

# Capítulo I Agregados

## 1. Introdução

A NBR 9935 (ABNT, 1987) define agregado como o material granular pétreo, sem forma ou volume definido, a maioria das vezes quimicamente inerte, obtido por fragmentação natural ou artificial, com dimensões e propriedades adequadas a serem empregados em obras de engenharia.

Os agregados são produzidos a partir de britagem de maciços rochosos (pedra britada, pó de pedra) ou da exploração de ocorrências de material particulado natural (areia, seixo rolado ou pedregulho).

A principal aplicação dos agregados é na fabricação de concretos e argamassas onde, em conjunto com um aglomerante (pasta de cimento portland / água), constituem uma rocha artificial, com diversas utilidades em engenharia de construção, cuja principal aplicação é compor os diversos elementos estruturais de concreto armado (lajes, vigas, pilares, sapatas, etc).

Além do uso em concreto e argamassas, os agregados apresentam outras aplicações no campo da engenharia, tais como: base de estradas de rodagem, lastro de vias férreas, elemento filtrante, jateamento para pintura, paisagismo, etc.

Segundo BAUER (1979), o estudo dos agregados deve ser considerado imprescindível em um curso de tecnologia do concreto, tendo em vista que de 70 a 80% do volume do concreto é constituído pelos agregados, bem como é o material menos homogêneo com que se lida na fabricação do concreto e das argamassas.

A principal aplicação dos agregados, seja a areia ou a pedra, na fabricação do concreto é de natureza econômica, tendo em vista tratarem-se materiais de baixo custo unitário, inferior ao do cimento. No entanto, os agregados possibilitam que algumas outras propriedades da rocha artificial a ser formada apresentem melhor performance, tais como: redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo.

## 2. A atividade mineradora

### 2.1. O mercado de agregados

No Brasil o segmento econômico da construção civil é responsável por 14,8% do PIB, representando um importante setor da economia no país. Entretanto, a indústria da construção civil é a responsável por 14 a 50% do consumo dos recursos naturais consumidos pela sociedade em todo planeta (SILVA FILHO et al., 2002).

O consumo de agregados pode ser considerado como um bom indicador do nível de desenvolvimento econômico e social de um povo. Os Estados Unidos consomem anualmente 7,5 toneladas de agregado por habitante para uso na construção civil, a União Européia, de 5 a 8 t/hab/ano, enquanto que, no Brasil, o consumo está pouco acima de 2 t/hab/ano. O consumo do Estado de São Paulo, o mais desenvolvido do país, chega a 4,5 t/hab/ano, enquanto em regiões metropolitanas nordestinas não chega a 2 t/hab/ano (VALVERDE, 2001).

Os agregados são considerados produtos básicos para a indústria da construção civil, apresentando, quando utilizado para confecção de concreto, consumo médio, por m<sup>3</sup>, de 42% de agregado graúdo, 40% de agregado miúdo, 10% de cimento, 7% de água e 0-1% de aditivos. Como se observa, cerca de 80% do concreto é constituído de agregados, decorrendo daí a importância do uso de agregados com especificações técnicas adequadas e custo competitivo, que permita a obtenção de um concreto a preço competitivo, com característica

técnica de resistência e durabilidade, capaz de concorrer com os outros materiais de natureza estrutural utilizados na construção civil.

A produção de areia e pedra britada caracteriza-se pelo baixo valor unitário e pela produção de grandes volumes. O transporte corresponde à cerca de 67% do custo final do produto, o que impõe a necessidade de ser produzido o mais próximo possível do mercado consumidor. Em regiões metropolitanas, como as de São Paulo e Rio de Janeiro, quase toda a areia consumida pela construção civil está sujeita a transporte por distâncias de cerca de 100 km.

A indústria da construção civil no Brasil consumiu, em 2001, 399 milhões de toneladas de agregados, sendo 163 milhões de toneladas de pedra britada e 236 milhões de toneladas de areia. O Estado de São Paulo responde por cerca de 30% da produção nacional de pedra britada, enquanto outros grandes estados produtores são Minas Gerais (12%), Rio de Janeiro (9%), Paraná (7%), Rio Grande do Sul (6%) e Santa Catarina (4%). Destacam-se como principais pólos produtores de areia as regiões do Vale do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, Seropédica e Itaguaí, no Rio de Janeiro, os rios Guaíba, Caí e Jacuí, no Rio Grande do Sul, o vale do rio Itajaí, em Santa Catarina e a várzea do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba (VALVERDE, 2002).

## 2.2. Problemas ambientais

Segundo SILVA FILHO et al. (2002), o concreto é um dos materiais de construção mais utilizada pelo homem, sendo que mais de 70% é constituído por agregados, o que torna relevante a preocupação com a extração de agregados naturais. JONH (2000) comenta que cerca de 210 milhões de toneladas de agregados são consumidos anualmente no Brasil, somente na produção de concretos e argamassas.

A extração de areia e pedra britada para uso na construção civil constitui uma atividade mineradora, e como acontece, normalmente, com toda atividade de mineração, trata-se de empreendimento exploratório que degrada o meio ambiente. No entanto, se não houver areia e brita a indústria da construção civil torna-se inviável, constituindo grave problema econômico e social, já que se trata de grande empregadora de mão de obra e o déficit habitacional tenderia a aumentar com o aumento populacional. Logo há que se ter bom senso e fiscalização dos órgãos competentes (IBAMA<sup>1</sup>, DNPM<sup>2</sup>, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente, etc).

Os principais impactos ambientais causados pela extração mineral de agregados são:

- alteração da paisagem;
- supressão da vegetação, principalmente da mata ciliar;
- alteração na calha dos cursos d'água;
- instabilidade de margens e taludes;
- turbidez da água;
- lançamento de efluentes.

---

<sup>1</sup> IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ministério do Meio Ambiente.

<sup>2</sup> DNPM – Departamento Nacional de Pesquisa Mineral - Ministério das Minas e Energia

### **2.3. Processos de extração e produção**

A atividade de mineração ligada à construção civil concentra-se, sobretudo, na extração de areia e brita utilizada como agregado para a fabricação de concreto, de argilas com aplicação na indústria de cerâmica e de rochas calcárias utilizadas na indústria cimenteira.

As principais rochas utilizadas para a produção de pedra britada são: granito e gnais (85%), calcário e dolomito (10%) e basalto e diabásio (5%). A areia é a substância mineral proveniente da decomposição de rochas, principalmente graníticas, compondo-se de grãos arredondados de quartzo, podendo conter ainda, em diversas proporções, grãos de outros minerais (feldspato, mica, etc).

#### **2.3.1. Pedra**

A pedra, para uso como agregado graúdo em construção civil, pode ser classificada como natural (pedregulho ou seixo rolado, cascalho) e artificial (pedra britada, argila expandida, escória, etc).

Neste item do trabalho é descrita a obtenção da pedra britada, por ser o agregado graúdo de uso mais difundido para a confecção do concreto.

A pedra britada é obtida em uma unidade industrial / mineradora chamada pedreira, onde ocorre a desintegração, por explosão controlada, da rocha que dá origem à brita (granito, gnais, basalto, etc). Após a detonação da rocha matriz, grandes matacões são transportados para serem triturados em equipamento chamado britador (razão do nome pedra britada). Por fim, a brita é passada em peneiras onde é classificada de acordo com sua granulometria (brita 1, 2, 3, etc). A figura 1 mostra uma pedreira produtora de brita com suas diversas etapas de produção.

#### **2.3.2. Areia**

A areia, usada como agregado miúdo para emprego em argamassas e concretos, pode ser classificada como natural (rios, minas, várzeas) e artificial (resíduo fino de pedreiras – pó de pedra).

A areia é extraída em unidades de mineração chamadas de areais ou portos de areia, podendo ser extraída do leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos (minas) ou de dunas. A maior parte da areia produzida no Brasil é de leito de rios ou extraída de minas, com formação de cavas inundadas pelo lençol freático. A areia juntamente com a água é bombeada para silos suspensos, ou então, acumulada no terreno, para posteriormente ser embarcada em caminhões basculantes com destino ao distribuidor ou ao consumidor final.

A figura 2 mostra o sistema de mineração de areia.



(explosão)



(transporte de matacões)



(britagem)



(classificação)

Figura 1 - Pedreira produtora de brita.



(drega/moto-bomba)



(silo de areia)



(barça de areia)



(barça de areia)



(areal)

Figura 2 – Mineração de areia.

### 3. Classificação tecnológica do agregado

Os agregados para uso em argamassa e concreto têm diversas classificações, as quais são apresentadas a seguir.

#### 3.1. Classificação quanto à origem

Quanto à origem os agregados são classificados como natural ou artificial. O natural é aquele que é encontrado na natureza em estado de ser utilizado ou que necessita de pequeno processamento. Como exemplos, pode-se citar a areia lavada e o seixo rolado (pedregulho) extraído de rios, areia de mina (cava), areia de duna, areia de barranco, jazida de solo pedregulhoso, escória vulcânica, pedra pome, etc. O agregado artificial é aquele que após sua extração da natureza sofre um processo de industrialização com objetivo de atingir propriedade específica (granulometria, por exemplo). Pode-se citar como agregados artificiais a pedra britada, pó de pedra (areia artificial), vermiculita, pérolas de isopor, cinzas volantes, argila expandida, escória de alto forno, etc.

Os agregados mais usados para fabricação de concreto e argamassa são as areias naturais quartzosas, principalmente a areia lavada proveniente de portos de areia (areais), e a pedra britada proveniente de pedreiras. O seixo rolado, a argila expandida e o pó de pedra (areia artificial) apresentam propriedades mecânicas que permitem sua utilização como agregados de concreto estrutural. No entanto, outros agregados citados não podem ser usados em função estrutural, dando porém, características especiais aos concretos e argamassas, como por exemplo, a vermiculita ou pérolas de isopor que conferem leveza e baixa condutibilidade térmica ao material.

Merece comentário especial a utilização crescente de finos de britagem no concreto estrutural, face ao crescimento do consumo de areia natural, às restrições ambientais, à exaustão de reservas próximas aos grandes centros consumidores e ao incremento dos custos de transportes. O resíduo fino oriundo de pedreiras, chamado pó de pedra, apresenta uma granulometria que compromete o custo, a trabalhabilidade e a resistência do concreto, devido a necessidade de grande adição de água à mistura. Pesquisas estão sendo feitas com o objetivo de reduzir a quantidade de material pulverulento, resultando no desenvolvimento de sistemas de lavagem e classificação que permitam o aparecimento da “areia brita”.

A areia brita apresenta conteúdo de material pulverulento menor que o encontrado no pó de pedra e granulometria média estável e, desde que misturado às areias naturais, mostra desempenho interessante quanto ao consumo de cimento. A razão da necessidade da adição de areia natural à mistura, deve-se à forma angulosa da areia artificial produzida, o que dificulta a trabalhabilidade do concreto empregado. O uso de areia artificial com adição de areia natural é hoje técnica bastante difundida entre as empresas concreteiras (TERRA, 2003).

#### 3.2. Classificação quanto à massa específica

Os agregados classificam-se em leves, normais ou pesados conforme sua massa específica aparente ( $\gamma$ ) fique dentro dos seguintes limites:

- leves –  $\gamma < 1000 \text{ kg/m}^3$ , por exemplo vermiculita, pérolas de isopor, argila expandida, pedra pome, etc;
- normais –  $1000 \text{ kg/m}^3 < \gamma < 2000 \text{ kg/m}^3$ , por exemplo, areia quartzosa, brita e seixos rolados graníticos;
- pesados –  $\gamma > 2000 \text{ kg/m}^3$ , por exemplo, brita de barita e magnetita.

Como cerca de 70 a 80% do volume do concreto é constituído pelos agregados, esta propriedade permite que sejam fabricados concretos com diversas aplicações, conforme sua massa específica seja maior ou menor. O concreto normal de uso estrutural, confeccionado com areia lavada quartzosa e brita de granito, possui massa específica da ordem de 2200 a 2500 kg/m<sup>3</sup>, conforme se trate de concreto simples ou concreto armado. O concreto e a argamassa leve, com massa específica inferior a 2000 kg/m<sup>3</sup>, normalmente, não têm aplicação estrutural<sup>3</sup>, sendo usado no entanto para redução de cargas permanentes e isolamento térmico e acústico. Os concretos pesados são usados em condições especiais, possuindo massa específica superior a 2500 kg/m<sup>3</sup>, em estruturas que necessitam de alto grau de isolamento tais como: edifícios de contenção de reator nuclear e escudo biológico.

### 3.3. Classificação quanto à composição mineralógica

O conhecimento da natureza dos agregados é de fundamental importância para a fabricação de concretos e argamassas. Os agregados são, com frequência, considerados inertes, embora em alguns casos possuam características *físico-químicas* (modificação de volume por variação de umidade) e *químicas* (reação com os álcalis do cimento) que influem diretamente na qualidade final das argamassas e concretos produzidos. Por exemplo, quando do emprego de rocha calcárea e de escória de alto forno como agregado, podem ocorrer reações químicas expansivas entre o agregado e o cimento, principalmente em meio úmido, devido à reação entre álcalis do cimento e a sílica não cristalizada do agregado, bem como, a reação dos álcalis do cimento com o carbonato de magnésio de certos calcários dolomíticos.

Em relação à composição mineralógica, os agregados podem ser provenientes da decomposição de três tipos de rochas:

- Ígneas: São as rochas que se formaram pelo resfriamento e endurecimento de minerais em estado de fusão. Podem apresentar estrutura cristalina ou ser amorfas, de acordo com a velocidade de resfriamento. Resultantes de atividades vulcânicas, são também conhecidas como rochas *magmáticas*. Seu componente principal é a sílica. Quimicamente, são as mais ativas. Por exemplo: granito, basalto e pedra-pomes;
- Sedimentares: São as rochas estratificadas em camadas, que se originaram da fragmentação de outras rochas. Por exemplo: calcário, areia, cascalho, arenito e argila;
- Metamórficas: São as rochas que se originaram da ação de altas temperaturas e fortes pressões sobre rochas profundas, sem que ocorresse fusão do material original. São, portanto, resultantes da metamorfose de rochas ígneas ou de rochas sedimentares. Por exemplo: gnais, mármore, ardósia e pedra-sabão.

### 3.4. Classificação quanto à dimensão dos grãos

O agregado é chamado de graúdo quando pelo menos 95% de sua massa é retida na peneira de malha 4,8 mm e passa na peneira 152 mm, conforme definido na NBR-7211 (ABNT, 1982). A tabela 1 apresenta a classificação dos agregados graúdos conforme apresentado na NBR-7211 e na NBR-7225 (ABNT, 1982), bem como a classificação comercial comumente utilizada pelas pedreiras.

---

<sup>3</sup> O concreto fabricado com argila expandida pode ser usado estruturalmente.

Tabela 1 – Classificação do agregado graúdo quanto à dimensão<sup>4</sup>.

Pedra britada numerada	(NBR-7211/NBR-7225)		Comercial	
	Tamanho nominal			
	Malha da peneira (mm)			
Número	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
brita 0			4,8	9,5
brita 1	4,8	12,5	9,5	19,0
brita 2	12,5	25,0	19,0	38,0
brita 3	25,0	50,0	38,0	50,0
brita 4	50,0	76,0	50,0	76,0
brita 5	76,0	100,0		
Obs: para efeito de dosagem pode-se utilizar $d_{\max}=25$ mm para uma mistura de brita1+brita2			> 76 mm → pedra de mão	

A escolha da dimensão do agregado graúdo é função da dimensão da peça a ser concretada (geometria da estrutura), bem como da densidade de armadura da seção transversal. Deve-se usar o maior tamanho possível do agregado, obedecendo às limitações seguintes:

- menor que 1/4 da menor dimensão da peça em planta;
- menor que 1/3 da espessura, para lajes;
- menor que 1,2 x (espaçamento vertical entre as armaduras);
- menor que 0,8 x (espaçamento horizontal entre as armaduras);
- menor que 1/3 do diâmetro da tubulação (para concreto bombeado).

Na figura 3 são mostradas fotos de amostras de pedra britada de rocha granítica, com granulometria variando de brita 0 a brita 3.



Figura 3 – Agregado graúdo (pedra granítica britada).

O agregado é chamado de miúdo (areia natural ou resultante de britamento de rochas estáveis) quando os grãos passam na peneira de malha 4,8 mm e ficam retidos na de 0,075 mm. A tabela 2 apresenta a classificação dos agregados miúdos conforme apresentado na NBR-7211 (ABNT, 1982), enquanto, na figura 4, são mostrados exemplos de areias de granulometria grossa e média.

<sup>4</sup> Os valores de diâmetro máximo variam ligeiramente entre autores (valores citados devem ser considerados nominais, para fazer a classificação granulométrica correta ver item 4.1.)

Tabela 2 – Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão.

Tipo de areia	Tamanho nominal (mm)		Módulo de finura (MF)
	Mínima	Máxima	
muito fina	0,15	0,6	MF < 2,0
fina	0,6	1,2	2,0 < MF < 2,4
média	1,2	2,4	2,4 < MF < 3,2
grossa	2,4	4,8	MF > 3,2



Figura 4 – Agregado miúdo (areia quartzosa lavada).

#### 4. Caracterização física do agregado

As amostras para ensaio são obtidas de acordo com a NBR 7216 (ABNT, 1987), da qual foi transcrita, em parte, a tabela 3, com a quantidade de material necessária à realização dos diversos ensaios de caracterização do agregado.

Tabela 3 – Formação de amostras para caracterização física de agregados.

Natureza do material	Quantidade mínima do material (L)				
	Caracterização completa	Granulometria	Absorção e densidade real	Densidade aparente e percentagem de vazios	Abrasão Los Angeles
Brita corrida	90	30	5	40	60
Brita 5 (76-100 mm)	70	30	5	40	10
Brita 4 (50-76 mm)	60	25	5	40	10
Brita 3 (25-50 mm)	40	20	5	40	10
Brita 2 (12,5-25 mm)	30	10	5	20	5
Brita 1 (4,8-12,5 mm)	25	5	5	10	5
Pedrisco	15	5	2	5	5
Pó de pedra	2	2	--	--	--
Areia	10	5	2	5	--

#### 4.1. Análise granulométrica

Granulometria, graduação ou composição granulométrica de um agregado é a distribuição percentual dos seus diversos tamanhos de grãos, considerando a quantidade de material, em massa, retido nas peneiras da **série normal** (76; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,4; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 mm)<sup>5</sup>, determinados de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987). Além da **curva de composição granulométrica** são também definidos, no ensaio de granulometria, o **módulo de finura** e a **dimensão máxima** (diâmetro máximo) do agregado.

O módulo de finura corresponde ao valor resultante da soma da percentagem retida acumulada nas peneiras da série normal citadas anteriormente, divididas por 100. Quando se traça a curva de composição granulométrica, o módulo de finura -percentagem retida acumulada x malhas da peneira da série normal- corresponde à área limitada pela curva e o eixo horizontal (integral da curva granulométrica). O módulo de finura quantifica se o agregado é mais grosso ou mais fino, sendo que quanto maior o módulo de finura mais grosso é o agregado.

A dimensão máxima é a grandeza determinada a partir da distribuição granulométrica, que corresponde à malha da maior peneira, em que fica retida uma porcentagem de agregado igual ou inferior a 5%.

Na figura 5 são apresentados os equipamentos necessários à realização de um ensaio de granulometria de agregados: peneiras padronizadas, vibrador de peneiras, balança, etc.

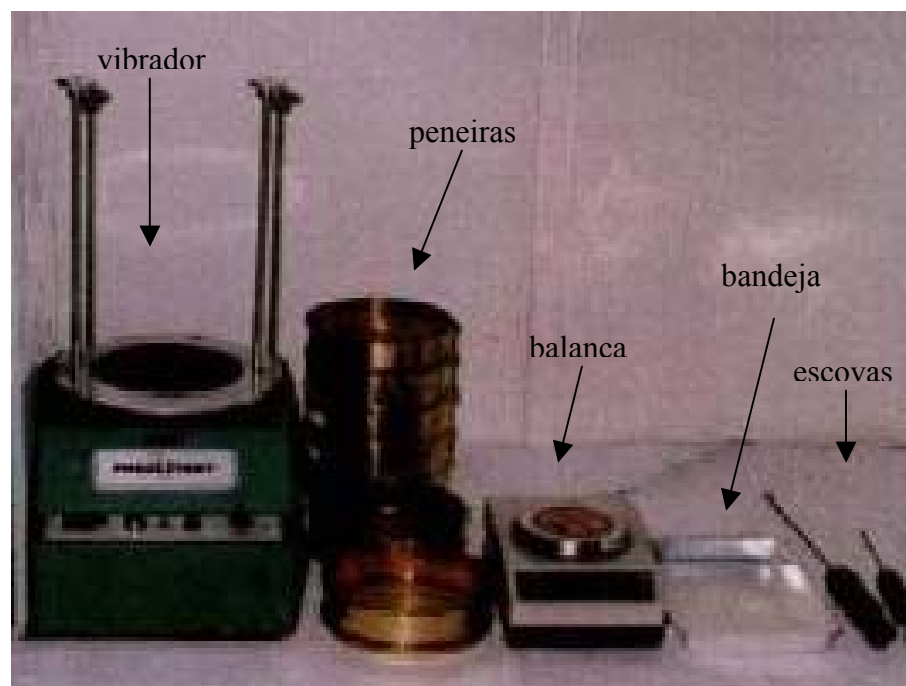


Figura 5 – Ensaio de granulometria.

No quadro 1 são apresentados os resultados de um ensaio de granulometria de amostras de areia fina e grossa, enquanto, no quadro 2, os resultados de amostras de brita 1 e 3, para as quais foram traçadas curvas granulométricas e calculados módulos de finura e dimensão máxima. Os quadros citados mostram também os limites da classificação granulométrica das areias e das britas – NBR 7211 (ABNT, 1983).

<sup>5</sup> Para determinação da dimensão máxima e do módulo de finura do agregado graúdo, além das peneiras da série normal, utilizam-se as peneiras de malha 25, 50 e 100 mm.

Quadro 1 – Resultados de ensaios de granulometria de areia.

**areia fina**

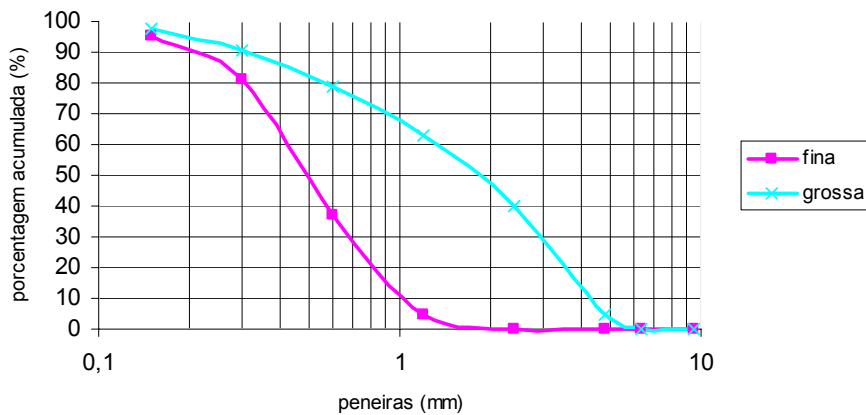
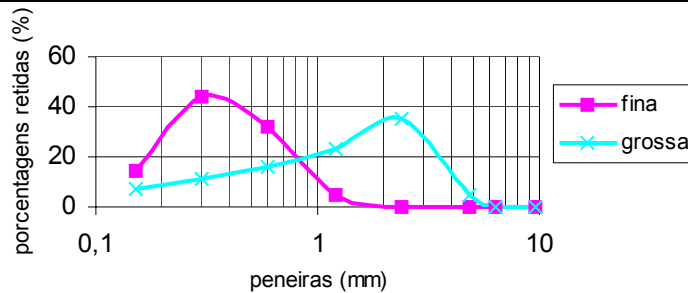
peneira (mm)	pesos (g)	porcentagens		cálculo MF	porcentagens acumuladas - limites da NBR-7211			
		retida	acumulada		muito fina	fina	média	grossa
9,5	0	0,0	0,0	0,0	////	////	////	////
6,3	0	0,0	0,0	xxx	0-3	0-7	0-7	0-7
4,8	0	0,0	0,0	0,0	0-5	0-10	0-11	0-12
2,4	0	0,0	0,0	0,0	0-5	0-15	0-25	0-40
1,2	46	4,6	4,6	4,6	0-10	0-25	10-45	30-70
0,6	322	32,2	36,8	36,8	0-20	21-40	41-65	66-85
0,3	441	44,1	80,9	80,9	50-85	60-88	70-92	80-95
0,15	142	14,2	95,1	95,1	85-100	90-100	90-100	90-100
Fundo	49	4,9	100,0	100,0	100	100	100	100
Total	1000	100,0		217,4				

MF=2,17

**areia grossa**

peneira (mm)	pesos (g)	porcentagens		cálculo MF	porcentagens acumuladas - limites da NBR-7211			
		retida	acumulada		muito fina	fina	média	grossa
9,5	0	0,0	0,0	0,0	////	////	////	////
6,3	0	0,0	0,0	xxx	0-3	0-7	0-7	0-7
4,8	49	4,9	4,9	4,9	0-5	0-10	0-11	0-12
2,4	349	34,9	39,8	39,8	0-5	0-15	0-25	0-40
1,2	230	23,0	62,8	62,8	0-10	0-25	10-45	30-70
0,6	162	16,2	79,0	79,0	0-20	21-40	41-65	66-85
0,3	113	11,3	90,3	90,3	50-85	60-88	70-92	80-95
0,15	71	7,1	97,4	97,4	85-100	90-100	90-100	90-100
fundo	26	2,6	100,0	100,0	100	100	100	100
total	1000	100,0		374,2				

MF=3,74



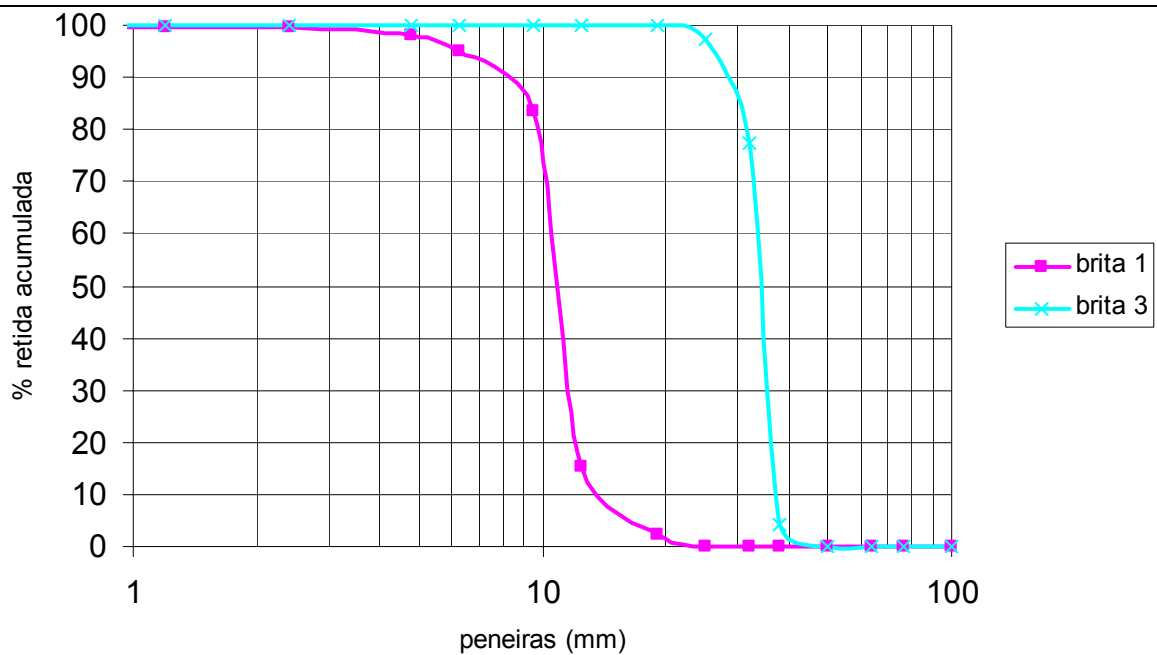
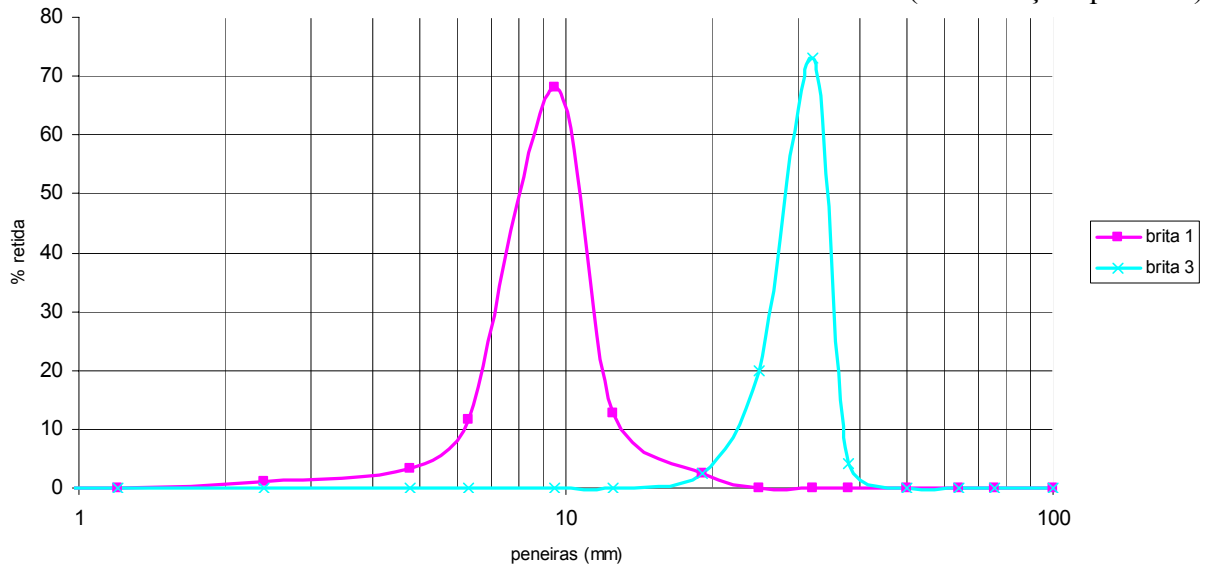
Quadro 2 – Resultados de ensaios de granulometria de brita.

<b>Brita 1</b>									
peneira (mm)	pesos (g)	porcentagens		cálculo MF	porcentagens acumuladas - limites da NBR-7211				
		retida	acumulada		brita 0	brita 1	brita 2	brita 3	brita 4
100	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	////
76	0	0,0	0,0	0,0	////	////	////	////	////
64	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	0-30
50	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	75-100
38	0	0,0	0,0	0,0	////	////	////	0-30	90-100
32	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	75-100	95-100
25	0	0,0	0,0	xxx	////	////	0-25	87-100	////
19	244	2,4	2,4	2,4	////	0-10	75-100	95-100	////
12,5	1286	12,9	15,3	xxx	////	////	90-100	////	////
9,5	6812	68,1	83,4	83,4	0-10	80-100	95-100	////	////
6,3	1158	11,6	95,0	xxx	////	92-100	////	////	////
4,8	324	3,2	98,2	98,2	80-100	95-100	////	////	////
2,4	120	1,2	99,4	99,4	95-100	////	////	////	////
1,2	0	0,0	99,4	99,4	////	////	////	////	////
0,6	0	0,0	99,4	99,4	////	////	////	////	////
0,3	0	0,0	99,4	99,4	////	////	////	////	////
0,15	0	0,0	99,4	99,4	////	////	////	////	////
fundo	56	0,6	100,0	xxx	////	////	////	////	////
total	10000	100,0		681,3					
				MF=6,81					

<b>Brita 3</b>									
peneira (mm)	pesos (g)	porcentagens		cálculo MF	porcentagens acumuladas - limites da NBR-7211				
		retida	acumulada		brita 0	brita 1	brita 2	brita 3	brita 4
100	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	////
76	0	0,0	0,0	0,0	////	////	////	////	////
64	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	0-30
50	0	0,0	0,0	xxx	////	////	////	////	75-100
38	1067	4,3	4,3	4,3	////	////	////	0-30	90-100
32	18257	73,0	77,3	xxx	////	////	////	75-100	95-100
25	5001	20,0	97,3	xxx	////	////	0-25	87-100	////
19	652	2,6	99,9	99,9	////	0-10	75-100	95-100	////
12,5	0	0,0	99,9	xxx	////	////	90-100	////	////
9,5	0	0,0	99,9	99,9	0-10	80-100	95-100	////	////
6,3	0	0,0	99,9	xxx	////	92-100	////	////	////
4,8	0	0,0	99,9	99,9	80-100	95-100	////	////	////
2,4	0	0,0	99,9	99,9	95-100	////	////	////	////
1,2	0	0,0	99,9	99,9	////	////	////	////	////
0,6	0	0,0	99,9	99,9	////	////	////	////	////
0,3	0	0,0	99,9	99,9	////	////	////	////	////
0,15	0	0,0	99,9	99,9	////	////	////	////	////
fundo	23	0,1	100,0	xxx	////	////	////	////	////
total	25000	100,0		803,5					
				MF=8,04					

(continua quadro 1)

(continuação quadro 1)



(fim do quadro 1)

O conhecimento da composição granulométrica do agregado, tanto graúdo quanto miúdo, é de fundamental importância para o estabelecimento da dosagem dos concretos e argamassas, influenciando na quantidade de água a ser adicionada ao concreto, que se relaciona com a resistência e a trabalhabilidade do concreto, se constituindo em fator responsável pela obtenção de um concreto econômico<sup>6</sup>. A granulometria ótima é a que, para a mesma resistência (mesmo fator água/cimento) e mesma consistência, corresponde ao menor consumo de cimento (concreto mais econômico).

<sup>6</sup> Veja no capítulo “Concreto-Dosagem” o conceito de fator água/cimento e fator água/material seco que justificam o efeito da dimensão e da granulometria do agregado sobre a resistência e a trabalhabilidade do concreto.

### 4.2. Massa específica aparente (massa unitária)

É a relação entre a massa de um certo volume total de agregados e este volume.

$$\gamma_a = \frac{m}{V}$$

onde:  $\gamma_a$  = massa específica aparente

m = massa da amostra;

V = volume do recipiente.

A NBR 7251 (ABNT, 1982) –Agregado em estado solto: determinação da massa unitária- propõe para a determinação da massa específica aparente do agregado o uso de um recipiente metálico em forma de paralelepípedo, de volume (V) conhecido. A amostra seca é nele colocada sem qualquer adensamento, procurando-se desse modo reproduzir a situação da obra, quando o operário transporta o agregado em baldes ou padiolas, sem adensamento.

É de grande importância essa determinação, pois é a partir dela que se faz a transformação dos traços em peso para volume e vice-versa. Em termos médios, os agregados apresentam massa específica aparente da seguinte ordem:

- areia fina 1520 kg/m<sup>3</sup>
- areia média 1500 kg/m<sup>3</sup>
- areia grossa 1480 kg/m<sup>3</sup>
- brita 1 1450 kg/m<sup>3</sup>
- brita 2 1420 kg/m<sup>3</sup>
- brita 3 1400 kg/m<sup>3</sup>
- seixo rolado 1500 kg/m<sup>3</sup>

### 4.3. Massa específica real

É a relação entre a massa e o volume de cheios, isto é, o volume de grãos do agregado, excluindo-se os poros permeáveis e os vazios entre os grãos. Trata-se de uma propriedade específica do material, podendo ser determinado por meio do frasco de Chapman para o agregado miúdo –NBR 9776 (ABNT, 1986)- ou balança hidrostática para o agregado graúdo –NBR 9937 (ABNT, 1987). Sempre que sua determinação não for viável, pode-se adotar o valor de 2650 kg/m<sup>3</sup>, para os agregados em geral. A seguir são descritos os ensaios utilizando-se o frasco de Chapman e a balança hidrostática.

Coloca-se no frasco de Chapman 200 cm<sup>3</sup> de água e em seguida, 500 g de agregado seco. A leitura do nível atingido pela água no gargalo indica o volume em cm<sup>3</sup> do conjunto, e daí deduz-se o volume do agregado. A massa específica é a massa dividida pelo volume, expressa em g/cm<sup>3</sup>.



$$\gamma_r = \frac{m_{seca}}{m_{saturada} - m_{mergulhada}}$$

onde:

$\gamma_r$  = massa específica real;

$m_{seca}$  = massa da amostra seca em estufa a 110 °C / 6 h;

$m_{saturada}$  = massa saturada depois do agregado ser enxuto com pano úmido;

$m_{mergulhada}$  = massa saturada e mergulhada na água da balança hidrostática.





O conhecimento da massa específica real é de grande utilidade no estudo de dosagem do concreto para que possam ser feitos os cálculos de consumo de cimento por m<sup>3</sup>, em função do traço de concreto.

#### 4.4. Umidade

O conhecimento do teor da umidade dos agregados é muito importante, pois a quantidade de água que os mesmos transportam para o concreto altera substancialmente o fator água/cimento, ocasionando decréscimo da resistência mecânica do concreto. Quando se trabalha com dosagem em volume, a umidade da areia provoca o fenômeno conhecido como inchamento que deve ser considerado quando da conversão dos traços de peso para volume.

A umidade pode ser determinada de diversas formas. A seguir são apresentados os métodos de secagem em estufa (ou de forma mais rudimentar em frigideira) e o do frasco de Chapman.

#### Determinação com estufa

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pesa-se uma amostra do agregado no estado em que vai ser utilizado, determinando-se, assim, o peso úmido (<math>P_h</math>);</li> <li>▪ leva-se essa amostra a uma estufa a 110 °C, por 6 h, pesa-se em seguida e determina-se o peso seco (<math>P_s</math>);</li> <li>▪ aplica-se a fórmula:</li> </ul>		
$h(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$		

Determinação pelo frasco de Chapman

- Colocam-se, inicialmente, 200 mL de água (leitura  $L_0$ );
- Em seguida, adicionam-se 500 g de areia úmida (Ph) e efetua-se nova leitura (L);
- Sendo:  $v$ =volume de água absorvido pela areia,  $V$ =volume real da areia seca,  $m_s$ =massa de areia seca,  $\gamma$ =massa específica real da areia,  $h$ =umidade,  $m_h$ =massa da areia úmida (500 g).

- A leitura final (L) é calculada pela expressão:

$$L = 200 + v + V \Rightarrow L = 200 + \frac{h \cdot m_s}{100} + \frac{m_s}{\gamma}$$

$$\text{mas : } m_s = \frac{100}{100 + h} \cdot m_h \text{ e } m_h = 500 \text{ g}$$

- então : 
$$h = \frac{100 \cdot (500 - \gamma(L - 200))}{\gamma \cdot (L - 700)}$$

para areia seca ( $h = 0$ ), pode - se obter a massa específica real por

$$\gamma = \frac{500}{L - 200}$$



A areia armazenada no canteiro de obras, em área descoberta, tem sua umidade variando de 3 a 7%, conforme as condições ambientais. Na falta de determinação mais exata da umidade pode-se considerar que a umidade da areia é de cerca de 5%, para dias secos.

#### 4.5. Inchamento

Chama-se de inchamento o aumento do volume aparente do agregado miúdo quando úmido. Este aumento é produzido pela separação entre os grãos da areia devido à película de água que se forma em torno do grão provocando um afastamento entre as partículas. Assim, na realidade, num mesmo volume tem-se menos material.

A partir dessa definição, o inchamento é expresso da seguinte forma:

$$I(\%) = \frac{V_h - V_s}{V_s} \times 100$$

onde:  $V_s$  é o volume da areia seca

$V_h$  é o volume da areia com  $h\%$  de umidade

Conseqüentemente, se fizermos variar a quantidade de água contida em um agregado miúdo, seu volume também variará segundo a expressão:

$$I(h) = \frac{V_h}{V_s}$$

onde:  $I$  é o inchamento na umidade  $h$

$h$  é o teor de umidade do agregado

$V_h$  é o volume do agregado com  $h\%$  de umidade

$V_s$  é o volume do agregado seco

Fazendo-se a representação gráfica desta função, determinam-se dois pontos importantes:

- *umidade crítica*: é o valor da umidade acima da qual o inchamento pode ser considerado constante; e
- *inchamento médio*: é a média dos valores do inchamento no ponto de umidade crítica e no ponto máximo da curva (inchamento máximo).

O inchamento é fundamental para a determinação do traço em volume, como se verá mais adiante. Normalmente, o inchamento máximo ocorre para teores de umidade entre 4 e 7%. Poderá variar, dependendo da granulometria da areia, para teores entre 15 e 35%. Acima desses níveis, o inchamento decresce, chegando praticamente a anular-se no estado saturado.

Considerando-se que a maioria das areias possui inchamento constante para um dado intervalo, o Instituto de Tecnologia do Rio Grande do Sul sugere que se determine o inchamento da areia somente para a *umidade crítica*, que é o *inchamento crítico*, e para o *inchamento máximo*. Com base nesses valores, calcula-se o *inchamento médio* que, para as areias em uso nas obras serve para todos os cálculos necessários à correção do volume.

Na prática, para a determinação do ***inchamento médio***, o procedimento segue este método: secar um volume conhecido de areia; determinar a massa específica aparente da areia seca (esse valor é utilizado para todas as transformações de peso em volume); adicionar água sucessivamente a fim de obter teores de umidade próximos dos valores 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 12%; para cada nível de umidade calcular o inchamento; traçar o gráfico inchamento *versus* umidade (figura 6); determinar o *inchamento máximo* e o *inchamento crítico*, graficamente, como se segue:

- determinar o *inchamento máximo* traçando uma reta paralela ao eixo das abcissas e tangente à curva no seu ponto máximo;
- unir o ponto de inchamento máximo à origem da curva de inchamento;
- traçar uma paralela à reta obtida de forma a tangenciar a curva de inchamento;
- a interseção das duas tangentes é o ponto que tem como coordenadas o *inchamento máximo* (B) e a *umidade crítica* (E).
- pelo ponto da curva de inchamento correspondente à umidade crítica, determina-se o *inchamento crítico*;
- com os valores do *inchamento máximo* e do *inchamento crítico*, armar a seguinte expressão:

$$I_{med} = \frac{I_{crit} + I_{max}}{2}$$

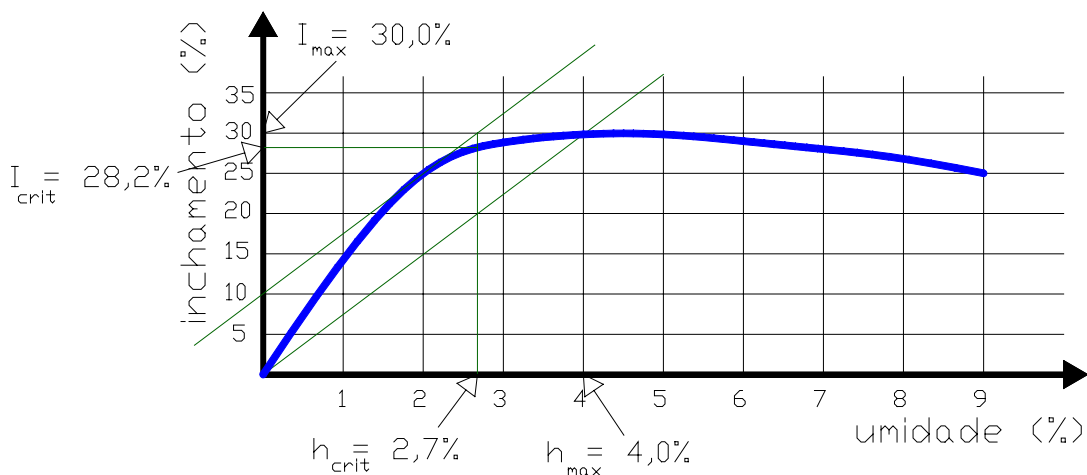


Figura 6 - Gráfico do inchamento x umidade e a determinação da umidade máxima e crítica.

## 5. Qualidade dos agregados

A qualidade dos agregados pode ser avaliada por índices definidos pelas normas ABNT pertinentes. As principais características de qualidade dos agregados, que podem influir na composição final de argamassas e concretos, são mencionadas a seguir.

### 5.1. Resistência aos esforços mecânicos

Os agregados devem ter grãos resistentes e duráveis. Sua resistência aos esforços mecânicos deve ser pelo menos superior à da pasta de cimento e água depois de endurecida. Os grãos de um agregado devem ser resistentes à compressão e ao desgaste (abrasão).

### 5.2. Substâncias nocivas

As substâncias nocivas encontradas na areia são:

*Torrões de argila:* A presença na areia de argila sob a forma de torrões friáveis é bastante nociva, e seu teor é limitado, segundo a NBR 7211/83, aos seguintes valores máximos:

a) agregados miúdos: 1,5%

b) agregados graúdos:

- em concreto cuja aparência é importante: 1,0%

- em concreto submetido ao desgaste superficial: 2,0%

- nos demais concretos: 3,0%

*Material carbonoso:* Sob a forma de carvão, madeira e matéria vegetal, são substâncias igualmente nocivas encontradas nos agregados e que devem ter o seu teor limitado, segundo a NBR 7211/83, em 0,5% para concretos cuja aparência é importante e 1,0% para os demais concretos.

*Material pulverulento:* Quanto à presença deste material, a areia contém geralmente pequena porcentagem de material fino, constituído de silte e argila, que passa pela peneira nº 200 da ABNT (0,075 mm). Este teor é, entretanto, limitado entre 3,0% e 5,0%. Os finos, quando presentes em grande quantidade no concreto, aumentam a exigência de água para a obtenção da mesma consistência. Os finos de certas argilas também propiciam maiores alterações de volume, intensificando a retração e reduzindo a resistência.

*Impurezas orgânicas:* A matéria orgânica é a impureza mais freqüente presente nas areias. Em geral são detritos de origem vegetal encontrados sob a forma de partículas minúsculas, mas que, em grandes quantidades, chegam a escurecer o agregado miúdo.

*Substâncias químicas:* Substâncias quimicamente ativas quando presentes na areia podem ser nocivas. A presença do cloreto de sódio provoca escamações e umidade em revestimentos executados com areias provenientes de jazida de mar.

### 5.3. Forma dos grãos

Na fabricação dos concretos deve-se dar preferência, na maioria dos casos, a agregados de grãos arredondados, como, por exemplo, os pedregulhos. Por sua vez, nos concretos fabricados com pedra britada consegue-se maior aderência entre os grãos e a

argamassa devido à forma irregular dos grãos, logrando-se, assim, maior resistência ao desgaste e à tração.

A influência da forma é mais acentuada nos agregados miúdos. Por esta razão, muitas especificações proíbem o emprego de areia artificial na elaboração de concretos.

Os agregados contendo partículas lamelares são prejudiciais, porque estes elementos dificultam o adensamento do concreto, impedindo a interpenetração dos grãos.

## **Bibliografia**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT**, Rio de Janeiro. **NBR 6467 - Agregados: determinação do inchamento do agregado miúdo, especificação**. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

**NBR 7211 - Agregados para concreto, especificação**. Rio de Janeiro, 1982. 9p.

**NBR 7217 - Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação**. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

**NBR 7251 - Agregado em estado solto: determinação da massa unitária, especificação**. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

**NBR 7810 - Agregado em estado compactado a seco: determinação da massa unitária, especificação**. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

**NBR 9776 - Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman, especificação**. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

A.F., SILVA FILHO; W.A., MOURA; R.S., LEITE. **Caracterização de escória de ferro-cromo como agregado graúdo para produção de concreto**. *Sicientibus*, n. 26, p. 95-110, 2002.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil; contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

TERRA, L.E.M. **Finos de pedreira para execução de concreto estrutural: práticas recomendadas**. Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem, 2003. Disponível em <http://www.abesc.org.br>. Acesso em: 24/04/2003.

VALVERDE, F.M. **Balanço mineral brasileiro 2001: Agregados para a construção civil**. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/balanço01/pdf/agregados.pdf>. Acesso em: 27/05/2003.

VALVERDE, F.M. **Sumário mineral brasileiro 2002: Agregados para a construção civil**. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 2002. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/suma2002>. Acesso em: 22/04/2003.