtros têm como objetivo proteger os materiais passíveis de erosão pela ação das águas e por outro lado, os drenos tem que garantir a capacidade de descarga adequada.

Os agregados empregados para filtros e drenos devem ter uma granulometria adequada e que o seu manuseio e colocação na obra devem evitar contaminação e segregação.

A primeira exigência que os filtros e drenos têm que atender, diz respeito à sua capacidade de evitar erosão e colmatação. A seguir vem a sua capacidade de descarga para dar vazão, adequadamente, dos fluxos de água a drenar, sem induzir forças de filtração ou pressões intersticiais hidrostáticas. O método usual para projetar os drenos e filtros é o que se refere à capacidade de descarga, tendo por base a lei de Darcy e os métodos de malhas de filtração.

O volume total de agregados usados como meio filtrante é relativamente pequeno, no entanto esses exercem um papel muito importante em vários projetos (Smith e Collis, 2001).

Os três principais usos do agregado como meio filtrante são:

- filtração de água;
- tratamento de efluentes;
- drenagem para camadas de solo e de outras estruturas da engenharia civil.

Os agregados usados como meio filtrante são constituídos de: areia, cascalho ou rocha britada. Sabe-se que os materiais usados como filtro para água e trabalhos de tratamento de efluentes são usados, de uma maneira geral, em pequenas quantidades. Por essa razão, devido a elevada qualidade do agregado, nem sempre este está disponível no mercado. Normalmente esse é produzido por encomenda, devido às especificidades do produto.

No caso dos agregados para usar como camadas de drenagem em maciços de barragem são projetados para fazer o melhor uso dos materiais naturais disponíveis, pelo menor custo.

As principais propriedades de um agregado para uso como filtro, de forma a garantir permeabilidade, facilidade de construção, estabilidade e durabilidade são:

- tamanho das partículas;
- classificação granulométrica;
- resistência a abrasão;
- durabilidade.

Tratamento de Água Através de Filtro de Areia

Existem, principalmente, dois tipos de filtro de areia:

- filtros caracterizados por uma baixa taxa de filtração e no caso usam areia de granulometria fina, necessitando de limpeza não frequente;
- filtros rápidos usando areia mais grossa, operando a taxas mais elevadas de filtração e necessitando de limpeza frequente.

Areia para Camada de Filtro

Esta deve ser constituída por minerais duros, resistente a abrasão e livre de contaminantes. Não deverá perder mais de 20% em peso, após imersão numa solução de HCl a 20%, durante 24 h, numa temperatura a 20°C. Poderão ser usadas areias com formato arredondado ou angular, mas não deve ser lamelar. Os filtros de areia poderão ser obtidos de depósitos de areia, por meio de peneiramento, no entanto poderão também ser obtidos a partir da cominuição de rochas constituídas principalmente de quartzo (quartzitos) seguido de classificação em peneira, para adequar à granulometria requerida para o produto (SMITH & COLLIS, 2001).

Cascalho para Filtro

O uso do cascalho ou camadas de material grosso em um sistema de filtro tem funções diversas. Este serve como suporte da areia, permitindo a água filtrada se mover livremente na direção das camadas inferiores de drenagem, contribuindo, assim, para que se tenha um fluxo uniforme.

Filtros para Estruturas de Engenharia Civil

Os filtros denominados de *filtros de alívio* para estruturas de engenharia civil são constituídos, usualmente, de uma ou mais camadas de areia de drenagem livre e/ou material de cascalho ou pedregulho colocado sobre ou no interior do solo menos permeável (pérvio), para remover a água de infiltração e com isso evitar a erosão do solo ou danificar as estruturas de cobertura a partir de pressão ascendente (uplift). O solo que deve ser protegido pelo filtro é normalmente denominado de base ou material de base.

Os filtros podem ser constituídos de uma só camada ou de várias camadas, cada uma com uma distribuição granulométrica diferente e neste caso são conhecidas como zona de filtragem. No caso de estruturas de engenharia de maciço de barragem, é comum projetar camadas de filtro, considerando a disponibilidade de material natural próximo da obra, visando a redução de custos.

Especificações de Agregados para Filtros em Estruturas de Engenharia

Com relação aos critérios adotados para as especificações de agregados para filtros, particularmente para estruturas de engenharia civil, há poucas publicações. No entanto, as seguintes recomendações podem ser seguidas: os agregados para filtro devem conter materiais duros, duráveis, limpos e não devem conter materiais deletérios em quantidade suficiente para afetar, de maneira adversa, a operação do filtro ou a sua longevidade. Como materiais deletérios são citados: argila, partículas lamelares ou alongadas muito porosas, ou materiais facilmente solúveis. Neste contexto são recomendadas as seguintes especificações:

- densidade relativa maior do que 2,5;
- absorção de água menor do que 3%;
- valor de impacto do agregado abaixo de 30 ou valor de britagem do agregado menor do que 30;
- índice de lamelaridade e comprimento < 30;
- abrasão *Los Angeles* < 40;
- valor de sanidade em sulfato de magnésio < 12 % de perda; e
- granulometria –testar de acordo com as especificações de projeto.

9. PROTEÇÃO E CONTENÇÃO DE TALUDES (ENROCAMENTO) (FRAZÃO, 2007)

Consiste no uso de blocos ou fragmentos de rocha em granulometrias pré-estabelecidas, sem o uso de ligantes, visando:

- proteger, contra a erosão, taludes de maciço de barragens de terra, base e pilares de pontes, taludes de estrada de terra compactada, taludes de encosta, quebra-mar em estuário etc;
- funcionar, provisoriamente como barragem, na etapa de construção de barragens;
- servir como corpo de transição, de forma a evitar a remoção de partículas do aterro de terra compactada.

Para atender a essas funções, o agregado deve apresentar as seguintes características:

- elevada durabilidade, de forma a não se degradar frente aos ciclos de saturação e secagem resultantes da variação do nível da água nas barragens, com as mudanças climáticas;
- elevada resistência mecânica, de forma a suportar as solicitações de compressão, impacto, cisalhamento e desgaste no processo construtivo e em serviço;
- os fragmentos de rocha do agregado devem ser equigranulares, conferindo estabilidade estrutural e índices de vazios adequados às funções desejadas.

10. CONTROLE DE EROSIÃO (LOEMCO, 2003)

A erosão é considerada como um processo geológico cujo ciclo é constituído pela própria erosão, transporte e sedimentação, derivados das condições climáticas, das características petrográficas e mineralógicas do solo, dentre outros.

Deve também ser considerado o fator antropogênico, com a interferência do homem no meio ambiente, quebrando o equilíbrio natural e contribuindo para acelerar o processo erosivo. As principais intervenções do homem que terminam por influenciar o processo de erosão são:

- urbanização do solo, diminuindo sua capacidade de filtração e aumentando o volume de água na superfície;
- desmatamento das florestas e perda da cobertura vegetal;
- super-exploração agrícola com perda da matéria orgânica de cobertura.

As medidas corretivas para controlar a erosão são muito variadas, no entanto as mais eficazes são:

- reflorestamento;
- lagoas de retenção de sedimentos;
- colocação de diques;
- plantações.

De uma maneira geral, os elementos para evitar ou corrigir a erosão devem levar em consideração cada caso particular, atendendo as exigências ambientais e estéticas relacionadas com a obra a proteger.

Controlar a erosão nas pilastras de pontes é da maior importância, de forma a garantir a segurança da estrutura. Esse controle pode ser realizado por:

- cimentar abaixo da cota de máxima erosão;
- fazer uma proteção com manto de cascalho.

11. COMPONENTE DE ARGAMASSA PARA ALVENARIA E REVESTIMENTO

O saibro é resultante da segregação de rochas e tem a aparência de terra barrosa, basicamente argila. É um material proveniente de solos que não sejam muito arenosos e nem muito argilosos.

O saibro é usado como componente de argamassa para alvenaria e revestimento.

12. CONTROLE DE QUALIDADE

O controle de qualidade dos agregados deve ser feito, através da realização de ensaios tecnológicos em laboratórios especializados em agregados, utilizando, no caso brasileiro, as Normas ABNT de caracterização tecnológica e especificações. Poderão, por exemplo, serem usados os limites mínimos e máximos das especificações requeridas, para os agregados (FRAZÃO, 2007).

Não basta apenas recorrer às Normas Brasileiras ou outras como ASTM, DIN, AFNOR, mas é aconselhável a realização de laudos técnicos por especialistas no assunto.

No Brasil não existem, do nosso conhecimento, laboratórios acreditados para realizar a caracterização tecnológica dos agregados da construção civil, o que seria desejável, pelo menos, para grandes obras de construção civil tais como barragens para geração de energia, pontes, edifícios etc.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNUCCI, L. B.; Motta, L. M. G.; Ceratti, J. A. P.; Soares, J. B.(2008). Agregados. In: Pavimentação Asfáltica, p. 115-156 BR-Petrobrás e Associação Brasileira das Empresas distribuidoras de Asfalto, Rio de Janeiro, 2008.
- GORNINSKI, J. P.; KAZMIERCZACK, 2008); Avaliação da resistência química de concretos poliméricos em ambientes agressivos. Ambiente Construído, Porto Alegre, vol. 8, nº1, p. 105-113, jan/mar, 2008.
- KULAIF, YARA. Análise dos mercados de matérias primas minerais: estudo de caso da indústria de pedras britadas do estado de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LA SENNA, H. A.; RESENDE, M. M. (2009). Agregados para a Construção Civil, Sumário Mineral/DNPM, p. 602-635.
- LOEMCO, 2003. LOEMCO - Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción (2003). Aridos: Maual de Prospeccion, Explotacion y Aplicaciones; Capítulo 15 - Propriedades Básicas de Los Áridos, p. 343-357; Capítulo 17-Áridos para Drenaje, Filtración y Control de La Erosión, p. 393-404; López Jimeno (Editor), Escuela Técnica Superior de Igenieros de Minas da Universidad Politécnica de Madrid, 2003.
- M. R. SMITH and COLLIS, (2001). Aggregates for use in filter media. In: Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purpose -, p. 291-298, Published by the Geological Society, 3th Edition, London, 2001.
- METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M (1994). Avanços em Tecnologia do Concreto. In: Concreto-Estruturas, Propriedades e Materiais, P. Kumar Mehta e P. J. M, Monteiro (editores/autores), Capítulo 11, p. 385-474, 1994.
- SAMPAIO, J. A.; CARVALHO, E. A.; PIQUET, B. Brita Pedreira Vigné. In: Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil, p. 385-392, João Sampaio, Eduardo Carvalho e Bernardo Piquet (Editores), CETEM, 2001.
- WEGNER, D.; DAVIS, TIM (2010). Earthwork Standards. In: www.coconino.az.gov (22/08/2010).