



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC

LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO - II 1ª PARTE - AGREGADOS

Professor: Lígia Vieira Maia Siqueira

Disciplina: Materiais de Construção II – MCC-II

Joinville, 19 de fevereiro de 2008

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

DISCIPLINA: Materiais de Construção – II
CÓDIGO: MCC-II

CAPÍTULOS: Agregado Miúdo
Agregado Graúdo

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - AGREGADOS

INTRODUÇÃO

Agregados são relativamente baratos e não entram em reações químicas complexas com a água; portanto têm sido usualmente tratados como um material de enchimento inerte no concreto. Entretanto, devido à crescente compreensão do papel desempenhado pelos agregados na determinação de muitas propriedades importantes do concreto, este ponto de vista tradicional, dos agregados como materiais inertes está sendo seriamente questionado.

As características dos agregados que são importantes para a tecnologia do concreto incluem porosidade, composição granulométrica, absorção de água, forma e textura superficial das partículas, resistência à compressão, módulo de elasticidade e os tipos de substâncias deletérias presentes. Estas características derivam da composição mineralógica da rocha matriz (que é afetada pelos processos geológicos de formação da rocha), das condições de exposição às quais a rocha foi submetida antes de gerar o agregado, e dos tipos de operação e equipamento usados para a produção do agregado. Portanto, são brevemente descritos, neste capítulo, fundamentos sobre formação geológica, classificação e descrição das rochas e minerais, e os fatores do processamento industrial, que influenciam as características dos agregados.

Agregados de minerais naturais, que compreendem mais de 90 por cento do total dos agregados usados na produção do concreto, são aqui abordados com maior detalhe. Devido ao grande potencial de uso, são também descritos os agregados de rejeitos industriais, tais como escória de alto-forno, cinza volante, concreto reciclado e resíduos selecionados de rejeitos urbanos. Finalmente, as principais características dos agregados, que são importantes para a tecnologia do concreto, são analisadas em detalhe.

IMPORTÂNCIA

Sabe-se que os cimentos consistem de compostos químicos que entram em reações químicas com a água e produzem produtos de hidratação complexos, com propriedades adesivas. Ao contrário do cimento, e embora ocupem 60 a 80 por cento do volume do concreto, os agregados são freqüentemente considerados como um material de enchimento inerte e, portanto, não se dá muita atenção ao seu possível efeito nas propriedades do concreto. Os agregados podem exercer uma considerável influência na resistência, estabilidade dimensional e durabilidade do concreto. Além

destas propriedades importantes do concreto endurecido, os agregados também têm um papel fundamental na determinação do custo e da trabalhabilidade das misturas de concreto, portanto, **é impróprio serem tratados com menos respeito do que os cimentos.**

CLASSIFICAÇÃO E TERMINOLOGIA

Classificação dos agregados conforme a dimensão das partículas, massa específica, ou origem têm gerado uma terminologia especial que deve ser claramente entendida. Por exemplo, o termo **agregado graúdo** é usado para descrever partículas maiores do que 4,8mm (retidas na peneira nº 4), e o termo **agregado miúdo** é usado para partículas menores do que 4,8mm; tipicamente os agregados miúdos contêm partículas que variam, em dimensão, de 75 µm (peneira nº 200) a 4,8mm, e os agregados graúdos de 4,8mm até cerca de 50mm, exceto para concreto massa, que pode conter agregado graúdo de até 150mm.

A maioria dos agregados naturais, tais como areia e pedregulho têm massa unitária entre 1520 e 1680kg/m³ e produzem concretos **normais** com aproximadamente 2400kg/m³ de massa específica. Para fins especiais, agregados mais leves ou mais pesados podem ser usados para produzirem, respectivamente, concretos leves e pesados. Geralmente, os agregados com massa unitária menor do que 1120kg/m³ são chamados leves, e aqueles com mais de 2080kg/m³ são designados pesados.

Em geral, os agregados para concreto são areia, pedregulho e pedra britada, procedentes de jazidas naturais, e são, portanto, designados como agregados naturais. Por outro lado, os materiais processados termicamente, tais como argila ou folhelho expandidos, que são usados para a produção de concreto leve, são chamados agregados artificiais. Agregados feitos de rejeitos industriais, por exemplo, escória de alto-forno e cinza volante, também pertencem a esta categoria. Resíduos selecionados de rejeitos urbanos e concreto reciclado de demolições de edifícios e de pavimentos têm sido também investigados para uso como agregados, como descrito adiante.

AGREGADOS NATURAIS

Os agregados naturais constituem a classe mais importante de agregados para a produção de concreto de cimento Portland. Aproximadamente, a metade do total do agregado graúdo consumido pela indústria de concreto nos Estados Unidos consiste de pedregulhos; a maior parte do restante é pedra britada. As rochas carbonáticas compreendem cerca de 2/3 do agregado britado; arenito, granito, diorito, gabro e basalto perfazem o resto. A areia de sílica natural é predominantemente usada como

agregado miúdo, mesmo em muitos concretos leves. Agregados naturais são derivados de rochas de vários tipos; sendo que a maioria das rochas é composta por vários minerais. Um **mineral** é definido como toda a substância inorgânica de ocorrência natural com composição química mais ou menos definida e usualmente com uma estrutura cristalina específica. Uma revisão elementar dos aspectos de formação geológica e a classificação das rochas e minerais são essenciais para o entendimento não apenas do porque alguns materiais são freqüentemente mais usados como agregados do que outros, mas também das relações microestrutura-propriedades do agregado.

AGREGADOS LEVES

Agregados com massa unitária menor que 1120kg/m^3 são geralmente considerados leves, e tem aplicação na produção de vários tipos de concreto-leve. A menor massa é devida à microestrutura celular ou altamente porosa. Cabe observar que materiais orgânicos de estrutura celular, tais como cavacos de madeira, não devem ser usados como agregado por causa da sua falta de durabilidade, no meio alcalino e úmido do concreto de cimento Portland.

Agregados leves naturais são produzidos através do beneficiamento de rochas ígneas vulcânicas como pumicita, escória ou tufo. Agregados leves sintéticos podem ser fabricados por tratamento térmico de uma variedade de materiais, por exemplo, argilas, folhelhos, ardósia, datomita, perlita, vermiculita, escória de alto-forno e cinza volante.

De fato, há um largo espectro de agregados leves, com massa unitária variando de 80 a 900kg/m^3 . Agregados muito porosos, que estão na extremidade mais leve do espectro, são geralmente fracos e, portanto, mais adequados para a produção de concretos isolantes não estruturais. Do outro lado do espectro, estão aqueles agregados leves que são, relativamente, menos porosos; quando a estrutura porosa consiste de poros finos uniformemente distribuídos, o agregado é usualmente resistente e capaz de produzir concreto estrutural. A ASTM separa as especificações relativas a agregados leves para uso em concreto estrutural (ASTM C 330), concreto isolante (ASTM C 332), e concreto para produção de blocos de alvenaria (ASTM C331). Essas especificações contêm critérios para granulometria, substâncias deletérias e massa unitária dos agregados, assim como para a massa específica, resistência e retração por secagem do concreto contendo o agregado.

AGREGADOS PESADOS

Comparado ao concreto normal, que tipicamente tem massa específica de 2400kg/m^3 , concretos pesados variam de 2880 a 6100kg/m^3 e têm aplicação para blindagens de radiação nuclear.

Agregados pesados (isto é, aqueles que têm massa específica maior do que os agregados normais) são usados para a produção de concreto pesado. Rochas naturais adequadas para a produção de agregados pesados consistem predominantemente de dois minerais de bário, vários minérios de ferro e um de titânio.

Um produto sintético chamado “fosfetos de ferro” pode também ser usado como agregado pesado. As normas ASTM C 637 e C 638, respectivamente, de especificações e terminologia de agregados para concreto de blindagem radioativa, advertem que o agregado de “fosfetos de ferro”, quando usado em concreto de cimento Portland, gera gases inflamáveis e possivelmente tóxicos, que podem desenvolver pressões altas, se confinados. Minérios de ferro hidratados, minerais de boro e resíduos metalúrgicos granulares são as vezes incorporados aos agregados para a produção de concreto pesado, pois o boro e o hidrogênio são muito efetivos na atenuação de neutros (captura). Pregos de aço inoxidável, barras de ferro cortadas e balas de ferro também têm sido testados como agregados pesados, mas geralmente a tendência do agregado segregar no concreto aumenta com a sua massa específica.

AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO E DE RESÍDUOS DE REJEITOS URBANOS

Entulho de construções de concreto demolidas fornece fragmentos nos quais o agregado está contaminado por pasta endurecida de cimento, gipsita e outras substâncias em menor quantidade. A fração que corresponde a agregado miúdo contém, principalmente, pasta endurecida de cimento e gipsita e é inadequada para a produção de concreto. Entretanto, a fração que corresponde a agregado graúdo, embora coberta de pasta de cimento, tem sido usada com sucesso em vários estudos de laboratório e de campo. Uma revisão de vários estudos, indica que, comparado ao concreto com agregado natural, o concreto do agregado reciclado teria no mínimo dois terços da resistência à compressão e do módulo de elasticidade, bem como trabalhabilidade e durabilidade satisfatórias.

O principal obstáculo no uso do entulho de construção como agregado para concreto é o custo de britagem, graduação, controle de pó e separação dos constituintes indesejáveis. Concreto reciclado ou concreto de entulho britado pode ser uma fonte economicamente viável de agregados, em locais onde agregados de boa qualidade são escassos e quando o custo de disposição do entulho é incluído na análise econômica. Com base no maior trabalho, já realizado, de reciclagem de pavimento de concreto, o “Michigan State Department of Transportation”, de Michigan/USA, publicou que o entulho reciclado pela britagem do pavimento existente foi mais barato do que usar, inteiramente material novo.

A presença de vidro triturado no agregado tende a produzir misturas de concreto pouco trabalháveis e, devido ao alto teor de álcalis, afeta a sua resistência e durabilidade a longo prazo. Metais como alumínio reagem com soluções alcalinas e causam expansão excessiva. Papel e rejeitos orgânicos, com ou sem incineração, causam problemas de pega e endurecimento no concreto de cimento Portland. Em geral, portanto rejeitos urbanos não são adequados para produzir agregados para uso em concreto estrutural.

PRODUÇÃO DE AGREGADOS

Jazidas de solo grosso graduado são uma boa fonte de **areia natural e pedregulho**. Mas, como usualmente depósitos de solo contêm quantidades variáveis de silte e argila, que prejudicam as propriedades do concreto fresco e endurecido, essas devem ser removidas por lavagem ou peneiramento a seco. A escolha de um processo ou outro irá obviamente influenciar a quantidade de materiais deletérios no agregado; por exemplo, recobrimentos de argila podem não ser removidos de forma tão eficiente por peneiramento a seco, quanto por lavagem.

Geralmente o equipamento de britagem faz parte das instalações de produção do agregado, porque frações acima de pedregulho podem ser britadas e misturadas, adequadamente, com material não fragmentado de tamanho similar. Novamente, a escolha do equipamento de britagem pode determinar a forma das partículas. Com rochas sedimentares laminadas, britadores tipo mandíbula ou de impacto tendem a produzir partículas lamelares. A importância da graduação apropriada do agregado no custo do concreto está hoje tão bem estabelecida, que as usinas modernas de agregados, se produzirem areia e pedregulho ou pedra britada, têm os equipamentos necessários para controlar as operações de britagem, limpeza, separação granulométrica e mistura de duas ou mais frações para atender as especificações do cliente.

CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS E SUA IMPORTÂNCIA

O conhecimento de certas características dos agregados (isto é, massa específica, composição granulométrica e teor de umidade) é uma exigência para a **dosagem dos concretos**. A porosidade ou a massa específica, a composição granulométrica, a forma e textura superficial dos agregados determinam as **propriedades dos concretos no estado fresco**. Além da porosidade, a composição mineralógica do agregado afeta a sua resistência à compressão, dureza, módulo de elasticidade e sanidade, que por sua vez influenciam várias propriedades do concreto endurecido contendo o agregado. No diagrama ilustrativo das varias inter-relações (Fig 1), é evidente que as características

dos agregados, importantes para a tecnologia do concreto, são decorrentes da microestrutura do material, das condições prévias de exposição e do processo de fabricação.

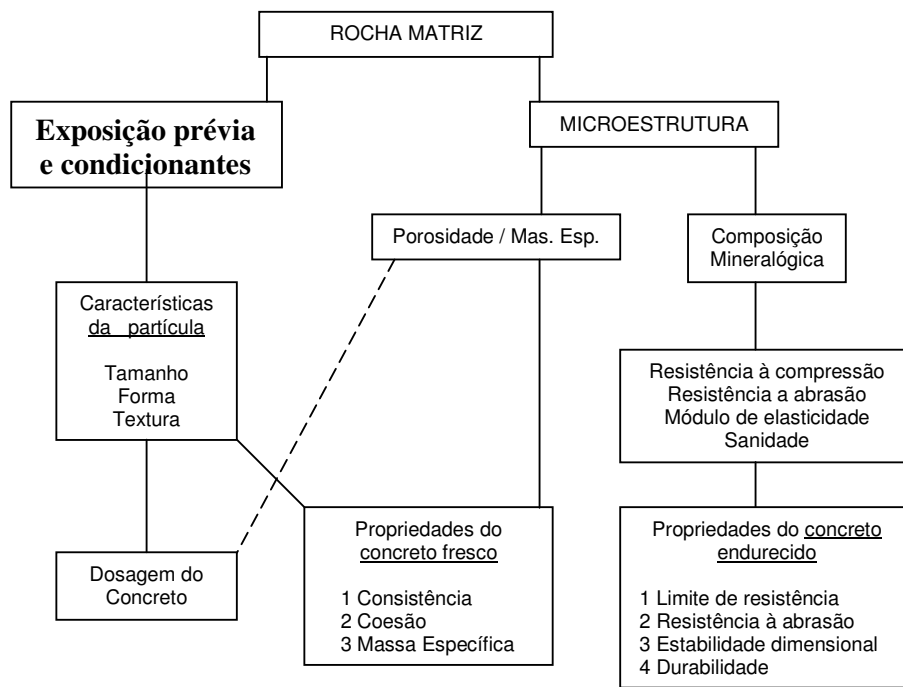


Figura 1 - Diagrama ilustrativo de como a microestrutura, condições prévias de exposição e condicionantes do processo de fabricação do agregado determinam as suas características e como estas afetam o traço e as propriedades do concreto fresco e endurecido. Geralmente, as propriedades dos agregados são discutidas em duas partes com base

nas propriedades que afetam (1) as proporções de dosagem e (2) o comportamento do concreto fresco e endurecido. Devido à considerável sobreposição dos dois aspectos, é mais apropriado dividir as propriedades nos seguintes grupos, baseados na microestrutura e condicionantes de fabricação:

1. **Características dependentes da porosidade:** massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade;
2. **Características dependentes das condições prévias de exposição e condicionantes de fabricação:** tamanho, forma e textura das partículas;
3. **Características dependentes da composição química e mineralógica:** resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

Massa específica e Massa Unitária

Para fins de dosagem do concreto, não é necessário determinar a massa específica real de um agregado. Os agregados naturais são porosos; valores de porosidade até 2% são comuns para rochas ígneas intrusivas, até 5% para rochas sedimentares densas, e de 10 a 40% para arenitos e calcários muito porosos. Para efeito de dosagem do concreto, é importante conhecer o volume ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas. Portanto, é suficiente a determinação da **massa específica**, que é definida como a massa do material por unidade de volume, incluindo os poros internos das partículas. Para muitas rochas comumente utilizadas, a massa específica varia entre 2600 e 2700kg/m³; valores típicos para granito, arenito e calcário denso são 2690, 2650 e 2600kg/m³, respectivamente.

Além da massa específica, outra informação usualmente necessária para a dosagem de concretos, é a **massa unitária**, que é definida como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. O fenômeno da massa unitária surge, porque não é possível empacotar as partículas dos agregados juntas, de tal forma que não haja espaços vazios. O termo **massa unitária** é assim relativo ao volume ocupado por ambos **agregados** e **vazios**. A massa unitária aproximada dos agregados comumente usados em concreto normal varia de 1300 a 1750kg/m³.

Absorção e Umidade Superficial

Os vários estados de umidade que podem existir em uma partícula de agregado estão esquematizados na Fig. 2 (a). Quando todos os poros permeáveis estão preenchidos e não há um filme de água na superfície, o agregado é dito estar na **condição saturada superfície seca (SSS)**, quando o agregado está saturado e também há umidade livre na superfície, o agregado está na **condição úmida ou saturada**. Na **condição seca em estufa**, toda a água evaporável do agregado foi removida pelo aquecimento a 100°C. **Capacidade de absorção** é definida como a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca estufa para a condição SSS; **absorção efetiva** é definida como a quantidade de água requerida para trazer o agregado da condição seca ao ar para a condição SSS.

Figura 2 (a) e (b)

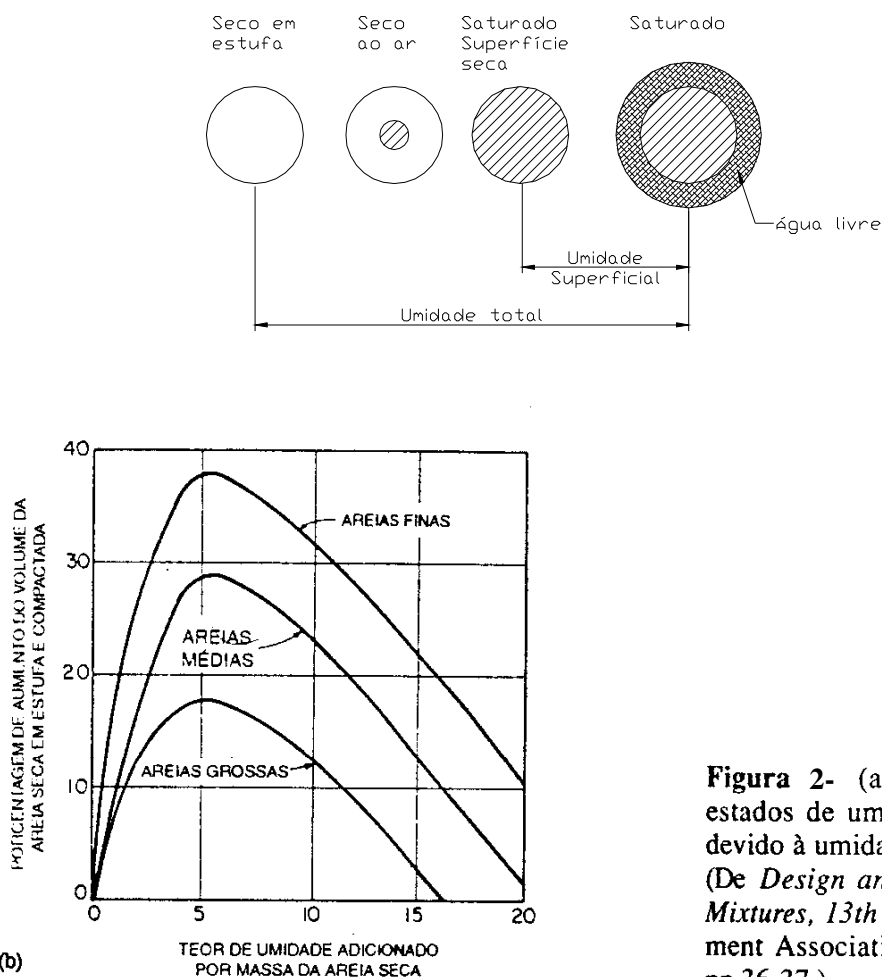


Figura 2- (a) Agregado em vários estados de umidade; (b) inchamento devido à umidade no agregado miúdo. (De *Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1988, pp.36-37.)

A figura (a) ilustra como o conceito de condição saturada superfície seca (SSS) é útil na determinação da absorção potencial e umidade livre do agregado. A figura (b) mostra que a umidade superficial do agregado miúdo pode causar considerável inchamento, o qual varia com o teor de umidade e a composição granulométrica do agregado.

A quantidade de água em excesso além da requerida para a condição SSS é referida como **umidade superficial**. Os dados relativos à capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são invariavelmente necessários para a correção das proporções de água e de agregado em misturas de concreto, feitas a partir de materiais estocados. Como uma primeira aproximação, a absorção de água de um agregado, que é facilmente determinada, pode ser usada como uma medida da sua porosidade e resistência.

Normalmente, para rochas ígneas intrusivas e rochas sedimentares densas, os valores de correção de umidade são muito baixos, mas podem ser muito altos no caso de rochas sedimentares porosas, agregados leves e areias. Por exemplo, tipicamente, os valores de absorção efetiva de agregados de “trapp”, arenito poroso e folhelho expandido são 1/2, 5 e 10%, respectivamente.

Areias podem sofrer um fenômeno, conhecido como **inchamento**. Dependendo do teor de umidade e composição granulométrica do agregado, pode ocorrer um aumento considerável do volume aparente da areia (Fig. 2 (b)), porque a tensão superficial da água mantém as partículas afastadas. Como a maioria das areias são despachadas para uso na condição saturada, podem ocorrer grandes variações nos consumos por betonada, se a dosagem for feita em volume. Por esta razão a dosagem de concreto em massa tem se tornado uma prática normalizada na maioria dos países.

Resistência à Compressão, Resistência à Abrasão, e Módulo de Elasticidade.

A resistência à compressão, a resistência à abrasão e o módulo de elasticidade dos agregados são propriedades inter-relacionadas, que são muito influenciadas pela porosidade. Os agregados naturais comumente usados para a produção de concreto normal, são geralmente densos e resistentes; portanto, raramente são um fator limitante da resistência à compressão e do módulo de elasticidade dinâmico da maioria dos granitos, basaltos, “trapps”, “flints”, arenito quartzítico e calcários densos variam de 210 a 310MPa e de 70 a 90GPa, respectivamente. Quanto a rochas sedimentares, a porosidade varia numa faixa mais larga, e da mesma forma a sua resistência à compressão e características relacionadas. Em uma pesquisa, envolvendo 241 calcários e 79 arenitos, enquanto a resistência máxima à compressão, para cada tipo de rocha, foi da ordem de 240MPa, alguns calcários e arenitos apresentaram resistências à compressão tão baixas quanto 96MPa, respectivamente.

Sanidade

Considera-se que o agregado é **instável** quando mudanças no seu volume induzidas pelo intemperismo, como ciclos alternados de umedecimento e secagem, ou congelamento e descongelamento, resultam na deterioração do concreto. Geralmente, a instabilidade ocorre para rochas que têm uma certa estrutura porosa característica. Concretos contendo alguns “cherts”, folhelhos, calcários e arenitos, têm se mostrado suscetíveis a danos, pela cristalização de gelo e sal dentro dos agregados. Embora, uma alta absorção de água seja usada, muitas vezes, como um índice de instabilidade, muitos agregados, como de pumicita e de argilas expandidas, podem absorver

grandes quantidades de água, mas permanecerem estáveis. A instabilidade esta, portanto, mais relacionada à distribuição do tamanho dos poros do que à porosidade total do agregado. Distribuições de tamanho dos poros que permitem às partículas dos agregados ficarem saturadas por umedecimento (ou descongelamento no caso de ataque por gelo), mas impedem a drenagem fácil na secagem (ou congelamento), são capazes de causarem altas pressões hidráulicas dentro das partículas. A sanidade dos agregados frente à ação do intemperismo é determinada pelo Método ASTM C88, que descreve um procedimento padronizado para a determinação direta da resistência do agregado a desintegração pela exposição a cinco ciclos de umedecimento e secagem; para o ciclo de umedecimento é usada solução saturada de sulfato de sódio ou magnésio.

No caso de ataque por gelo, em adição à distribuição do tamanho dos poros e ao grau de saturação, há uma dimensão crítica de agregado abaixo da qual não irão ocorrer tensões internas elevadas, capazes de fissurar a partícula. Para a maioria dos agregados, esta dimensão crítica é maior do que a dimensão normal dos agregados graúdos usados na prática; entretanto, para algumas rochas fracamente consolidadas (arenitos, calcários, “cherts” e folhelhos), é citado que esta dimensão varia na faixa de 12 a 25mm.

Dimensão Máxima e Composição Granulométrica

Composição granulométrica é a distribuição das partículas dos materiais granulares entre várias dimensões, e é usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas maiores ou menores do que cada uma das aberturas de uma serie de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de aberturas de uma serie de peneiras, ou de porcentagens entre certos intervalos de aberturas das peneiras. Os requisitos para a composição granulométrica de agregados graúdos e miúdos da ASTM C33 (“Standard Specification for Concret Aggregates”), são mostrados nas tabelas 7-5 e 7-6, respectivamente.

Há várias **razões para a especificação de limites granulométricos e da dimensão máxima dos agregados**, a mais importante é a sua influência na trabalhabilidade e custo. Por exemplo, areias muito grossas produzem misturas de concreto ásperas e não trabalháveis, e areias muito finas aumentam o consumo de água (portanto, o consumo de cimento para uma dada relação água/cimento) e são anti-econômicas; agregados que não têm uma grande deficiência ou excesso de qualquer tamanho de partícula, em especial, produzem as misturas de concreto mais trabalháveis e econômicas.

A dimensão máxima do agregado é, convencionalmente, designada pela dimensão da abertura da peneira, na qual ficam retidos 15% ou menos das partículas do agregado. Em geral, quanto

maior a dimensão máxima do agregado, menor será a área superficial por unidade de volume, que tem de ser coberta pela pasta de cimento, para uma dada relação água/cimento. Desde que o preço do cimento é, usualmente, cerca de 10 vezes (em alguns casos até mesmo 20 vezes), mais caro que o preço do agregado, qualquer ação que possa economizar cimento sem reduzir a resistência e a trabalhabilidade do concreto pode resultar em um benefício econômico significativo. Além do aspecto econômico, há outros fatores que governam a escolha da dimensão máxima do agregado para uma mistura de concreto. De acordo com uma regra prática, usada pela construção civil, a dimensão máxima do agregado não deve ser maior que um quinto da dimensão mais estreita da fôrma na qual o concreto será colocado; também não deve ser maior que três quartos da menor distancia livre entre as armaduras de reforço. Como partículas maiores tendem a produzir mais microfissuras na zona de transição entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, nos concretos de alta resistência a dimensão máxima do agregado é limitada a 19mm.

O efeito da variedade de tamanho das partículas em reduzir o volume de vazios total de uma mistura de agregados, pode ser demonstrado pelo método mostrado na Fig 3 (a). Um béquer é cheio com partículas de 25mm, de tamanho e forma relativamente uniformes; um segundo béquer é cheio com uma mistura de partículas de 25 e 9mm. Abaixo de cada béquer, há uma proveta graduada com a quantidade de água requerida para preencher os vazios de cada béquer. É evidente que quando dois tamanhos de agregados são combinados em um béquer, o volume de vazios é reduzido. Se partículas de vários tamanhos menores que 9mm forem adicionadas para se combinarem com os agregados de 25mm e 9mm, uma redução adicional de vazios irá resultar. Na prática, pode-se obter um pequeno volume de vazios pelo uso de agregados graúdos, regularmente contínuos com proporções adequadas de areia contínua (Fig. 3 (b)). Os dados mostram que foi obtido um volume de vazios tão baixo quanto 21%, quando 40% de areia foi misturada com pedregulhos de 9 a 37mm. Do ponto de vista de trabalhabilidade das misturas de concreto, sabe-se que, com certos materiais, a menor porcentagem das misturas de concreto, sabe-se que, com certos materiais, a menor porcentagem de vazios (massa específica máxima compactada) não é a mais satisfatória; o volume de vazios ótimo é um pouco maior que o mínimo possível.

Na prática, um parâmetro empírico chamado módulo de finura é muitas vezes usado como um índice de finura do agregado. O **módulo de finura** é calculado com os dados da análise granulométrica, pela soma das porcentagens retidas acumuladas do agregado em cada uma das peneiras de uma serie especificada, sendo a soma dividida por 100. As peneiras usadas para a determinação do módulo de finura são: 150 μ m (nº 100), 300 μ m (nº 50), 600 μ m (nº 30), 1,18mm (nº

16), 2,36mm (nº8), 4,75mm (nº4), 9,5mm (3/8"), 19mm (3/4"), 37,5mm (1 1/2"), e maiores – aumentando na proporção de 2 para 1. Pelos dados tabulados na Fig. 7-7, são apresentados exemplos do método de determinação do módulo de finura de agregados miúdos de três procedências, juntamente com a curva granulométrica típica. Pode-se observar que quanto maior o módulo de finura, mais graúdo é o agregado.

Fig 3 (a) e (b)

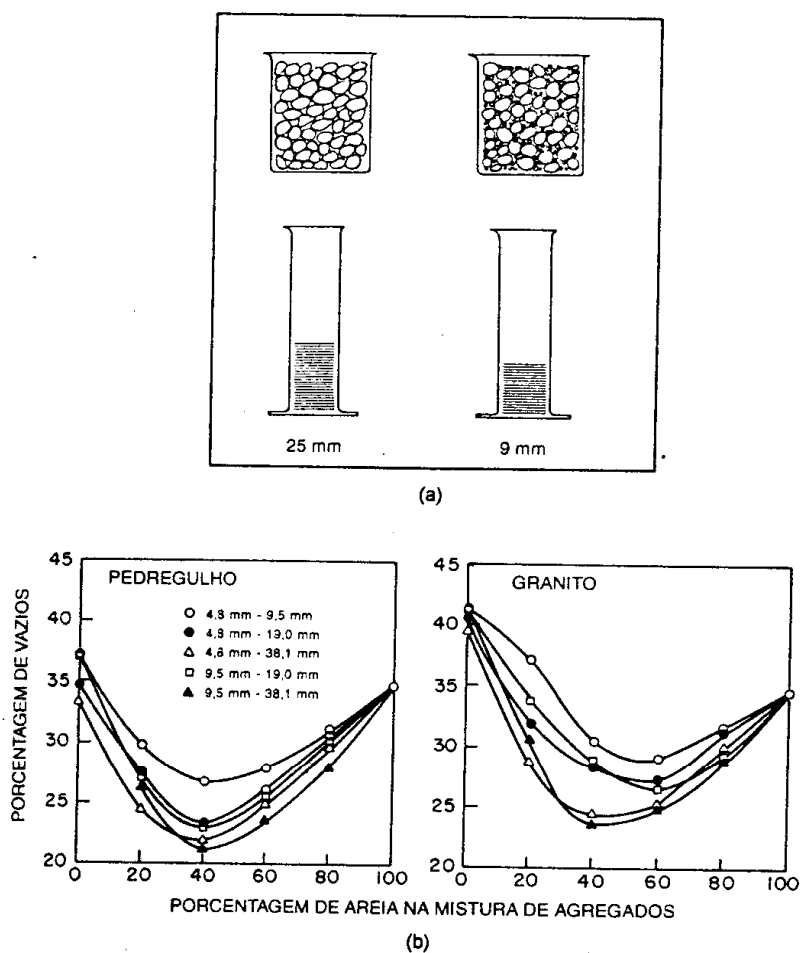


Figura 7-6 Redução do volume de vazios pela mistura de agregados graúdo e miúdo. [(a), De *Design and Control of Concrete Mixtures, 13th Edition*, Portland Cement Association, Skokie, Ill., 1988, p. 33; (b), de S. Walker, Circular 8, National Sand and Gravel Association, 1930.]

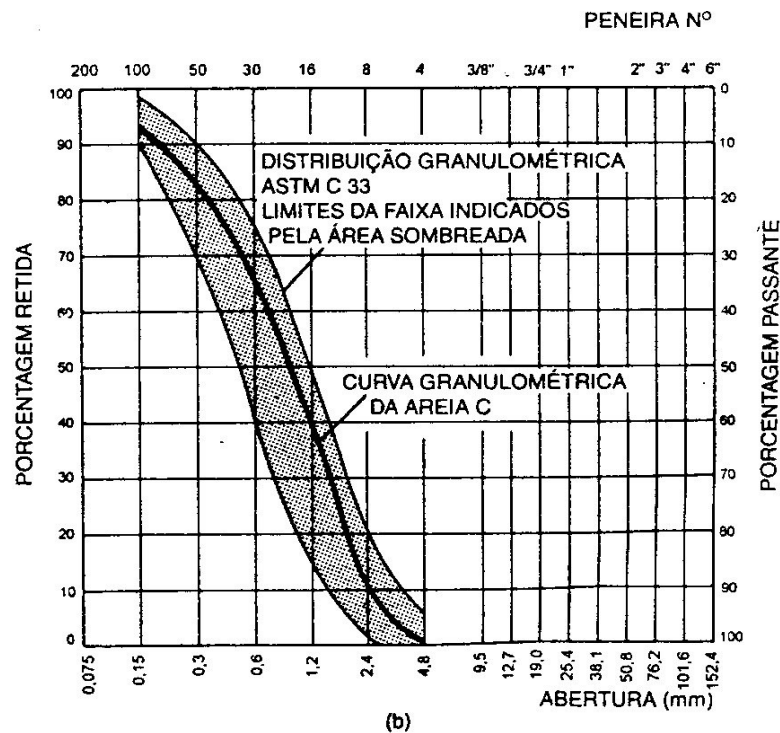
Fig. 4(a)

CÁLCULOS DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Data	01/6/84			01/6/84			01/6/84		
Procedência	A (Areia fina para mistura)			B (Areia de concreto)			C (Areia de concreto)		
Massa da Amostra	455 g			450 g			456 g		
Peneira Abertura (mm)	Massa retida	% Retida		Massa retida	% Retida		Massa retida	% Retida	
		Individual	Acumulada		Individual	Acumulada		Individual	Acumulada
4,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,4	0	0	0	40,5	9,1	9	42,1	9,2	9
1,2	2,8	0,6	1	86,0	19,1	28	137,0	30,2	39
0,6	10,1	2,2	3	94,5	21,0	49	112,1	24,7	64
0,3	259,2	56,9	60	135,9	30,2	79	84,9	18,7	83
0,15	173,1	38,0	98	77,0	17,1	96	48,8	10,8	94
0,075	5,6	1,2	99	13,5	3,0	99	29,1	6,4	100
Fundo	3,3	0,7	100	2,1	0,5	100	1,0	0,2	100
Total	454,1	Módulo de finura	1,62	449,5	Módulo de finura	2,61	455,0	Módulo de finura	2,89

(a)

Fig. 4(b)



(b)

Figura 4 (a) Determinação do módulo de finura a partir dos resultados da análise granulométrica; (b) curva típica de composição granulométrica de areia que atende aos limites da ASTM C 33.⁴³

Forma e Textura Superficial

A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco do que endurecido; comparadas às partículas lisas e arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto.

A forma diz respeito às características geométricas tais como: arredondada, angulosa, alongada ou achatada. Partículas formadas por atrito tendem a ser **arredondadas**, pela perda de vértices e arestas. Areias de depósitos eólicos, assim como areia e pedregulho de zonas marítimas ou leitos de rio, têm geralmente uma forma bem arredondada. Agregados de rochas intrusivas britadas possuem vértices e arestas bem definidos e são chamados de **angulosos**. Geralmente, produzem partículas equidimensionais. Calcários estratificados, arenitos e folhelho tendem a produzir fragmentos alongados e achatados, especialmente quando são usados britadores de mandíbula no beneficiamento. Aquelas partículas cuja espessura é relativamente pequena em relação a outras duas dimensões, são chamadas de **lamelares** ou **achatadas**, enquanto aquelas cujo comprimento é consideravelmente maior do que as outras duas dimensões são chamadas de **alongados**. Algumas vezes, um outro termo usado para descrever a forma de agregados graúdos é a **área específica volumétrica**, que é definida como a relação entre a área superficial e o volume. Partículas esféricas ou bem arredondadas tem baixo valor de área específica, mas partículas alongadas e achatadas possuem valor elevado de área específica.

Fotografias de partículas de várias formas são mostradas na Fig. 2-3. Os agregados devem ser, relativamente, isentos de partículas alongadas e lamelares. As partículas alongadas, em forma de lâmina, devem ser evitadas ou limitadas a no máximo 15%, em massa, do total do agregado. Este critério se aplica não apenas para agregado graúdo, mas também para areias artificiais (resultantes da britagem de rochas), que contêm grãos alongados e produzem concreto muito áspero.

A classificação da **textura superficial**, que é definida pelo grau de quanto a superfície do agregado é lisa ou áspera, é baseada em uma avaliação visual. A textura superficial do agregado depende da dureza, granulação e porosidade da rocha matriz e da sua subsequente exposição à ação de atrito. Sendo, “flint” e escórias densas apresentam uma textura lisa, vítrea. Areia, pedregulhos e “chert” são lisos em seu estado natural. Pedras britadas de granito, basalto e calcário apresentam uma textura áspera. Pumicita, escória expandida e cinza volante sinterizada apresentam uma textura celular com poros visíveis.

Há evidências de que, pelo menos nas primeiras idades, a resistência do concreto, particularmente a resistência à flexão, pode ser afetada pela textura do agregado; uma textura mais áspera parece favorecer a formação de uma aderência mecânica forte entre a pasta de cimento e o agregado. Em idades mais avançadas, com o desenvolvimento de uma forte aderência química entre a pasta e o agregado, esse efeito pode não ser tão importante.

Substâncias Deletérias

Substâncias deletérias são aquelas que estão presentes como constituintes minoritários, tanto nos agregados graúdos quanto nos miúdos, mas que são capazes de prejudicar a trabalhabilidade, a pega e endurecimento e as características de durabilidade do concreto. Na Tabela 7-7, são apresentadas uma lista de substâncias nocivas, seus possíveis efeitos no concreto e as quantidades máximas permitidas nos agregados, fixadas pela Especificação ASTM C33.

Tabela 1 - Limites de substâncias deletérias nos agregados para concreto

Substância	Efeitos deletérios possíveis no concreto	Teor máximo permitido (% , em massa)	
		Agregado miúdo	Agregado graúdo ^a
Material passante na Peneira de 75 µm de Abertura (Nº 200)			
Concreto sujeito à abrasão	Afeta trabalhabilidade: Aumenta consumo de água	3 ^b 5 ^b	} 1
Demais concretos			
Torrões de argila e partículas friáveis	Afeta trabalhabilidade e a resistência à abrasão	3	5
Carvão e linhito			
Concreto Aparente	Afeta durabilidade; causa manchas	0,5	} 0,5
Demais concretos		1,0	
“Chert” (massa específica menor do que 2400kg/m ³)	Afeta durabilidade		5

^a Os limites da ASTM C 33 para substâncias deletérias no agregado graúdo variam com as condições de exposição e tipo de estrutura de concreto. Os valores apresentados aqui são para estruturas externas expostas a condições climáticas moderadas.

^b No caso de areia artificial, se o material pulverulento menor do que 75 μm consistir de pó de fraturamento da rocha, essencialmente livre de argila ou folhelho, esses limites podem ser aumentados para 5 e 7%, respectivamente.

Fonte: 1991 Annual Book of ASTM Standardds, Section 4, Vol. 04.02.

Além dos materiais listados na Tabela 7-7, há outras substâncias que podem ter efeitos deletérios, envolvendo reações químicas no concreto. Tanto para agregados miúdos quanto graúdos, a ASTM C33 exige que “agregado para uso em concreto, que será submetido a imersão em água, exposição prolongada à atmosfera úmida, ou contato com solo úmido, não deve conter quaisquer materiais que sejam potencialmente reativos com os álcalis do cimento, em quantidade suficiente para causar expansão; a menos que tais materiais estejam presentes em quantidades desprezíveis, o agregado pode ser usado com um cimento contendo menos de 0,6% de álcalis ou com a adição de um material que tenha mostrado evitar a expansão nociva da reação álcali-agregado.” Sulfetos de ferro, especialmente marcassita, presente como inclusões em certos agregados, têm causado uma reação expansiva. No meio saturado de cal do concreto de cimento Portland, sulfetos de ferro reativos podem se oxidar para formar sulfato ferroso, que causa ataque por sulfatos ao concreto e a corrosão da armadura de aço. Agregados contaminados com gipsita ou outros sulfatos solúveis, como sulfatos de magnésio, sódio ou potássio, também promovem ataque por sulfatos. Recentemente, casos de falha na pega do concreto foram relatados, na produção de dois blocos de fundação em usinas do sul da Irlanda. O problema foi atribuído à presença de quantidades significativas de chumbo e zinco (a maior parte na forma de sulfetos), no agregado calcítico. Aqueles blocos que tiveram problema de pega, continham 0,11% ou mais de composto de chumbo ou 0,15% ou mais de composto de zinco, em massa do concreto. Sais solúveis de chumbo ou zinco são retardadores da hidratação do cimento Portland, de tal potência, que concretos experimentais feitos com amostras do agregado contaminado não desenvolveram qualquer resistência após 3 dias de cura. Deve-se observar que problemas de pega e endurecimento do concreto também podem ser causados por impurezas orgânicas no agregado, como matéria vegetal em decomposição que pode estar presente em forma de lodo orgânico ou húmus.

MÉTODOS DE ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para informações adicionais, é dada na Tabela 7-8 uma lista de métodos de ensaio da ASTM para determinação das várias características dos agregados, incluindo o significado do ensaio.

Tabela 2 - Ensaio normalizados da ASTM para caracterização de agregados

Característica	Importância	Nº do Método		Critério ou Assunto relacionado
		ASTM*	ABNT	
Resistência à abrasão e desintegração	Índice de qualidade do agregado; resistência ao desgaste de pisos, pavimento	ASTM C 131 ASTM C 535 ASTM C 779	NBR 6465/84	Porcentagem máxima de perda de massa Profundidade e tempo de desgaste
Resistência ao congelamento e degelo	Escamamento superficial, aspereza, perda de seção e esburacamento	ASTM C 666 ASTM C 682		Nº máximo de ciclos ou período p/ resistir ao congelamento fator durabilidade
Resistência à desintegração por sulfatos	Durabilidade sob ação do intemperismo	ASTM C 88	NBR 12695/92 NBR 12696/92 NBR 12697/92	Perda de massa, partículas danificadas
Forma da partícula e textura superficial	Trabalhabilidade do concreto fresco	ASTM C 295 ASTM D 3398	NBR 7809/83	Porcentagem máxima de partículas lamelares ou alongadas
Composição granulométrica	Trabalhabilidade do concreto fresco; economia	ASTM C 117 ASTM C 136	NBR 7217/87	Porcentagens máximas e mínima passantes em peneiras normalizadas
Massa unitária	Cálculos de dosagem; classificação	ASTM C 29	NBR 7810/83 NBR 7251/82	Massa compactada e massa no estado sólido
Massa específica	Cálculos de dosagem	ASTM C 127, agr. Miúdo ASTM C 128, agr. graúdo	NBR 9776/87 NBR 9937/87	-
Absorção e umidade superficial	Controle da qualidade do concreto	ASTM C 70 ASTM C 127 ASTM C 128 ASTM C 566	NBR 9775/87 NBR 9777/87 NBR 9937/87 NBR 9939/87	-
Resistência à compressão e à flexão	Aceitação de agregado miúdo reprovado em outros testes	ASTM C 39 ASTM C 78	NBR 7221/87	Resistência maior do que 95% da resistência obtida com areia limpa
Terminologia e definição dos constituintes	Entendimento e comunicação inequívocos	ASTM C125 ASTM C 294	NBR 9935/87 NBR 7225/82 NBR09942/87	-
Constituintes dos agregados	Determinação do teor de materiais deletérios e orgânicos	ASTM C 40 ASTM C 87 ASTM C 117 ASTM C 123 ASTM C 142 ASTM C 295	NBR 7220/87 NBR 7221/87 NBR 7219/87 NBR 9936/87 NBR 7218/87 NBR 7389/92	Porcentagem máxima individual dos constituintes
Resistência à reatividade com álcalis e variação de volume	Sanidade contra a mudança de volume	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342	NBR 9773/87 NBR 9774/87 NBR 7389/92 NBR 10340/88	Expansão máxima, teores de sílica e dos constituintes alcalinos

ASTM C 586

- A maioria dos testes e características listadas estão referenciadas na ASTM C 33.
-
- N. T Os métodos brasileiros disponíveis também foram acrescentados à tabela, para facilitar eventuais pesquisas; mas, não representam, necessariamente, equivalência direta com o método americano relacionado na mesma linha.
 - N.T. Como anteriormente mencionado, no Brasil, é mais usual a classificação de agregados pela massa específica e não pela massa unitária
 - Algumas das Normas NBR mencionadas na tabela já possuem uma versão atualizada disponível no laboratório.

BIBLIOGRAFIA

- MEHTA, P. KUMAR E MONTEIRO, PAULO J.M. – CONCRETO ESTRUTURA, PROPRIEDADES E MATERIAIS, EDITORA PINI 1ª EDIÇÃO JUN/2000

ENSAIOS TECNOLÓGICOS

1 AGREGADO MIÚDO	22
1.1 AGREGADO MIÚDO - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE.	22
1.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL EM AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN.	24
1.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE TOTAL EM AGREGADOS MIÚDOS PELO MÉTODO DA ESTUFA.	25
1.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE TOTAL EM AGREGADOS MIÚDOS PELO MÉTODO DA FRIGIDEIRA.	26
1.5 AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	27
1.6 AGREGADO MIÚDO - DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS	30
1.7 DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO	31
1.8 AGREGADO EM ESTADO SOLTO - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	33
1.9 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS DO AGREGADO MIÚDO	34
1.10 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES E MATERIAIS FRIÁVEIS	35
2 AGREGADOS GRAÚDOS	37
2.1 AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	37
2.2 AGREGADO EM ESTADO SOLTO - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA	40
2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS DO AGREGADO GRAÚDO	41
2.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE TOTAL DO AGREGADO GRAÚDO	44

1 - AGREGADO MIÚDO

1.1 AGREGADO MIÚDO - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E MASSA ESPECÍFICA APARENTE.

NORMA: ABNT NM 52: 2002

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Capacidade mínima de 1kg e sensibilidade de 0,1g;
- Frasco Aferido;
- Estufa
- Recipiente para amostra
- 500g de agregado miúdo
- Água;
- Espátula;

EXECUÇÃO:

- 01) Pesar 500g de amostra na condição saturada superfície seca – amostra das baias externas (m_s);
- 02) Colocar a amostra no frasco e registrar a massa do conjunto (m_1);
- 03) Encher o frasco com água até próximo da marca de 500ml.
- 04) Movê-lo de forma a eliminar as bolhas de ar.
- 05) Após 1h, aproximadamente, completar com água até a marca de 500cm³ e determinar a massa total (m_2)
- 06) Retirar o agregado miúdo do frasco e secá-lo a (105 + ou – 5)°C até massa constante.
- 07) Esfriar a amostra e pesar (m)

RESULTADO:

a) A massa específica aparente do agregado seco:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a}$$

Onde:

d_1 = massa específica aparente do agregado seco (g/cm³)

m = massa da amostra seca em estufa (g)

V = volume da água adicionada ao frasco (cm³)

V_a = volume da água adicionada ao frasco (cm³) de acordo com a seguinte fórmula

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a}$$

Onde:

m_2 = massa total (frasco + agregado + água) em g.

m_1 = massa do conjunto (frasco + agregado) em g.

ρ_a = massa específica da água (g/cm³)

b) Massa específica do agregado saturado superfície seca

$$d_2 = \frac{m_s}{V - V_A}$$

Onde:

d_2 = massa específica do agregado saturado superfície seca (g/cm³)

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)

V = volume da água adicionada ao frasco (cm³)

V_a = volume da água adicionada ao frasco (cm³) conforme fórmula citada acima.

c) Massa específica (agregados a serem utilizados em concreto em sua condição natural de umidade)

$$d_3 = \frac{m}{(V - V_A) - \frac{m_s - m}{\rho_a}}$$

Onde:

d_3 = é a massa específica do agregado (g/cm³)

m = massa da amostra seca em estufa (g)

V = volume da água adicionada ao frasco (cm³)

V_a = volume da água adicionada ao frasco (cm³) conforme fórmula citada acima.

m_s = massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)

ρ_a = massa específica da água (g/cm³)

O resultado deve ser expresso com três algarismos significativos.

Os resultados realizados com a mesma amostra não devem diferir em mais de 0,02 g/cm³ para a massa específica.

1.2 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL EM AGREGADOS MIÚDOS POR MEIO DO FRASCO DE CHAPMAN.

NORMA: NBR 9775 (MAR/1987)

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Frasco de Chapman;
- Água;
- 500g de agregado miúdo;
- Funil;
- Espátula;
- Forma Metálica;

EXECUÇÃO:

- 01) Colocar água até a marca de 200cm³, cuidando para que não fique água aderida nas paredes;
- 02) Colocar cuidadosamente o agregado miúdo com o auxílio do funil e da espátula;
- 03) Ligeiramente inclinado, rotacionar (vai-vém) o frasco de Chapman de modo a propiciar a saída de pequenas bolhas de ar;
- 04) Verificar se não existe água ou agregado miúdo aderido nas paredes do gargalo;
- 05) Deixar o frasco de Chapman nivelado e vertical;
- 06) Realizar a Leitura (L) na escala graduada do gargalo.

RESULTADO:

A umidade é calculada por uma das seguintes fórmulas:

$$H = \frac{(L - 500/\gamma - 200)}{700 - L} \times 100 \text{ ou } H = \frac{100 \times [500 - (L - 200) \times \gamma]}{\gamma \times (L - 700)}$$

Onde:

H é a porcentagem de umidade, **L** é a leitura no frasco e **γ** é a massa específica absoluta do agregado.

O resultado final da umidade superficial deve ser a média de duas determinações consecutivas, feitas com amostras do mesmo agregado colhidas ao mesmo tempo e de locais diferentes.

Os resultados não devem diferir entre si mais do que 0,5%.

1.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE TOTAL EM AGREGADOS MIÚDOS PELO MÉTODO DA ESTUFA.

NORMA: Não normalizado pela ABNT

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Estufa;
- Forma metálica (vasilhame);
- 500g de agregado úmido (P_i);
- Espátula;
- Luvas;

EXECUÇÃO:

- 01) Com muito cuidado e com as luvas proceda;
- 02) Colocar o agregado dentro do vasilhame e levar até a estufa por 24 horas até a consistência de massa;
- 03) Retire a fora com o agregado da estufa;
- 04) Deixar esfriar e pesar o agregado agora seco (P_f).

RESULTADO:

A umidade é calculada pela seguinte fórmula

$$H = \frac{(P_i - P_f)}{P_f} \times 100 (\%)$$

Onde:

P_i é o peso inicial ou peso do agregado úmido e P_f é o peso final ou peso do agregado seco.

1.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE TOTAL EM AGREGADOS MIÚDOS PELO MÉTODO DA FRIGIDEIRA.

NORMA: Não normalizado pela ABNT

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Fonte de calor (Liquinho);
- Vasilha (Tacho/frigideira)
- 500g de agregado úmido (P_i);
- Espátula;
- Luvas;

EXECUÇÃO:

- 01) Com muito cuidado e com as luvas proceda;
- 02) Colocar o agregado dentro do vasilhame e levar até a fonte de calor;
- 03) Com a espátula mexer constantemente;
- 04) Perceba que a água (umidade) retida no agregado está evaporando;
- 05) Assim que parar a evaporação, retire o vasilhame da fonte de calor;
- 06) Apague a fonte de calor;
- 07) Deixar esfriar e pesar o agregado agora seco (P_f);
- 08) repetir o procedimento até atingir a constância de massa.

RESULTADO:

A umidade é calculada pela seguinte fórmula

$$H = \frac{(P_i - P_f)}{P_f} \times 100 (\%)$$

Onde:

P_i é o peso inicial ou peso do agregado úmido e P_f é o peso final ou peso do agregado seco.

1.5 AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Agregado Miúdo:

NORMA: ABNT NBR NM 248: 2003

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Série de Peneiras denominadas normal: 4,75mm - 2,36mm - 1,18mm - 600 μm - 300 μm - 150 μm e fundo;
- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- 2 kg de agregado miúdo seco em estufa até a constância de massa;
- Agitador de Peneiras;

EXECUÇÃO:

- 01) Formar a amostra para o ensaio seguindo a tabela abaixo:

Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	
Mín. 0,3kg Ensaio: 0,5kg	D.Max = 9,5mm	1kg
	D.Max = 12,5mm	2kg
	D.Max = 19mm	5kg
	D.Max = 25mm	10kg
	D.Max = 37,5mm	15kg

- 02) Montar a série de peneiras e fundo apropriadamente;
- 03) Colocar a amostra ou porções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. A tabela abaixo mostra a máxima quantidade de material sobre as telas das peneiras:

Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	
0,2kg	D.Max = 4,75mm	0,33Kg
	D.Max = 9,5mm	0,67kg
	D.Max = 12,5mm	0,89kg
	D.Max = 19mm	1,4kg
	D.Max = 25mm	1,8kg
	D.Max = 37,5mm	2,7kg

- 04) A amostra é peneirada através da série normal de peneiras, de modo que seus grãos sejam separados e classificados em diferentes tamanhos;
- 05) O peneiramento deve ser contínuo, de forma que após 1 minuto de peneiramento contínuo, através de qualquer peneira não passe mais que 1% do peso total da amostra (agitador de peneiras por ± 5 min e peneiramento manual até que não passe quantidade significativa de material);
- 06) O material retido em cada peneira e fundo é separado e pesado;
- 07) O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa inicial da amostra.

- 08) Se um agregado fino apresentar entre 5% a 15% de material mais grosso do que 4,8mm, será ele ainda considerado globalmente como “agregado miúdo”;
- 09) Se um agregado grosso apresentar até 15% de material passando pela peneira 4,8mm, será ele, ainda, globalmente considerado como “agregado graúdo”;
- 10) Porém, se mais do que 15% de um agregado fino for mais grosso do que 4,8mm, ou mais do que 15% de um agregado grosso passar na peneira 4,8mm, serão consignadas separadamente as composições granulométricas das partes do material acima e abaixo da referida peneira.

RESULTADO:

PENEIRA #	Peso retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,75mm	Peso retido na # 4,8mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Retida
2,36mm	Peso retido na # 2,4mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
1,18mm	Peso retido na # 1,2mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
0,6mm	Peso retido na # 0,6mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
0,3mm	Peso retido na # 0,3mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
0,15mm	Peso retido na # 0,15mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
Fundo	Peso retido no fundo	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
Total	Somatório= peso da amostra	100%	

Dimensão Máxima Característica (DMC):

Corresponde à abertura da malha da peneira (em mm) na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% da massa.

Módulo de Finura (M.F.):

O Módulo de Finura é calculado pela fórmula:

$$M.F. = \frac{\sum \% \text{ Retida Acumulada} - \text{Fundo e } \# \text{ intermediárias}}{100}$$

Classificação do agregado:

Abertura da malha das peneiras (mm)	Faixas em relação as % retidas acumuladas			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona	Zona	Zona	Zona
	Utilizável	Ótima	Utilizável	Ótima
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	7
4,75	0	0	5	10
2,36	0	10	20	25
1,18	5	20	30	50
0,6	15	35	55	70
0,3	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100
Fundo	100	100	100	100

Agregado Miúdo	Módulo de Finura
Zona utilizável inferior	$1,55 \leq MF < 2,20$
Zona ótima	$2,20 \leq MF < 2,90$
Zona utilizável inferior	$2,90 \leq MF < 3,50$

1.6 AGREGADO MIÚDO - DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS

NORMA: ABNT NBR NM 49:2001

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 0,01g;
- Copos de Becker de aproximadamente 1000ml;
- 200g de agregado miúdo seco ao ar;
- Água destilada;
- Hidróxido de sódio (Soda cáustica);
- Provetas graduadas de 10ml e 100ml;
- Frasco Erlenmeyer com rolha esmerilhada de 250ml;
- Funil de haste longa;
- Papel filtro qualitativo;
- Tubo de ensaio;
- Colorímetro ou kit com Soluções Padrão;
- Bastão de vidro.

EXECUÇÃO:

- 01) Preparar no Copo de Becker de 1000ml a solução de hidróxido de sódio a 3%, para isso, adicionar 30g de hidróxido de sódio (NaOH) a 970g de água destilada (H₂O), com o auxílio do bastão de vidro, mexer até a dissolução total do hidróxido de sódio;
- 02) Colocar a areia no Frasco de Erlenmeyer e adicionar 100ml da solução de hidróxido de sódio a 3%;
- 03) Agitar vigorosamente e deixar em repouso por 24 ± 2h em ambiente escuro;
- 04) Com o auxílio do funil, papel filtro e do Copo de Becker de 400ml, filtrar a solução contida no frasco de Erlenmeyer;
- 05) Encher um tubo de ensaio com a solução filtrada;
- 06) Efetuar a análise colorimétrica (comparação) entre a solução filtrada e o colorímetro ou com o kit das Soluções Padrão. Ou simplesmente com solução padrão preparada no laboratório (Solução de ácido Tânico)

RESULTADO:

O resultado dar-se-á em partes de matéria orgânica por um milhão de partes de água (ppm), para que isso ocorra comparamos a solução analisada com a escala colorimétrica padrão, cuja as matizes, da mais clara para a mais escura, correspondem a 100, 200, 300, 400 e 500 ppm.

A solução padrão preparada no laboratório corresponde a 300 ppm, sendo assim se a solução filtrada estiver mais escura que a solução padrão, a areia contém mais impurezas orgânica do que a norma permite e deve-se realizar o ensaio de qualidade da areia.

1.7 DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO

NORMA: ABNT NBR 6467:2006

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- 4 kg de agregado miúdo seco e estufa até a constância de massa;
- forma retangular pequena;
- Provetá graduada;
- Régua;
- Concha ou pá;

EXECUÇÃO:

- 01) A amostra do agregado deverá estar na temperatura ambiente;
- 02) O volume do Agregado a ser ensaiado deverá ser no mínimo o dobro do volume da forma pequena (4kg);
- 03) Colocar a amostra dentro da forma grande;
- 04) Adicionar água seguindo a tabela abaixo para obter o teor de umidade requerido;;

Teor de Umidade (%)	0	0,5	1	2	3	4	5	7	9	12
Quantidade de água (g)	0	20	20	40	40	40	40	80	80	120

- 05) Homogeneizar a amostra com esta quantidade de água adicionada, com isso asseguramos uma umidade constante em toda a amostra;
- 06) Determinar a massa unitária tendo como caixa a forma pequena ($\gamma = \frac{\text{Massa}}{\text{Volume}}$);
- 07) Despejar o conteúdo da forma pequena na forma grande;
- 08) Homogeneizar a amostra;
- 09) Volte ao item 04, adicione uma nova quantidade de água, determine novamente a massa unitária, assim sucessivamente para os diversos teores de umidade. (0,5 1 2.....7 9 12%)

RESULTADO:

Para os diversos teores de umidade (10 teores), calcular os respectivos coeficientes de inchamento pela seguinte fórmula:

$$\frac{V_h}{V_o} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \frac{(100 + H)}{100}$$

Onde:

- γ_s = massa específica aparente do agregado seco.
- γ_h = massa específica aparente do agregado no estado úmido.
- H = teor de umidade do agregado, em %

Elaborar um gráfico tendo como eixo das abcissas (eixo x) os teores de umidade, e como eixo das ordenadas (eixo y) os coeficientes de inchamento.

Traçar a curva de inchamento, de modo a obter uma representação aproximada do fenômeno, conforme a próxima página:

A umidade crítica (ponto C) é a umidade indicada pela intersecção da reta vertical com o eixo x, sendo este teor de umidade o responsável pelo maior inchamento do agregado.

O Coeficiente de Inchamento Médio (CIM) é a média aritmética dos pontos A e B.

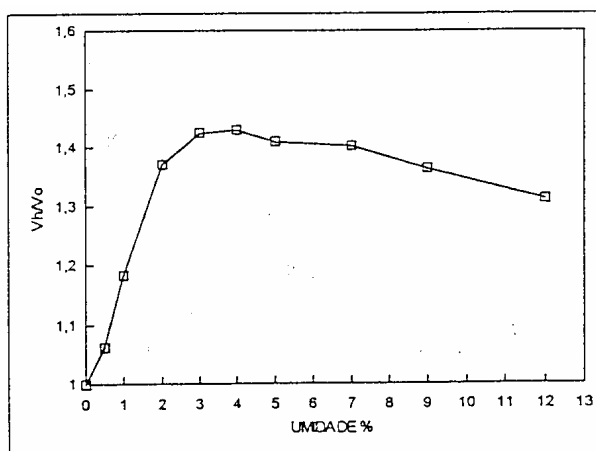
$$CIM = \frac{A + B}{2}$$

onde:

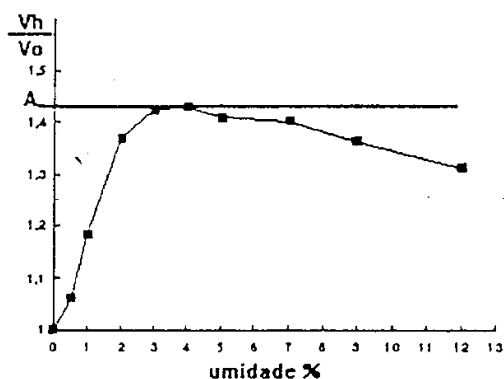
A = coeficiente máximo.

B = coeficiente para a umidade crítica.

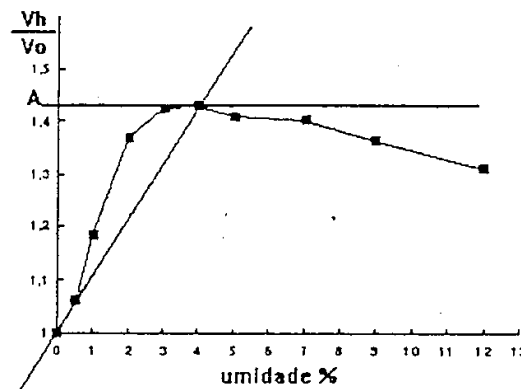
Determinação da umidade crítica:



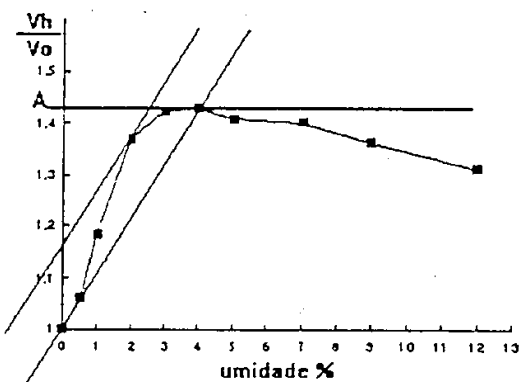
Traçar tangente à curva e paralela ao eixo x



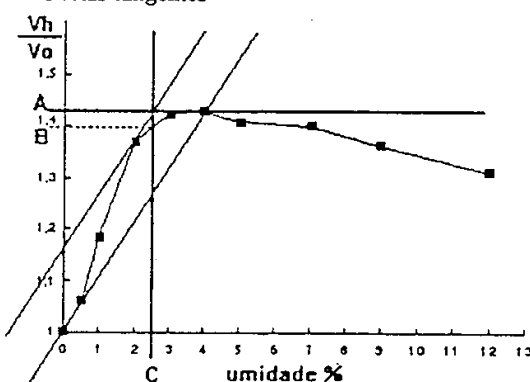
Traçar corda que une a origem ao ponto de tangência



Traçar nova tangente à curva e paralela a corda



Traçar vertical que passa pela intersecção entre as duas retas tangentes



1.8 AGREGADO EM ESTADO SOLTO - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

NORMA: ABNT NBR 7251:1982

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança com limite de erro de 0,5% da amostra;
- Recipiente paralelepípedo;
- Estufa (105 a 110°C);
- Pá / concha;
- Régua.

*Recipiente dimensões mínimas:

D.Max. (mm)	Base (mm)	Altura (mm)	Volume (dm ³) (V)
≤4,8	316 x 316	150	15
>4,8 e ≤ 50	316 x 316	200	20
> 50	447 x 447	300	60

EXECUÇÃO:

- 01) Preparar a amostra a ser ensaiada de modo que esta tenha pelo menos o dobro do volume do recipiente utilizado;
- 02) Sempre que a amostra ensaiada não estiver no estado seco, deve ser indicado o teor de umidade correspondente;
- 03) Encher o recipiente deverá com o auxílio de uma concha/pá, sendo o agregado lançado de uma altura de 10 a 12cm do topo do recipiente;
- 04) A superfície deverá ser alisada com uma régua tomando como limite as bordas da caixa (rasar o topo);
- 05) O recipiente é pesado (kg) com o material nele contido, a massa do agregado (Ma) é a diferença entre este e do recipiente vazio;
- 06) Durante a execução do ensaio deve-se tomar cuidado com a caixa (recipiente) para que não ocorra segregação das partículas devido a batidas ou trepidações na mesma, bem como com o agregado lançado (derramado da concha para a caixa);
- 07) Deve-se promover pelo menos três determinações com amostras distintas $Ma(1)$ $Ma(2)$ e $Ma(3)$;

RESULTADO:

A massa específica aparente é a média de três determinações dividindo-se a média das massas pelo volume do recipiente utilizado.

$$\gamma = \frac{Ma}{V} \quad (\text{g} / \text{cm}^3)$$

$$\gamma \text{ médio} = \frac{\gamma(1) + \gamma(2) + \gamma(3)}{3}$$

1.9 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS DO AGREGADO MIÚDO

NORMA: ABNT NBR NM 46:2006

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Conjunto de Peneiras (# 1,18mm e # 0,075mm);
- Uma recipiente para lavagem do agregado;
- Água corrente;
- Estufa;
- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Agregado miúdo [amostra seca em estufa (105 ± 5)°C até a constância de massa];
- Recipiente de vidro;
- Luvas.

EXECUÇÃO:

01) Pesar a amostra do agregado conforme a tabela abaixo:

D.Max (mm)	Massa Mínima (g) (<i>mi</i>)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
37,5	5000

- 02) Coloca-se o agregado no recipiente;
- 03) Coloca-se água dentro do recipiente de modo que não transborde quando for agitada;
- 04) Agita-se para provocar a separação e suspensão do material pulverulento;
- 05) Verte-se a água com o material em suspensão pelo conjunto de peneiras;
- 06) Lavar as peneiras sobre o recipiente, de modo que todo o material retido nelas, volte para junto da amostra em análise;
- 07) Repete-se o processo (volte ao item 02) até que a água se torne clara. Para verificar isso utiliza-se o recipiente de vidro;
- 08) O agregado lavado é finalmente seco em estufa até a constância de massa;
- 09) Pesa-se o agregado seco (*mf*).

RESULTADO:

O Percentual do material pulverulento é calculado pela fórmula:

$$m = \frac{(mi - mf)}{mi} \times 100 (\%)$$

- m* – É a porcentagem de material mais fino que a peneira de # 0,075mm por lavagem (material pulverulento);
mi – É a massa original da amostra seca, em gramas;
mf – É a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

Obs. O resultado deve ser a média aritmética de duas determinações.

1.10 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ARGILA EM TORRÕES E MATERIAIS FRIÁVEIS

NORMA: NBR 7218:1982

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Recipiente;
- Série de peneiras;
- Balança →Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Agregado miúdo seco e estufa (105 a 110°C) até a constância de massa ($\pm 1500g$);
- Estufa;

EXECUÇÃO:

01) Peneiras o agregado miúdo através da série abaixo:

- # → 76mm
- # → 38mm
- # → 19mm
- # → 4,8mm
- # → 1,2mm

02) Formar as amostras para o ensaio com os pesos mínimos indicados na tabela:

MATERIAL RETIDO ENTRE PENEIRAS	PESO MÍNIMO DA AMOSTRA (kg) (Pf)
1,2 e 4,8mm	0,2
4,8 e 19mm	1
19 e 38mm	3
38 e 76mm	5

03) Colocar cada uma das amostras em diferentes recipientes;

04) Espalha-las na forma e analisar a presença de argila em torrões;

05) Identificar todas as partículas com aparência de torrões de argila ou materiais friáveis, pressiona-las com os dedos, de modo a desfazê-las (destorroamento);

06) Peneirar cada uma das amostras em suas respectivas peneiras, seguindo o quadro abaixo:

AMOSTRA	PENEIRA P/REMOÇÃO DE RESÍDUOS
1,2 e 4,8mm	0,6mm
4,8 e 19mm	2,4mm
19 e 38mm	4,8mm
38 e 76mm	4,8mm

07) Pesar cada material retido em suas respectivas peneiras (Pf);

08) Calcular o teor parcial da argila em torrões e materiais friáveis (TA) de cada fração indicando-a em porcentagem segundo a expressão:

$$\% TA = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

RESULTADO:

O teor global da argila em torrões é calculado segundo a expressão:

$$\sum (\% TA \times \text{Retida}^*)$$

* Valor extraído da análise granulométrica, correspondente a faixa de peneiras segundo o item 02 deste ensaio.

2 – AGREGADOS GRAÚDOS

2.1 AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Agregado Graúdo:

NORMA: ABNT NBR NM 248:2003

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Série de Peneiras denominadas normal: (... 31,5 - 25 – 19 – 12,5 – 9,5 - 6,3 – 4,75)mm e fundo;
- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- 2 kg de agregado miúdo seco em estufa até a constância de massa;
- Agitador de Peneiras;

EXECUÇÃO:

- 01) Formar a amostra para o ensaio seguindo a tabela abaixo:

Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	
0,3kg	D.Max = 9,5mm	1kg
	D.Max = 12,5mm	2kg
	D.Max = 19mm	5kg
	D.Max = 25mm	10kg
	D.Max = 37,5mm	15kg

- 02) Montar a série de peneiras e fundo apropriadamente;
- 03) Colocar a amostra ou porções da mesma sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. A tabela abaixo mostra a máxima quantidade de material sobre as telas das peneiras:

Agregado Miúdo	Agregado Graúdo	
0,2kg	D.Max = 4,75mm	0,33Kg
	D.Max = 9,5mm	0,67kg
	D.Max = 12,5mm	0,89kg
	D.Max = 19mm	1,4kg
	D.Max = 25mm	1,8kg
	D.Max = 37,5mm	2,7kg

- 04) A amostra é peneirada através da série normal de peneiras, de modo que seus grãos sejam separados e classificados em diferentes tamanhos;
- 05) O peneiramento deve ser contínuo, de forma que após 1 minuto de peneiramento contínuo, através de qualquer peneira não passe mais que 1% do peso total da amostra (agitador de peneiras por ± 5 min e peneiramento manual até que não passe quantidade significativa de material);
- 06) O material retido em cada peneira e fundo é separado e pesado;
- 07) O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% da massa inicial da amostra.
- 08) Se um agregado fino apresentar entre 5% a 15% de material mais grosso do que 4,8mm, será ele ainda considerado globalmente como “agregado miúdo”;
- 09) Se um agregado grosso apresentar até 15% de material passando pela peneira 4,8mm, será ele, ainda, globalmente considerado como “agregado graúdo”;

- 10) Se porém, mais do que 15% de um agregado fino for mais grosso do que 4,8mm, ou mais do que 15% de um agregado grosso passar na peneira 4,8mm, serão consignadas separadamente as composições granulométricas das partes do material acima e abaixo da referida peneira.

RESULTADO:

PENEIRA #	Peso retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
31,5mm	Peso retido na # 31,5mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Retida
25mm	Peso retido na # 25mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
19mm	Peso retido na# 19mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
12,5mm	Peso retido na# 12,5mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
9,5mm	Peso retido na # 9,5mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
6,3mm	Peso retido na # 6,3mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
4,75mm	Peso retido na # 4,75mm	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
Fundo	Peso retido no fundo	$\frac{\text{Peso retido} \times 100}{\text{Total}}$	%Ret. Acum. Anterior + % Retida
Total	Somatório= peso da amostra	100%	

Dimensão Máxima Característica (*DMC*):

Corresponde à abertura da malha da peneira (em mm) na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% da massa.

Módulo de Finura (*M.F.*):

O Módulo de Finura é calculado pela fórmula:

$$M.F. = \frac{\sum \% \text{ Retida Acumulada} - \text{Fundo e } \# \text{ intermediárias}}{100}$$

Classificação do agregado:

Abertura das Peneiras (mm)	Faixas em relação as porcentagens retidas acumuladas				
	Brita	Brita	Brita	Brita	Brita
	4,75 / 12,5	9,5 / 25	19 / 31,5	25 / 50	37,5 / 75
	Nº 0	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4
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	87 - 100	
19		2 - 15	65 - 95	95 - 100	
12,5	0 - 5	40 - 65	92 - 100		
9,5	2 - 15	80 - 100	92 - 100		
6,3	40 - 65	92 - 100	95 - 100		
4,75	80 - 100	95 - 100			
2,36	95 - 100				

2.2 AGREGADO EM ESTADO SOLTO - DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA

NORMA: ABNT NBR 725:1982

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança com limite de erro de 0,5% da amostra;
- Recipiente paralelepípedo;
- Estufa (105 a 110°C);
- Pá / concha;
- Régua.

*Recipiente dimensões mínimas:

D.Max. (mm)	Base (mm)	Altura (mm)	Volume (dm ³) (V)
≤4,8	316 x 316	150	15
>4,8 e ≤ 50	316 x 316	200	20
> 50	447 x 447	300	60

EXECUÇÃO:

- 08) Preparar a amostra a ser ensaiada de modo que esta tenha pelo menos o dobro do volume do recipiente utilizado;
- 09) Sempre que a amostra ensaiada não estiver no estado seco, deve ser indicado o teor de umidade correspondente;
- 10) Encher o recipiente deverá com o auxílio de uma concha/pá, sendo o agregado lançado de uma altura de 10 a 12cm do topo do recipiente;
- 11) A superfície deverá ser alisada com uma régua tomando como limite as bordas da caixa (rasar o topo);
- 12) O recipiente é pesado (kg) com o material nele contido, a massa do agregado (Ma) é a diferença entre este e do recipiente vazio;
- 13) Durante a execução do ensaio deve-se tomar cuidado com a caixa (recipiente) para que não ocorra segregação das partículas devido a batidas ou trepidações na mesma, bem como com o agregado lançado (derramado da concha para a caixa);
- 14) Deve-se promover pelo menos três determinações com amostras distintas $Ma(1)$ $Ma(2)$ e $Ma(3)$;

RESULTADO:

A massa específica aparente é a média de três determinações dividindo-se a média das massas pelo volume do recipiente utilizado.

$$\gamma = \frac{Ma}{V} \text{ (g / cm}^3\text{)}$$

$$\gamma_{\text{médio}} = \frac{\gamma(1) + \gamma(2) + \gamma(3)}{3}$$

2.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATERIAIS PULVERULENTOS DO AGREGADO GRAÚDO

NORMA: ABNT NBR NM 46:2006

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Conjunto de Peneiras (# 1,18mm e # 0,075mm);
- Uma recipiente para lavagem do agregado;
- Água corrente;
- Estufa;
- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Agregado miúdo [amostra seca em estufa (105 ± 5)°C até a constância de massa];
- Recipiente de vidro;
- Luvas.

EXECUÇÃO:

10) Pesar a amostra do agregado conforme a tabela abaixo:

D.Max (mm)	Massa Mínima (g) (<i>mi</i>)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19	2500
37,5	5000

- 11) Coloca-se o agregado no recipiente;
- 12) Coloca-se água dentro do recipiente de modo que não transborde quando for agitada;
- 13) Agita-se para provocar a separação e suspensão do material pulverulento;
- 14) Verte-se a água com o material em suspensão pelo conjunto de peneiras;
- 15) Lavar as peneiras sobre o recipiente, de modo que todo o material retido nelas, volte para junto da amostra em análise;
- 16) Repete-se o processo (volte ao item 02) até que a água se torne clara. Para verificar isso utiliza-se o recipiente de vidro;
- 17) O agregado lavado é finalmente seco em estufa até a constância de massa;
- 18) Pesa-se o agregado seco (*mf*).

RESULTADO:

O Percentual do material pulverulento é calculado pela fórmula:

$$m = \frac{(mi - mf)}{mi} \times 100 (\%)$$

- m* – É a porcentagem de material mais fino que a peneira de # 0,075mm por lavagem (material pulverulento);
mi – É a massa original da amostra seca, em gramas;
mf – É a massa da amostra seca após a lavagem, em gramas.

Obs. O resultado deve ser a média aritmética de duas determinações.

2.4 AGREGADO GRAÚDO - DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA.

NORMA: NBR NM 53:2003

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g e com dispositivo para manter o recipiente que conterá a amostra suspenso na água, no centro do prato da balança);
- Recipiente / Forma;
- Cesto aramado;
- Fio de nylon;
- Tanque com água;
- Peneiras # 4,8mm e # 2,4mm;
- Estufa;
- Luvas.

EXECUÇÃO:

- 01) Peneirar a amostra na peneira 4,8mm desprezando todo o material passante;
- 02) A massa mínima da amostra a ser ensaiada é função da Dimensão Máxima Característica do agregado conforme a tabela abaixo:

D.M.C. (mm)	Massa Mínima (kg)
12,5 ou menor	2,0
19	3,0
25	4,0
37,5	5,0
50	8,0
63	12,0
75	18,0
125	75,0
150	125,0

- 03) Lavar a amostra e seca-la em estufa até a constância de massa;
- 04) Deixar a amostra esfriar até a temperatura ambiente;
- 05) Imergir o agregado em água, à temperatura ambiente, por um período de (24 ± 4) h;
- 06) Remover a amostra da água e espalha-la sobre um pano absorvente, promovendo a retirada da água superficial (enxugando) de cada partícula;
- 07) Pesar a amostra com aparência opaca, na condição saturada de superfície seca (**ms**);
- 08) Zerar a balança, com a corrente e o cesto, imersos em água;
- 09) Colocar a amostra (B) no cesto, imergí-lo e determinar o seu peso (**ma**);
- 10) Secar a amostra em estufa até a constância de massa, determinar a massa do agregado (**m**);.

RESULTADO:

- **Massa específica do agregado seco:**

$$d = \frac{m}{m - ma} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

d = massa específica do agregado seco (g)

m = massa ao ar da amostra seca (g)

ma = massa em água da amostra (g)

- **Massa específica na condição saturada superfície seca:**

$$ds = \frac{ms}{ms - ma} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

ds = massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (g)

ms = massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g)

ma = massa em água da amostra (g)

- **Massa específica aparente:**

$$da = \frac{m}{ms - ma} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

da = massa específica aparente do agregado (g)

m = massa ao ar da amostra seca (g)

ms = massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g)

ma = massa em água da amostra (g)

- **Absorção:**

$$A = \frac{ms - m}{m} \times 100 \text{ (\%)}$$

A = absorção da água em porcentagem

m = massa ao ar da amostra seca (g)

ms = massa ao ar da amostra na condição saturada superfície seca (g)

Obs. O resultado do ensaio é a média de duas determinações.

2.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE TOTAL DO AGREGADO GRAÚDO

NORMA: NBR 9939:1987

MATERIAIS/EQUIPAMENTOS:

- Balança → Cap. Mínima de 1kg e sensibilidade de 1g;
- Recipiente / Forma;
- Agregado graúdo com umidade (condição de uso);
- Estufa;
- Luvas.

EXECUÇÃO:

01) A massa mínima da amostra a ser ensaiada é função do Dimensão Máxima Característica do agregado conforme a tabela abaixo:

D.M.C. (mm)	Massa Mínima (g) (<i>M_i</i>)
9,5	1500
12,5	2000
19	3000
25	4000
38	6000
50	8000
76	13000

- 02) Secar a amostra e estufa até a constância de massa;
- 03) Deixar a amostra esfriar até a temperatura ambiente;
- 04) Pesar a amostra seca (***M_f***).

RESULTADO:

O teor de umidade total é calculado pela fórmula:

$$H = \frac{(M_i - M_f)}{M_f} \times 100 (\%)$$

FORMULÁRIOS PARA REGISTRO DOS RESULTADOS

- ANEXO 01 – AGREGADO MIÚDO – Arquivo em Excel na Internet ou no Xerox.
- ANEXO 02 – AGREGADO GRAÚDO – Arquivo em Excel na Internet ou no Xerox.