



Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Departamento de Engenharia
Disciplina: Materiais de Construção Civil I – ENG 1071

APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES

Elaboração: Prof. Dr. Izelman Oliveira
Modificação: Prof^a. MSc. Janaína Araújo

MACO I



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

ÍNDICE

1. AGREGADOS	6
1.1. INTRODUÇÃO	6
1.2. CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS:.....	6
1.3. CARACTERÍSTICAS DAS ROCHAS DE ORIGEM:.....	7
1.4. AGREGADOS NATURAIS:.....	8
1.5. AGREGADOS ARTIFICIAIS:.....	9
1.6. AGREGADOS INDUSTRIALIZADOS:.....	12
2. NBR NM 26 – AGREGADOS – AMOSTRAGEM	13
3. NBR NM 27 – AGREGADOS – REDUÇÃO DA AMOSTRA DE CAMPO	15
4. NBR 7251/1982 – AGREGADO EM ESTADO SOLTO – MASSA UNITÁRIA (SUBSTITUÍDA PELA NBR NM 45).....	17
4.1. ATIVIDADE PRÁTICA: DETERMINAR A MASSA UNITÁRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS E MIÚDOS.....	18
5. NBR 9776 – AGREGADOS – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO POR MEIO DO FRASCO CHAPMAN (SUBSTITUÍDA PELA NBR NM 52).....	19
5.1. ENSAIO PRÁTICO: DETERMINAR A MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO UTILIZANDO O FRASCO DE CHAPMAN	20
6. NBR NM 53 – AGREGADO GRAÚDO - DETERMINAÇÃO DE MASSA ESPECÍFICA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	20
6.1. ENSAIO PRÁTICO: DETERMINAR A MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO PELA BALANÇA HIDROSTÁTICA.....	22
7. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DE AGREGADOS	22
8. NBR 9775 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO FRASCO DE CHAPMAN	24
9. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO APARELHO SPEEDY - DNER - ME 52 - 64	25
10. AGREGADOS: DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	26
10.1. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO FOGAREIRO:	26
10.2. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DA ESTUFA:	27
10.3. DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO AGREGADO MIÚDO PELA SECAGEM COM ÁLCOOL:	27
11. DISTRIBUIÇÃO DOS GRÃOS.....	28
12. NBR NM 248 – AGREGADOS – DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA	31
13. NBR 6467 – INCHAMENTO DO AGREGADO MIÚDO	42
14. NBR 7219 – MATERIAIS PULVERULENTOS (SUBSTITUÍDA PELA NBR NM 46)	45
15. NBR NM 49 - IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS EM AGREGADO MIÚDO.....	46
16. EXERCÍCIOS.....	47
EXERCÍCIO 2	48
EXERCÍCIO 3	50



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

EXERCÍCIO 4	51
EXERCÍCIO 5	51
EXERCÍCIO 6	51
EXERCÍCIO 7	51
EXERCÍCIO 8	52
EXERCÍCIO 9	52
EXERCÍCIO 10	52
EXERCÍCIO 11	53
EXERCÍCIO 12	53
EXERCÍCIO 13	53
EXERCÍCIO 14	53
EXERCÍCIO 15	53
EXERCÍCIO 16	53
EXERCÍCIO 17	53
EXERCÍCIO 18	54
EXERCÍCIO 19	54
EXERCÍCIO 20	54
EXERCÍCIO 21	54
EXERCÍCIO 22	54
17. RESPOSTAS	55
18. RESOLUÇÃO DOS EXERCÍCIOS:	55
19. NBR 9775 - DETERMINAÇÃO DA UMIDADE SUPERFICIAL DO AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO DO FRASCO DE CHAPMAN	77
20. NBR 9776 – AGREGADOS – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO MIÚDO POR MEIO DO FRASCO CHAPMAN	79
21. DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO AGREGADO GRAÚDO PELA BALANÇA HIDROSTÁTICA (NBR 9937)	80
22. AGLOMERANTES HIDRÁULICOS	84
23. CIMENTO PORTLAND	84
23.1. PROCESSO DE FABRICAÇÃO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	84
23.2. ESTRUTURA CRISTALINA E REATIVIDADE DOS COMPOSTOS.....	86
24. HIDRATAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND	87
24.1. MECANISMO E CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO	87
24.2. HIDRATAÇÃO DOS ALUMINATOS	88
24.3. HIDRATAÇÃO DOS SILICATOS	89
24.4. CALOR DE HIDRATAÇÃO	90
24.5. TIPOS DE CIMENTOS PORTLAND.....	91
25. DETERIORAÇÃO DO CONCRETO - CAUSAS FÍSICAS	92
26. DETERIORAÇÃO DO CONCRETO - CAUSAS QUÍMICAS	92



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

26.1.	CORROSÃO DA PASTA POR REAÇÕES QUÍMICAS	93
27.	EXTRAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS DE CIMENTOS - NBR 5741	98
27.1.	AMOSTRAGEM E RECEPÇÃO.....	98
27.2.	EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS	98
28.	DETERMINAÇÃO DA FINURA PELO MÉTODO DE PERMEABILIDADE AO AR (MÉTODO DE BLAINE) - NBR NM 76	100
28.1.	DEFINIÇÕES	100
28.2.	APARELHAGEM E MATERIAIS:	101
28.3.	EXECUÇÃO DO ENSAIO	102
28.4.	PROCEDIMENTO	102
28.5.	RESULTADOS	103
29.	DETERMINAÇÃO DA FINURA POR MEIO DA PENEIRA 75MM (Nº 200) – NBR 11579	104
29.1.	DEFINIÇÕES	104
29.2.	APARELHAGEM	104
29.3.	EXECUÇÃO DO ENSAIO	104
29.4.	RESULTADOS	104
30.	DETERMINAÇÃO DA PASTA DE CONSISTÊNCIA NORMAL - NBR NM 43	105
30.1.	DEFINIÇÕES	105
30.2.	APARELHAGEM	105
30.3.	EXECUÇÃO DO ENSAIO	106
30.4.	RESULTADOS	107
31.	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PEGA – NBR NM 65.....	108
31.1.	DEFINIÇÕES	108
31.2.	APARELHAGEM	108
31.3.	EXECUÇÃO DO ENSAIO	108
31.4.	RESULTADOS	109
32.	DETERMINAÇÃO DA EXPANSIBILIDADE DE LE CHATELIER – NBR 11582	110
32.1.	APARELHAGEM	110
32.2.	EXECUÇÃO DO ENSAIO	110
32.3.	RESULTADOS	111
33.	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – NBR 7215	111
33.1.	APARELHAGEM	111
33.2.	AMOSTRA	111
33.3.	ENSAIO.....	112
33.4.	RESULTADOS	113
33.5.	DETERMINAÇÃO	113
34.	EXERCÍCIOS	114



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

AGRADECIMENTOS

A disciplina Materiais de Construção I tem como objetivo conscientizar os alunos do curso de Engenharia Civil sobre a importância do conhecimento técnico-científico dos materiais de construção, tornando o aluno capaz de realizar ensaios e interpretar seus resultados.

A disciplina é de caráter teórico-prático e visa, através de aulas expositivas, exercícios diversos, ensaios de laboratório e realização de trabalho prático, em equipe, colocar o aluno em contato com a prática da construção civil.

Para facilitar o acompanhamento das aulas práticas, oferecemos ao estudante este Caderno, elaborado inicialmente pelo Professor MSc. Epaminondas Ferreira Junior, ele foi sendo aperfeiçoado graças à contribuição da Professora MSc. Janaína Araújo e, mais recentemente por mim.

Esperamos, portanto que os futuros profissionais do curso de Engenharia Civil encontrem neste Caderno os conhecimentos básicos necessários para iniciarem suas atividades profissionais, cujo aprimoramento se dará em especial através da vivência dos processos construtivos.

Izelman Oliveira
Gestor de Engenharia da AGETOP
Professor Doutor do Departamento
de Engenharia Civil da PUC-GO



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

1. AGREGADOS

1.1. Introdução

Uma vez que cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto são ocupados pelos agregados, não é de se surpreender que a qualidade destes seja de importância básica na obtenção de um bom concreto, exercendo nítida influência não apenas na resistência mecânica do produto acabado como, também, em sua durabilidade e no desempenho estrutural. Procura-se, neste item, apresentar as principais propriedades dos agregados, analisando o seu grau de importância e responsabilidade na geração das características essenciais aos concretos.

Podemos definir agregado como: material granular, inerte, com dimensões e propriedades adequadas e isentos de impurezas prejudiciais.

1.2. Classificação dos agregados:

Os agregados podem ser classificados quanto:

- à origem;
- às dimensões das partículas;
- à massa unitária.

a) Quanto à origem, eles podem ser:

- naturais → já são encontrados na natureza sob a forma definitiva de utilização: areia de rios, seixos rolados, cascalhos, pedregulhos,...
- artificiais → são obtidos pelo britamento de rochas: pedrisco, pedra britada,...
- industrializados → aqueles que são obtidos por processos industriais. Ex.: argila expandida, escória britada, ...

Deve-se observar aqui que o termo artificial indica o modo de obtenção e não se relaciona com o material em si.

b) Quanto à dimensão de suas partículas, a Norma Brasileira define agregado da seguinte forma:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Agregado miúdo → Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm (peneira de malha quadrada com abertura nominal de “x” mm, neste caso 4,8 mm) e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

- Agregado graúdo → o agregado graúdo é o pedregulho natural, ou a pedra britada proveniente do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam pela peneira ABNT 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm.

c) Quanto à massa específica pode-se classificar os agregados em leves, médios e pesados.

Tabela 1 – Classificação dos agregados em leves, médios e pesados.

Leves	M.E. < 1000 kg/m ³
Médios	1000 ≤ M.E. ≤ 2000 kg/m ³
Pesados	M.E. > 2000 kg/m ³

1.3. Características das rochas de origem:

a) Atividade – o agregado pela própria definição, deve ser um elemento inerte, ou seja:

-não deve conter constituintes que reajam com o cimento “fresco” ou endurecido.

-não deve sofrer variações de volume com a umidade.

-não deve conter incompatibilidade térmica entre seus grãos e a pasta endurecida.

b) Resistência Mecânica

-à compressão: a resistência varia conforme o esforço de compressão se exerça paralela ou perpendicularmente ao veio da pedra. O ensaio se faz em corpos-de-prova cúbicos de 4 cm de lado (em torno de 150MPa).

Sob o aspecto de resistência à compressão, estes materiais não apresentam qualquer restrição ao seu emprego no preparo de concreto normal, pois tem resistência muito superior às máximas dos concretos.

-ao desgaste: a pasta de cimento e água não resiste ao desgaste. Quem confere esta propriedade aos concretos é o agregado.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Ao desgaste superficial dos grãos de agregado quando sofrem “atrição”, dá-se o nome de abrasão. A resistência à abrasão mede, portanto, a capacidade que tem o agregado de não se alterar quando manuseado (carregamento, basculamento, estocagem). Em algumas aplicações do concreto, a resistência à abrasão é característica muito importante, como por exemplo em pistas de aeroportos, em vertedouros de barragens e em pistas rodoviárias, pois o concreto sofre grande atrição.

A resistência à abrasão é medida na máquina “Los Angeles”, que consta, em essência, de um cilindro oco, de eixo horizontal, dentro do qual a amostra de agregado é colocada juntamente com esferas de ferro fundido. A NBR 6465 trata do ensaio à abrasão, dando as características da máquina e das cargas de agregado e esferas de ferro. O cilindro é girado durante um tempo determinado, sofrendo o agregado atrição e também um certo choque causado pelas esferas de ferro. Retirada do cilindro, a amostra é peneirada na peneira de 1,7mm; o peso do material que passa, expresso em porcentagem do peso inicial, é a “Abrasão Los Angeles”.

c) Durabilidade – o agregado deve apresentar uma boa resistência ao ataque de elementos agressivos.

O ensaio consiste em submeter o agregado à ação de uma solução de sulfato de sódio ou magnésio, determinando-se a perda de peso após 5 ciclos de imersão por 20 horas, seguidas de 4 horas de secagem em estufa a 105°C (NBR).

É de 15% a perda máxima admissível para agregados miúdos e de 18% para agregados graúdos, quando for usada uma solução de sulfato de magnésio.

1.4. Agregados Naturais:

Areia natural: considerada como material de construção, areia é o agregado miúdo.

A areia pode originar-se de rios, de cavas (depósitos aluvionares em fundos de vales cobertos por capa de solo) ou de praias e dunas. As areias das praias não são usadas, em geral, para o preparo de concreto por causa de sua grande finura e teor de cloreto de sódio. O mesmo ocorre com as areias de dunas próximas do litoral.

Utilizações da areia natural:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Preparo de argamassas;
- Concreto betuminoso – juntamente com fíler, a areia entra na dosagem dos inertes do concreto betuminoso e tem a importante propriedade de impedir o amolecimento do concreto betuminoso dos pavimentos de ruas nos dias de intenso calor);
- Concreto de cimento (constitui o agregado miúdo dos concretos);
- Pavimentos rodoviários: constitui o material de correção do solo;
- Filtros – devido a sua grande permeabilidade, a areia é utilizada para a construção de filtros, destinados a interceptar o fluxo de água de infiltração em barragens de terra e em muros de arrimo.

Seixo rolado ou cascalho: também denominado pedregulho, é um sedimento fluvial de rocha ígnea, inconsolidado, formado de grãos de diâmetro em geral superior a 5 mm, podendo os grãos maiores alcançar diâmetros até superiores a cerca de 100 mm. O cascalho também pode ser de origem litorânea marítima.

- O concreto executado com pedregulho é menos resistente ao desgaste e à tração do que aquele fabricado com brita, na proporção 1 para mais ou menos 1,20.
- O pedregulho deve ser limpo, quer dizer, lavado antes de ser fornecido. Deve ser de granulação diversa, já que o ideal é que os miúdos ocupem os vãos entre os graúdos.

1.5. Agregados Artificiais:

Definições:

a) Pedra britada: agregado obtido a partir de rochas compactas que ocorrem em jazidas, pelo processo industrial da cominuição (fragmentação) controlada da rocha maciça. Os produtos finais enquadram-se em diversas categorias.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 2 – Classificação dos agregados graúdos

Pedra britada numerada	NBR 7211 (2009) / 7225 (1993)		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		

b) Areia de brita ou areia artificial: agregado obtido dos finos resultantes da produção da brita, dos quais se retira a fração inferior a 0,15 mm. Sua graduação é 0,15 /4,8mm.

c) Filer: agregado de graduação 0,005/0,075mm. Seus grãos são da mesma ordem de grandeza dos grãos de cimento e passam na peneira 200 (0,075 mm). É chamado de pó de pedra.

O filer é utilizado nos seguintes serviços:

- na preparação de concretos, para preencher vazios;
- na adição a cimentos;
- na preparação da argamassa betuminosa;
- como espessante de asfaltos fluidos.

d) Bica-corrída: material britado no estado em que se encontra à saída do britador. Pode ser classificada em primária ou secundária. Será primária quando deixar o britador primário, com graduação aproximada de 0/300mm, dependendo da regulagem e tipo de britador. Será secundária quando deixar o britador secundário, com graduação aproximada de 0/76mm.

e) Rachão: agregado constituído do material que passa no britador primário e é retido na peneira de 76 mm. É a fração acima de 76 mm da bica corrida primária. A NBR 9935 define rachão como “pedra de mão”, de dimensões entre 76 e 250 mm.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

f) Restolho: material granular, de grãos em geral friáveis (que se partem com facilidade). Pode conter uma parcela de solo.

g) Blocos: fragmentos de rocha de dimensões acima do metro, que, depois de devidamente reduzidos em tamanho, vão abastecer o britador primário.

Brita ou pedra britada:

a) Usos

A NBR 7211, que padroniza a pedra britada nas dimensões hoje consagradas pelo uso, trata de agregado para concreto. Não obstante isso, e apesar de as curvas granulométricas médias dos agregados comerciais não coincidirem totalmente com as curvas médias das faixas da Norma, emprega-se o agregado em extensa gama de situações:

-concreto de cimento: o preparo de concreto é o principal campo de consumo da pedra britada. São empregados principalmente o pedrisco, a pedra 1 e a pedra 2. É também usado o pó de pedra, apesar de ter ele distribuição granulométrica não coincidente com a do agregado miúdo padronizado para concreto (areia). A tecnologia do concreto evoluiu, de modo que o pó de pedra é usado em grande escala.

-Concreto asfáltico: o agregado para concreto asfáltico é necessariamente pré-dosado, misturando-se diversos agregados comerciais. Isto se deve ao ter ele de satisfazer peculiar forma de distribuição granulométrica. São usados: fíler, areias, pedras 1, 2 e 3.

-Argamassas: em certas argamassas de enchimento, de traço mais apurado, podem ser usados a areia de brita e o pó de pedra.

-Pavimentos rodoviários: para este emprego, a NBR 7174 fixa três graduações para o esqueleto e uma para o material de enchimento das bases de macadame hidráulico, graduações estas que diferem das pedras britadas.

-Lastro de estradas de ferro: este lastro está padronizado pela NBR 5564, e consta praticamente de pedra 3.

-Aterros: podem ser feitos com restolho, obtendo-se mais facilmente, alto índice de suporte do que quando se usam solos argilosos.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

-Correção de solos: usa-se o pó de pedra para correção de solos de plasticidade alta.

1.6. Agregados Industrializados:

Agregados Leves:

a) Argila expandida: a argila é um material muito fino, constituído de grãos lamelares de dimensões inferiores a dois micrômetros, formada, em proporções muito variáveis, de silicato de alumínio e óxidos de silício, ferro, magnésio e outros elementos. Para se prestar para a produção de argila expandida, precisa ser dotada da propriedade de piroexpansão, isto é, de apresentar formação de gases quando aquecida a altas temperaturas (acima de 1000 °C). Nem todas as argilas possuem essa propriedade.

b) O principal uso que se faz da argila expandida é como agregado leve para concreto, seja concreto de enchimento, seja concreto estrutural ou pré-moldados – com resistência de até $f_{ck} \sim 30 \text{ MPa}$. O concreto de argila expandida, além da baixa densidade de 1,0 a 1,8, apresenta muito baixa condutividade térmica – cerca de 1/15 da do concreto de britas de granito.

Blocos e painéis pré-moldados usando argila expandida prestam-se bem a ser usados como isolantes térmicos ou acústicos, no que são auxiliados pela baixa densidade do material, que pode variar de 6 a 15 kN/m^3 , contra 26 do concreto de brita de granito ou de basalto.

c) Escória de alto-forno: é um resíduo resultante da produção de ferro gusa em altos-fornos, constituído basicamente de compostos oxigenados de ferro, silício e alumínio.

A escória simplesmente resfriada ao ar, ao sair do alto forno (escória bruta), uma vez britada, pode produzir um agregado graúdo. Normalmente, após receber um jato de vapor, a escória é resfriada com jatos de água fria, produzindo-se, então, a escória expandida, de que resulta um agregado da ordem de 12,5/32mm. Quando é imediatamente resfriada em água fria, resulta a escória granulada, que permite obter um agregado miúdo de graduação 0/4,8mm, aproximadamente.

A escória granulada é usada na fabricação do cimento Portland de alto-forno. Usa-se a escória expandida como agregado graúdo e miúdo no preparo de concreto leve em peças isolantes térmicas e acústicas, e também em concreto estrutural, com resistência a 28 dias da ordem de 8-20 MPa e densidade da ordem de 1,4.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

2. NBR NM 26 – Agregados – amostragem

Definições:

Lote de agregados: É a quantidade definida de agregado produzido, armazenado ou transportado sob condições presumidamente uniformes.

Amostra de campo: É a porção representativa de um lote de agregados, coletada nas condições prescritas nesta norma, seja na fonte de produção; armazenamento ou transporte.

Amostra parcial: é a parcela de agregado obtida de uma só vez do lote de agregado.

Amostra de ensaio: é a porção obtida por redução da amostra de campo.

Considerações gerais:

Para a amostragem devem ser tomadas todas as precauções necessárias para que as amostras obtidas sejam representativas quanto á natureza e características dos agregados. A amostragem deve ser realizada por pessoa especializada e de preferência, responsável pelos ensaios.

Amostras parciais tomadas em diferentes pontos devem representar todas as possíveis variações do material. A coleta deverá se possível, ser realizada com material úmido para evitar a segregação da parte pulverulenta. A amostra de campo formada pela misturas das amostras parciais (usar quarteamento).

Procedimentos de amostragem:

Fontes:

Jazida em depósitos naturais: perfuração;

Jazida com uma face exposta (afloramento): demarcação da área;

Jazida encoberta: perfurações – descartar material superficial não aproveitável;

Depósitos comerciais e obra (amostragem em pilha, em unidade de transporte, em silos; em correias transportadoras): métodos variáveis.

	APOSTILA MACO I AGREGADOS E AGLOMERANTES	

Número de amostras:

Com exceção das jazidas ou depósitos naturais, a amostra de campo necessária para constituir a amostra de ensaio, deve ser formada pela reunião de amostras parciais, em quantidades suficientes para atender os seguintes valores:

Tabela 3 – Quantidades de amostras destinadas a estudos físicos e químicos

Tamanho nominal do agregado (mm)	Número máx. de amostras	Total de amostra de campo (mínimo)	
		em volume (dm ³)	em massa (kg)
≤ 9,5	3	25	40
> 9,5 ≤ 19		25	40
> 19 ≤ 37,5		50	75
> 37,5 ≤ 75		100	150
> 75 ≤ 125		150	225

Tabela 4 – Amostras destinadas a estudos de dosagem de concreto

Tipo de agregado	Emprego	Massa total da amostra de campo (mínima) (kg)
Miúdo	Apenas um agregado	200
	Dois ou mais agregados	150 (por unidade)
Agregado graúdo	Apenas uma graduação	300
	Duas ou mais graduações	200 (por unidade)

Remessa das amostras: as amostras destinadas aos ensaios devem ser remetidas em sacos, containers, caixas ou outros recipientes limpos e adequados, que garantam a integridade da amostra durante o manuseio e transporte.

Identificação da amostra de campo: as amostras serão convenientemente identificadas mediante etiqueta ou cartão, contendo os seguintes dados: designação do material, número de identificação de origem; tipo de procedência; massa da amostra; quantidade do material que representa; obra e especificações a serem cumpridas; parte da obra em que será empregada; local e data da amostragem; responsável pela coleta.

Obs.: Se jazida natural, acrescentar: localização da jazida e nome do proprietário; volume aproximado; espessura aproximada do terreno que cobre a jazida; croqui da jazida (planta, corte e localização da amostra); vias de acesso.



3. NBR NM 27 – Agregados – Redução da amostra de campo

Esta norma estabelece as condições exigíveis na redução da amostra de agregado formada no campo para ensaio de laboratório.

Amostragem: as amostras para os ensaios em laboratório devem ser coletadas conforme a NM-26. Procedimentos de amostragem: três procedimentos podem ser utilizados para redução da amostra:

Método A (Separador mecânico): Consiste em um equipamento dotado de calhas que estão dispostas de tal forma que descarreguem aleatoriamente o agregado para cada lado do separador (**Fig. 1**). Uma das partes acumulada deverá ser desprezada e o processo repetido tantas vezes for necessário até que a quantidade de material atenda ao exigido nas Tabelas 1 e 2 da NM-26.



Fig. 1 – Processo de redução de amostra pelo separador mecânico – Método A

Método B (Quarteamento): Consiste em colocar a amostra de campo sobre uma superfície rígida, limpa e plana, onde não ocorra nenhuma perda de material e nem haja contaminação. Homogeneizar a amostra revolvendo-a no mínimo três vezes. Juntar a amostra formando um tronco de cone, cuja base deverá ter de quatro a oito vezes a altura do tronco de cone. Achatar cuidadosamente o cone com a ajuda de uma pá. Dividir a massa em quatro partes iguais com a ajuda de uma colher de pedreiro ou uma pá. Então, eliminar duas partes em sentido diagonal e agrupar as outras duas (**Fig. 2**). Repetir o processo até a quantidade necessária para o ensaio desejado.

Caso a superfície não seja regular, introduzir uma haste rígida por baixo do encerado, passando pelo centro do cone, e levantá-lo em suas extremidades, dividindo-o em duas partes. Deixar uma dobra entre as duas partes e retirar a



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

haste. Introduzir novamente a haste formando um ângulo reto com a primeira divisão. Repetir o processo até obter a quantidade de material necessária.



Fig. 2 – Processo de redução de amostra por quarteamento – Método B

Método C: tomadas de amostras aleatórias (exclusivo para agregado miúdo): Neste método, coloca-se a amostra de campo de agregado miúdo, úmido, sobre uma superfície rígida, limpa e plana, onde não ocorra perda de material e contaminação. Homogeneizar o material por completo, revolvendo toda a amostra, no mínimo três vezes. Na última virada, juntar a amostra e, com auxílio da pá, depositar o material no topo do cone que vai se formando. O cone pode ser achatado a um diâmetro e altura aproximadamente iguais, pressionando para baixo o seu ápice com a pá. Obter a quantidade de amostra desejada através de, pelo menos, cinco tomadas, aproximadamente iguais, em locais escolhidos ao acaso e distribuídos na superfície do cone formado (**Fig. 3**).



Fig. 3 – Processo de redução de amostra por tomadas aleatórias – Método C



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Em caso de agregado miúdo, quando o agregado apresentar uma condição mais seca do que a condição SSS (condição particular de umidade do agregado - ver NM-30) – usar método A. Quando a condição de umidade do agregado miúdo for igual à condição SSS, o método B ou C (quarteamento sobre superfície rígida ou irregular) poderá ser utilizado. Para o agregado graúdo, o método A ou B poderá ser utilizado. No entanto o agregado graúdo deverá ser levemente umedecido para evitar perdas de materiais finos. O método C não é permitido para agregado graúdo ou para misturas dos agregados graúdos e miúdos.

4. NBR 7251/1982 – Agregado em estado solto – massa unitária (Substituída pela NBR NM 45)

Massa unitária de um agregado no estado solto: Quociente da massa do agregado lançado no recipiente conforme estabelecido nessa norma e o volume desse recipiente.

Amostra: Deve estar no estado seco, em quantidade de, pelo menos, o dobro do volume do recipiente utilizado para o ensaio.

Volume do recipiente: variável conforme a dimensão do agregado – ver Tabela

Tabela 5 - Dimensão característica máx. do agregado (mm)

Dimensão máx. do agregado (mm)	Dimensões mínimas do recipiente		Volume mínimo (dm ³)
	Base (mm)	Altura (mm)	
≤ 4,8 mm	316 x 316	150	15
> 4,8 e ≤ 50 mm	316 x 316	200	20
> 50 mm	447 x 447	300	60

Procedimentos:

O recipiente (aferido e pesado) deve ser preenchido com uma concha ou pá, sendo o agregado lançado a uma altura de 10 a 12 cm do topo do recipiente. Alisar a superfície do recipiente com uma régua (para agregado miúdo) (**fig. 4**) e compensar as saliências e reentrâncias no caso de agregado graúdo.



Fig. 4 – Determinação da massa unitária de agregados no estado solto.

Pesar o recipiente com o material nele contido. A massa do agregado solto é a diferença entre a massa do recipiente cheio e a massa do recipiente vazio.

Resultado:

$$\text{Massa unitária} = \mu = \frac{m_{r+a} - m_r}{V_r} \quad (01)$$

Onde: μ = massa unitária do agregado no estado solto (kg/dm³)
 m_{r+a} = massa do recipiente + amostra (kg)
 m_r = massa do recipiente (kg)
 V_r = Volume do recipiente (dm³)

Obs: A massa unitária do agregado solto é a média dos resultados individuais obtido em pelo menos três determinações, com aproximação de 0,01 kg/dm³. Os resultados individuais de cada ensaio não devem apresentar desvios maiores que 1% em relação à média.

4.1. Atividade prática: determinar a massa unitária dos agregados graúdos e miúdos.

Tabela 6 - Agregado miúdo

	Vol. do recipiente (dm ³)	Massa do recipiente + amostra (kg)	Massa do recipiente (kg)	Massa unitária (kg/dm ³)
1 ^a				
2 ^a				
3 ^a				
Média				



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 7 - Agregado graúdo

	Vol. do recipiente (dm ³)	Massa do recipiente + amostra (kg)	Massa do recipiente (kg)	Massa unitária (kg/dm ³)
1 ^a				
2 ^a				
3 ^a				
Média				

Nota importante: No caso do agregado miúdo (areia), a massa unitária varia com o teor de umidade (ver inchamento); por isso o ensaio deve ser feito com o agregado seco.

5. NBR 9776 - Agregados - Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo por Meio do Frasco Chapman (Substituída pela NBR NM 52)

Aparelhagem: balança com capacidade de 1 kg e resolução de 1g e frasco de Chapman.

Amostra: 500 g do material seco em estufa (105°C - 110°C) até constância de massa.

Ensaio:

- Colocar água no frasco (até marca de 200 cm³);
- Introduzir 500g de agregado seco;
- Agitar até eliminar as bolhas de ar;
- Efetuar a leitura do nível atingido pela água.

Resultado:

A massa específica do agregado miúdo é calculada pela seguinte expressão:

$$\rho = \frac{M_S}{L - L_0} = \frac{500}{L - 200} \quad (02)$$

Onde: ρ = massa específica do agregado miúdo expressa em kg/dm³;
 M_S = massa do material seco (500 g);
 L_0 = leitura inicial do frasco (200 cm³);
 L = leitura final do frasco.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Nota:

- 1) Duas determinações consecutivas não devem diferir entre si de mais de 0,05 kg/dm³;
- 2) Resultado expresso com três algarismos significativos.

5.1. Ensaio Prático: determinar a massa específica do agregado miúdo utilizando o Frasco de Chapman

Tabela 8 - Massa específica do agregado miúdo

DETERMINAÇÃO		1 ^a	2 ^a
M _s	Massa de areia seca (g)	500	500
L ₀	Leitura inicial (cm ³)	200	200
L	Leitura final (cm ³)		
ρ	Massa específica (kg/dm ³)		
	Valor médio (kg/dm ³)		

6. NBR NM 53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água

Aparelhagem:

- balança hidrostática;
- recipiente para amostra;
- tanque de imersão.

Amostra: A massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a tabela:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 9 - Massa mínima para o ensaio

Dimensão máxima do agregado (mm)	Massa mínima da amostra (kg)
12,5 ou menos	2
19	3
25	4
38	5
50	8
64	12
76	18
125	75
152	125

Ensaio

- Lavar a amostra e secar até constância de massa à temperatura de 105° - 110°C e determinar a massa M_s ;
- Imergir em água à temperatura ambiente por $\pm 24h$;
- Secar superficialmente a amostra e determinar a massa M_h ;
- Colocar a amostra no recipiente para determinação da massa submersa M_i .

Resultado

Massa específica do agregado seco

$$\rho = \frac{M_s}{M_h - M_i} \quad (03)$$

Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca (SSS)

$$\rho_s = \frac{M_h}{M_h - M_i} \quad (04)$$

Massa específica do aparente

$$\rho_A = \frac{M_s}{M_s - M_i} \quad (05)$$

Absorção de água

$$A = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) 100 \quad (06)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Obs.:

- a) A diferença $M_h - M_i$ é numericamente igual ao volume do agregado, excluindo-se os vazios permeáveis;
- b) A diferença $M_s - M_i$ é numericamente igual ao volume do agregado, incluindo-se os vazios permeáveis;
- c) Média de duas determinações;
- d) Os resultados não devem diferir mais de $0,02 \text{ kg/dm}^3$;
- e) Resultado com aproximação de $0,01 \text{ kg/dm}^3$.
- f) Indicar os resultados de absorção de água com aproximação de $0,1\%$.

6.1. Ensaio Prático: Determinar a massa específica do agregado graúdo pela balança hidrostática

Tabela 10 - Massa específica do agregado graúdo

DETERMINAÇÃO		1ª	2ª
M_s	Massa de amostra seca (g)		
M_h	Massa de amostra saturada (g)		
M_i	Massa de amostra imersa (g)		
ρ	Massa específica (kg/dm^3)		
	Valor médio (kg/dm^3)		
ρ_A	Massa específica aparente (kg/dm^3)		
	Valor médio (kg/dm^3)		
A	Absorção de água (%)		

7. Determinação da Umidade de Agregados

Na figura abaixo pode-se observar as quatro condições em que uma partícula de um material pode apresentar, as quais encontram-se descritas abaixo.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Seco em estufa: devido à alta e constante temperatura que uma estufa pode manter, o agregado encontra-se completamente seco, tanto no seu exterior quanto no seu interior (vazios permeáveis);

Seco ao ar: como a temperatura ao ar livre é menor e possui uma variabilidade maior do que na estufa, o agregado tem a sua superfície seca, porém, os poros permeáveis mais internos não são completamente secos, havendo assim, umidade residual na partícula representada pela área menos escura na figura;

Saturado superfície seca (SSS): neste caso todos os poros permeáveis encontram-se saturados e a superfície do agregado encontra-se seca. Essa situação é encontrada na prática de determinação de absorção e massa específica de agregados graúdos;

Saturado: semelhante ao caso anterior, porém, há água na superfície do agregado.



Seco em estufa

Seco ao ar

Saturado superfície seca

Saturado (água livre)

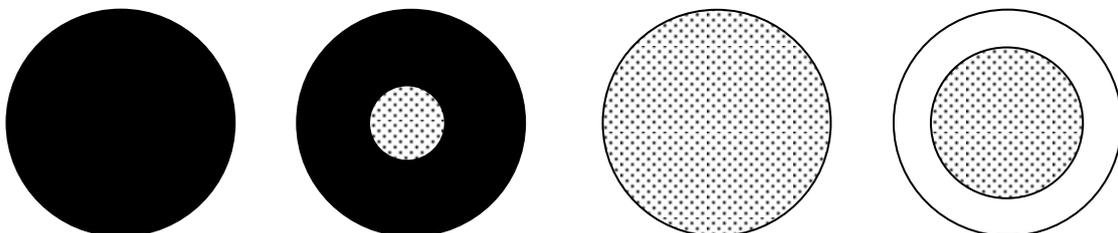


Fig. 5 – Determinação da umidade do agregado.

Umidade: é a relação da massa total de água que envolve o agregado e a sua massa seca.



Absorção: é o teor de umidade no estado saturado, superfície seca. Absorção é o aumento da massa do agregado devido ao preenchimento dos seus poros por água expresso como porcentagem de sua massa seca (em estufa).

Coefficiente de umidade: é um número que multiplicado pela massa úmida obtém-se a massa seca.

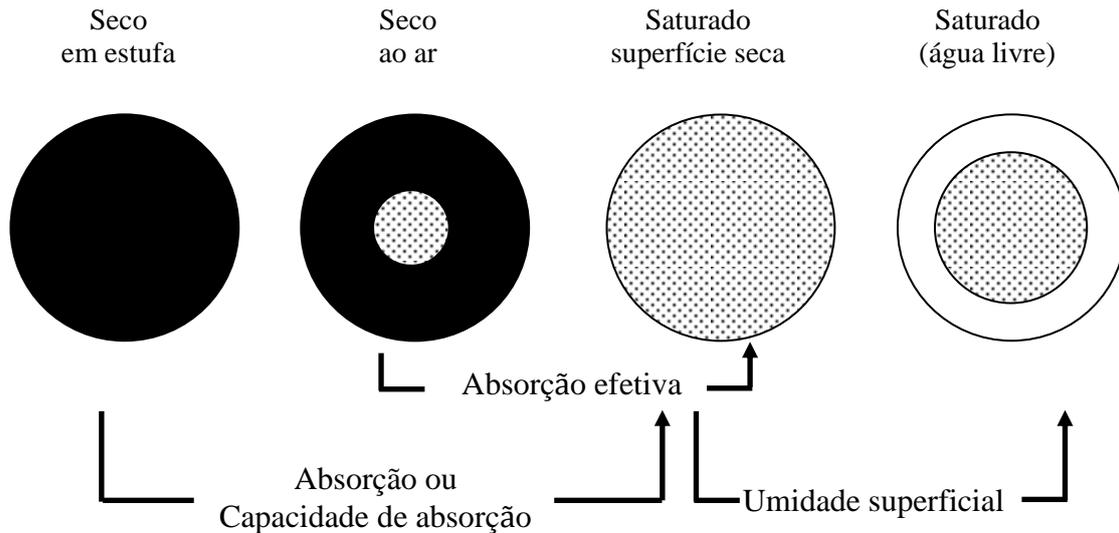


Fig. 6 – Determinação da umidade do agregado.

8. NBR 9775 - Determinação da Umidade Superficial do Agregado Miúdo Pelo Método do Frasco de Chapman

Definição: umidade superficial - água aderente à superfície dos grãos expressa em porcentagem da massa da água em relação à massa do agregado seco.

Aparelhagem:

- balança com capacidade de 1 kg e sensibilidade de 1g ou menos;
- frasco de Chapman.

Amostra: 500 g do material úmido.

Ensaio:

1. Colocar água no frasco até a divisão de 200 cm³;
2. Introduzir 500g de agregado úmido;
3. Agitar até eliminar as bolhas de ar;
4. Efetuar a leitura de nível atingindo pela água.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Resultado:

$$h = 100 \cdot \frac{[500 - \rho(L - 200)]}{\rho(L - 700)} \quad (08)$$

Onde: h = teor de umidade (%);
L = leitura do frasco (cm³);
 ρ = massa específica (kg/dm³)

Obs:

- a) Média de duas determinações;
- b) Os resultados não devem diferir entre si mais do que 0,5%.

Tabela 11 – Determinação da umidade superficial do agregado miúdo

DETERMINAÇÃO	1 ^a	2 ^a
M _h (massa de areia úmida em g)	500	500
ρ (massa específica areia seca em kg/dm ³)		
L (Leitura do frasco em cm ³)		
h (umidade superficial em %)		
Valor médio (%)		

9. Determinação da Umidade Superficial do Agregado Miúdo pelo Método do Aparelho Speedy - DNER - ME 52 - 64

Aparelhagem:

- Speedy;
- ampolas com cerca de 6,5g de carbureto de cálcio (CaC₂).

Amostra:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 12 – Determinação da umidade do agregado miúdo - Speedy

Umidade estimada (%)	Massa da amostra (g)
5	20
10	10
20	5
30 ou mais	3

Ensaio:

1. Determinar a massa;
2. Colocar amostra na câmara do aparelho;
3. Introduzir duas esferas de aço e a ampola de carbureto;
4. Agitar o aparelho;
5. Efetuar leitura da pressão manométrica;
6. Verificar tabela de aferição própria do aparelho;
7. Encontrar h_1 .

Obs: Se a leitura for menor do que 0,2 kg/cm² ou maior do que 1,5 kg/cm², repetir o ensaio com a massa da amostra imediatamente superior ou inferior, respectivamente;

Resultado:

$$h = \left(\frac{h_1}{100 - h_1} \right) \cdot 100 \quad (09)$$

Onde: h = teor de umidade em relação a massa seca (%);
 h_1 = umidade dada pelo aparelho em relação à amostra total úmida (%).

10. Agregados: Determinação do Teor de Umidade

10.1. Determinação da umidade do agregado miúdo pelo método do fogareiro:

$$h = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (05)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 13 – Determinação da umidade do agregado miúdo

M _h (massa da amostra úmida em g)	
M _s (massa do agregado seco em g)	
M _a (massa de água em g)	
H (umidade do agregado em %)	

10.2. Determinação da umidade do agregado miúdo pelo método da estufa:

$$h = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (06)$$

Tabela 14 – Determinação da umidade do agregado miúdo

M _h (massa da amostra úmida em g)	
M _s (massa do agregado seco em g)	
M _a (massa de água em g)	
H (umidade do agregado em %)	

10.3. Determinação da umidade do agregado miúdo pela secagem com álcool:

$$h = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (07)$$

Tabela 15 – Determinação da umidade do agregado miúdo

M _h (massa da amostra úmida em g)	
M _s (massa do agregado seco em g)	
M _a (massa de água em g)	
H (umidade do agregado em %)	

Calculo do coeficiente de umidade

O coeficiente de umidade é dado pela expressão :

$$M_s = k \cdot M_h \quad (08)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

A partir da expressão 07 obtemos:

$$h = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad (09)$$

$$h = \left(\frac{M_h}{M_s} - 1 \right) \cdot 100 \quad (10)$$

$$h = 100 \cdot \frac{M_h}{M_s} - 100 \quad (11)$$

$$100 \cdot \frac{M_h}{M_s} = h + 100 \quad (12)$$

$$k = \frac{100}{100 + h} \quad (13)$$

O teor de umidade é importante para corrigir a quantidade de água de uma argamassa ou concreto e, também, para se fazer correções da massa dos agregados colocados na mistura. Quando se trabalha com dosagem em volume a influência é muito maior, por causa do inchamento.

11. Distribuição dos grãos.

A distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas principais características e efetivamente influi no comportamento dos revestimentos asfálticos. Em misturas asfálticas a distribuição granulométrica do agregado influencia quase todas as propriedades importantes incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e à deformação permanente, resistência ao dano por umidade induzida etc.

A distribuição granulométrica dos agregados é determinada usualmente por meio de uma análise por peneiramento. Nessa análise uma amostra seca de agregado é fracionada através de uma série de peneiras com aberturas de malha progressivamente menores, conforme ilustrado na Figura 6. Uma vez que a massa da fração de partículas retida em cada peneira é determinada e comparada com a massa total da amostra, a distribuição é expressa como porcentagem em massa em cada tamanho de malha de peneira.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

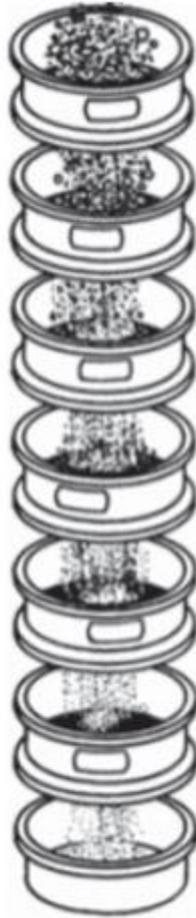


Fig. 7 – Ilustração da análise por peneiramento.

De acordo com a norma DNER-ME 035/95 os tamanhos de peneiras a serem usadas na análise granulométrica são os mostrados na Tabela 16.

A norma DNER-ME 083/98 descreve o procedimento de análise por peneiramento. Os resultados são expressos na forma de tabelas ou gráficos como indicado na Figura 7.

A metodologia SHRP-Superpave utiliza uma outra forma de apresentar a distribuição granulométrica na qual a porcentagem de agregados passante em uma certa malha de peneira está no eixo y e o tamanho da malha elevado a uma potência n (normalmente $n=0,45$) como unidade no eixo x – Figura 8. Nesse caso, a distribuição granulométrica com densidade máxima aparece como uma linha reta iniciando-se em zero e se desenvolvendo até o tamanho máximo.

Uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas. A seguir são denominadas as mais importantes graduações, ilustradas na Figura 7 e 8:

I - Agregado de graduação densa ou bem graduada é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima à de densidade máxima;

II - Agregado de graduação aberta é aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios. Nas frações de menor tamanho a curva granulométrica é abatida e próxima de zero;

III - Agregado de graduação uniforme é aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme;

IV - Agregado com graduação com degrau ou descontínua é aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis à segregação.

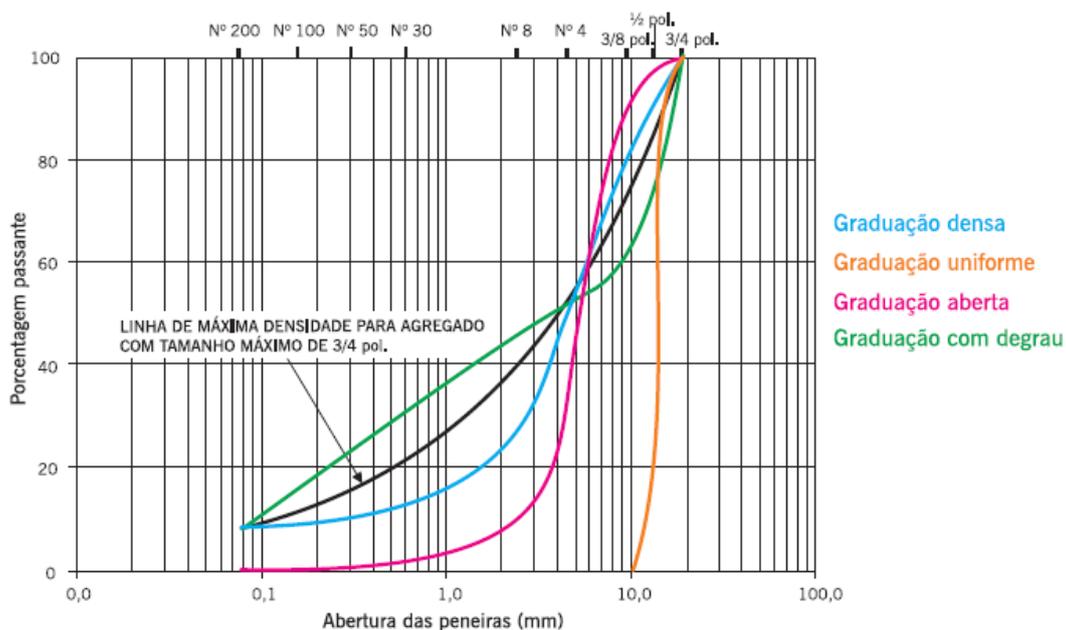


Fig. 8 – Representação convencional de curvas granulométricas.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

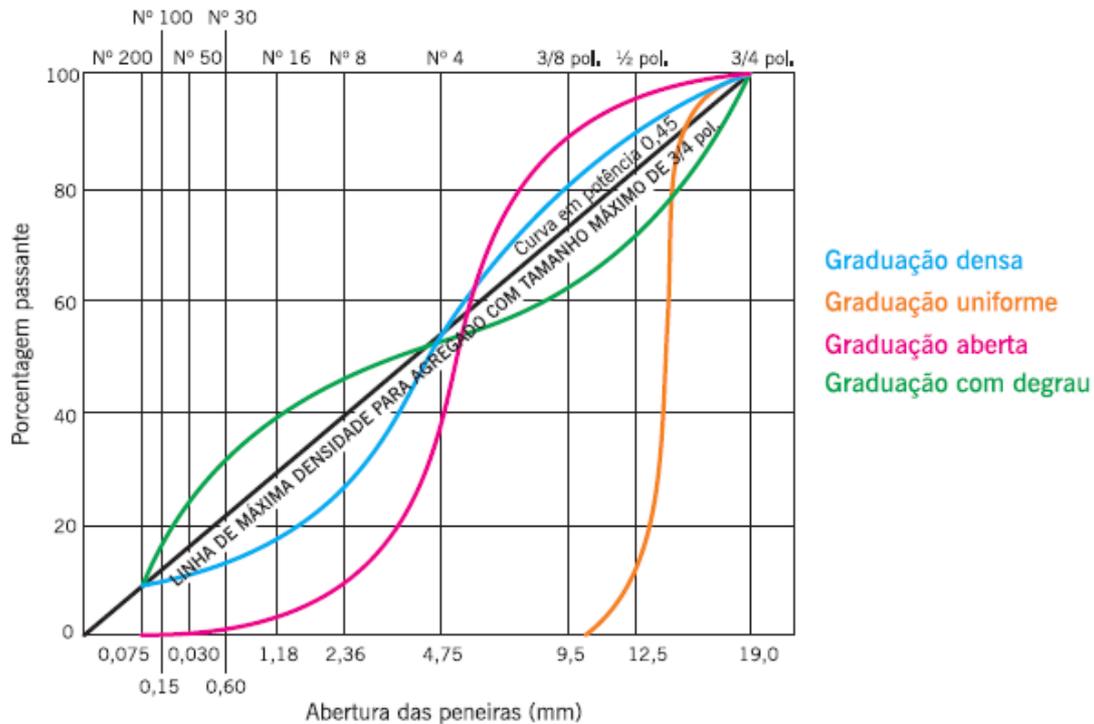


Fig. 9 – Representação de curvas granulométricas pelo SHRP Pavé.

Em função de seu preparo, algumas frações de agregados obtidos por britagem recebem denominações específicas, regionais, na prática da pavimentação, tais como: brita corrida, pedrisco, granilha etc.

12.NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica

Esta Norma MERCOSUL prescreve o método para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto

Definições:

Série normal e série intermediária: Conjunto de peneiras sucessivas, com as aberturas de malha estabelecidas na **Tabela 16**.

Dimensão máxima característica (DMC): Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Módulo de finura (MF): Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

Tabela 16 – Série de peneiras Normal e Intermediárias

Série normal	Série Intermediária
75 mm	---
---	63 mm
---	50 mm
37,5 mm	---
---	31,5 mm
---	25 mm
19 mm	---
---	12,5 mm
9,5 mm	---
---	6,3 mm
4,75 mm	---
2,36 mm	---
1,18 mm	---
0,6 mm	---
0,3 mm	---
0,15 mm	---

Procedimento:

Formar duas amostras para o ensaio, de acordo com a NM 27. A massa mínima por amostra de ensaio é indicada na **Tabela 10**; Secar as amostras de ensaio em estufa, esfriar à temperatura ambiente e determinar suas massas (m_1 e m_2). Tomar a amostra de massa m_1 e reservar a de massa m_2 ; Encaixar as peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado para o conjunto; Colocar a amostra (m_1) 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;

Promover a agitação mecânica do conjunto, por um tempo razoável para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para depois passar à seguinte. Agitar cada peneira, com a amostra ou porção desta, por tempo não inferior a 2 minutos;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após um minuto de agitação contínuo, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retido. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto inclinado;

Remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o despreendido na parte inferior como passante;

Proceder à verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas. Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3% de m_1 ; Proceder ao peneiramento da segunda amostra, de massa m_2 ;

Tabela 17 – Massa mínima de ensaio, por amostra

Dimensão máxima nominal do agregado	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
< 4,75 mm	0,3
9,5 mm	1
12,5 mm	2
19 mm	5
25 mm	10
37,5 mm	15
50 mm	20
(...)	(...)

Cálculos

Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. As amostras devem apresentar necessariamente a mesma dimensão máxima característica e, nas demais peneiras, os valores de porcentagem retida individualmente não devem diferir mais que 4% entre si. Caso isto ocorra, repetir o peneiramento para outras amostras de ensaio até atender a esta exigência.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Calcular as porcentagens médias, retida e acumulada, em cada peneira, com aproximação de 1%.

Determinar o módulo de finura, com aproximação de 0,01.

Tabela 18 – Limites granulométricos de agregado miúdo (NBR 7211)

Peneira ABNT (mm)	% em massa retida acumulada			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
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
0,60	15	35	55	70
0,30	50	65	85	95
0,15	85	90	95	100

Notas:

- 1) O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90
- 2) O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20
- 3) O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 19 – Limites granulométricos de agregado graúdo (NBR 7211)

Peneira ABNT (mm)	% em massa retida acumulada				
	Zona granulométrica d/D ¹				
	4,75/12,5	9,25/25	19/31,5	20/50	37,5/75
75	---	---	---	---	0 - 5
63	---	---	---	---	5 - 30
50	---	---	---	0 - 5	75 - 100
37,5	---	---	---	5 - 30	90 - 100
31,5	---	---	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25	---	0 - 5	2 - 25 ²	87 - 100	---
19	---	2 - 15 ²	65 ² - 95 ²	95 - 100	---
12,5	0 - 5	40 ² - 65 ²	92 - 100	---	---
9,5	2 - 15 ²	80 ² -100	95 - 100	---	---
6,3	40 ² - 65 ²	92 - 100	---	---	---
4,75	80 ² -100	95 - 100	---	---	---
2,36	95 - 100	---	---	---	---

Notas:

- 1) Zona granulométrica correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo
- 2) Em cada zona granulométrica deve ser aceita uma variação de no máximo cinco unidades percentuais em apenas um dos limites marcados com 2. Essa variação pode também estar distribuída em vários desses limites.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 20 – Agregado miúdo

# peneira (mm)	1ª determinação		2ª determinação		VALOR MÉDIO RETIDO ACUMUL (%)
	m ₁ retida (g)	m ₁ ret. acumul. (%)	m ₂ retida(g)	m ₂ ret. acumul. (%)	
6,3					
4,75					
2,36					
1,18					
0,6					
0,3					
0,15					
FUNDO					
TOTAL					

Dimensão máxima característica (DMC): _____

Módulo de finura (MF): _____

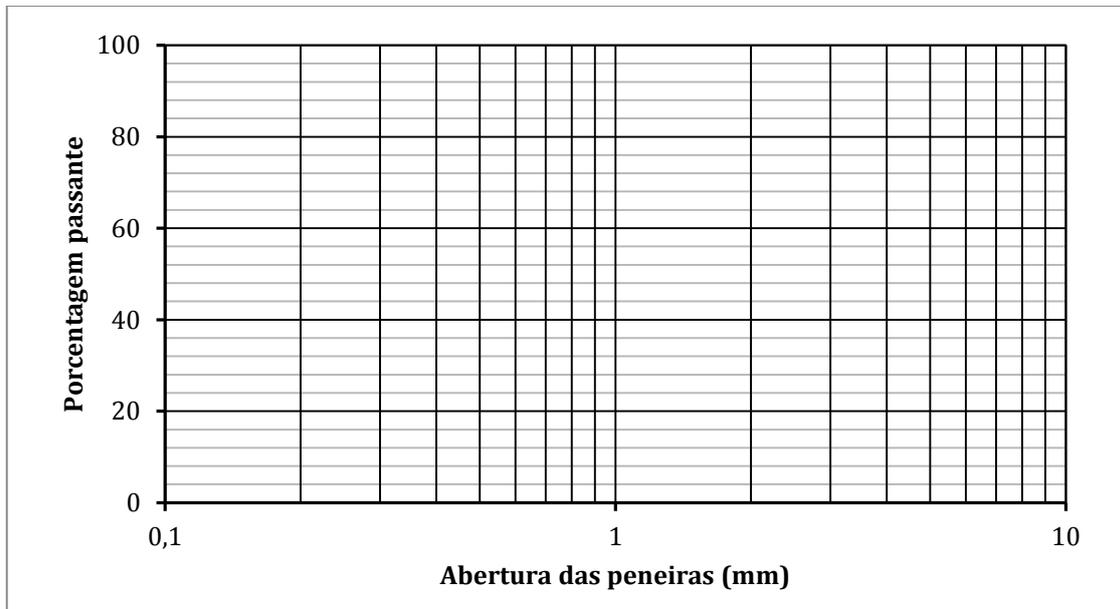


Fig. 5 – Curva granulométrica agregado miúdo



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 21 – Agregado graúdo

# peneira (mm)	1ª determinação		2ª determinação		VALOR MÉDIO RETIDO ACUMUL (%)
	m ₁ retida (g)	m ₁ ret. acumul. (%)	m ₂ retida(g)	m ₂ ret. acumul. (%)	
25,0					
19,0					
12,5					
9,5					
6,3					
4,75					
2,36					
1,18					
0,6					
0,3					
0,15					
FUNDO					
TOTAL					

Dimensão máxima característica (DMC): _____

Módulo de finura (MF): _____

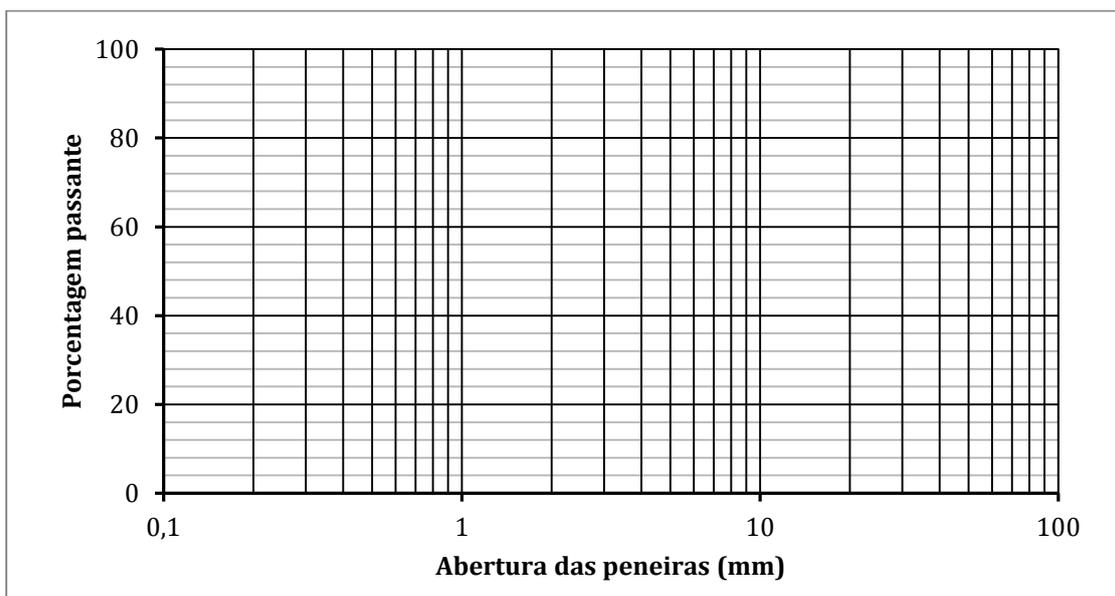


Fig. 6 – Curva granulométrica agregado graúdo



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Na Tabela 23 são apresentados os resultados de um ensaio de granulometria de amostras de areia fina e grossa, enquanto, na Tabela 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. As tabelas citadas mostram também os limites da classificação granulométrica das areias e das britas – NBR 7211 (ABNT, 1983).

Tabela 23 – Resultados de ensaios de granulometria de areia fina

Areia Fina								
Peneira (mm)	Peso (g)	Porcentagens		Cálculo MF	Porcentagens acumuladas – 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	---	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								

Tabela 24 – Resultados de ensaios de granulometria de areia grossa

Areia Grossa								
Peneira (mm)	Peso (g)	Porcentagens		Cálculo MF	Porcentagens acumuladas – 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	---	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	100	100,0		374,2				
MF = 3,74								

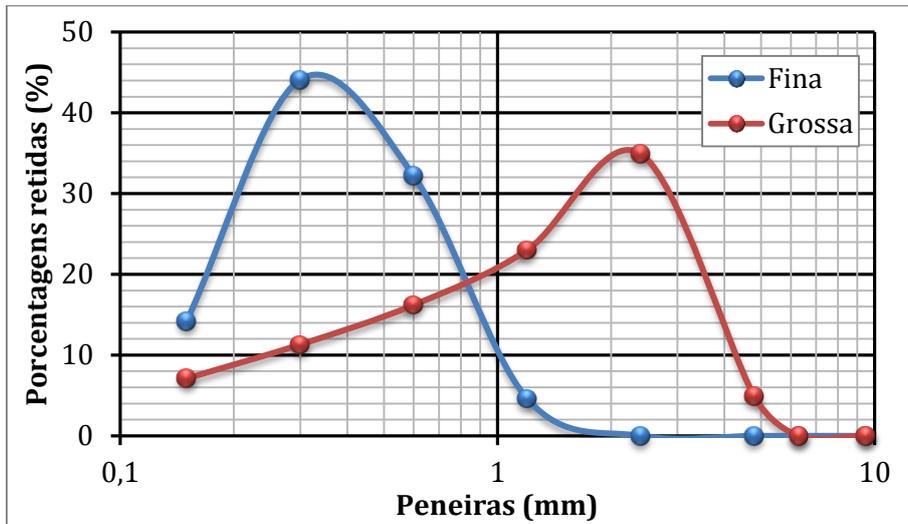


Fig. 12 – Curva granulométrica agregado miúdo – percentagens retidas

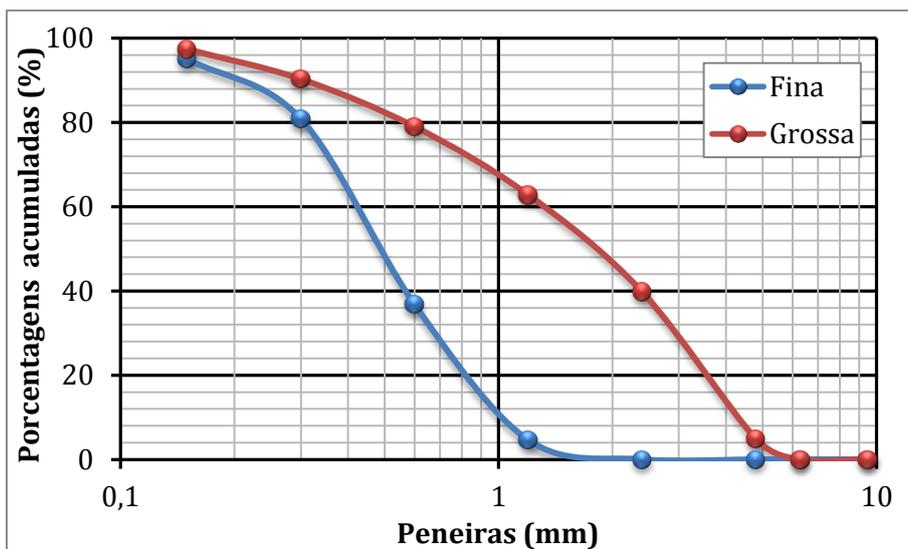


Fig. 13 – Curva granulométrica agregado miúdo – percentagens acumuladas



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 25 – Resultados de ensaios de granulometria de Brita 1

Brita 1									
Peneira (mm)	Peso (g)	Porcentagens		Cálculo MF	Porcentagens acumuladas – NBR 7211				
		Retida	Acumulada		Brita 0	Brita 1	Brita 2	Brita 3	Brita 4
100	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	---
76	0	0,0	0,0	0,0	---	---	---	---	---
64	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	0-30
50	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	75-100
38	0	0,0	0,0	0,0	---	---	---	0-30	90-100
32	0	0,0	0,0	---	---	---	---	75-100	95-100
25	0	0,0	0,0	---	---	---	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	---	---	---	90-100	---	---
9,5	6812	68,1	83,4	83,4	0-10	80-100	95-100	---	---
6,3	1158	11,6	95,0	---	---	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	---	---	---	---	---	---
Total	10000	100,0		681,3					
				MF = 6,81					

Tabela 26 – Resultados de ensaios de granulometria de Brita 3

Brita 3									
Peneira (mm)	Peso (g)	Porcentagens		Cálculo MF	Porcentagens acumuladas – NBR 7211				
		Retida	Acumulada		Brita 0	Brita 1	Brita 2	Brita 3	Brita 4
100	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	---
76	0	0,0	0,0	0,0	---	---	---	---	---
64	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	0-30
50	0	0,0	0,0	---	---	---	---	---	75-100
38	1067	4,3	4,3	4,3	---	---	---	0-30	90-100
32	18257	73,0	77,3	---	---	---	---	75-100	95-100
25	5001	20,0	97,3	---	---	---	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	---	---	---	90-100	---	---
9,5	0	0,0	99,9	99,9	0-10	80-100	95-100	---	---
6,3	0	0,0	99,9	---	---	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	---	---	---	---	---	---
0,6	0	0,0	99,9	---	---	---	---	---	---
0,3	0	0,0	99,9	---	---	---	---	---	---
0,15	0	0,0	99,9	---	---	---	---	---	---
Fundo	23	0,1	100,0	---	---	---	---	---	---
Total	25000	100,0		803,5					
				MF = 8,04					

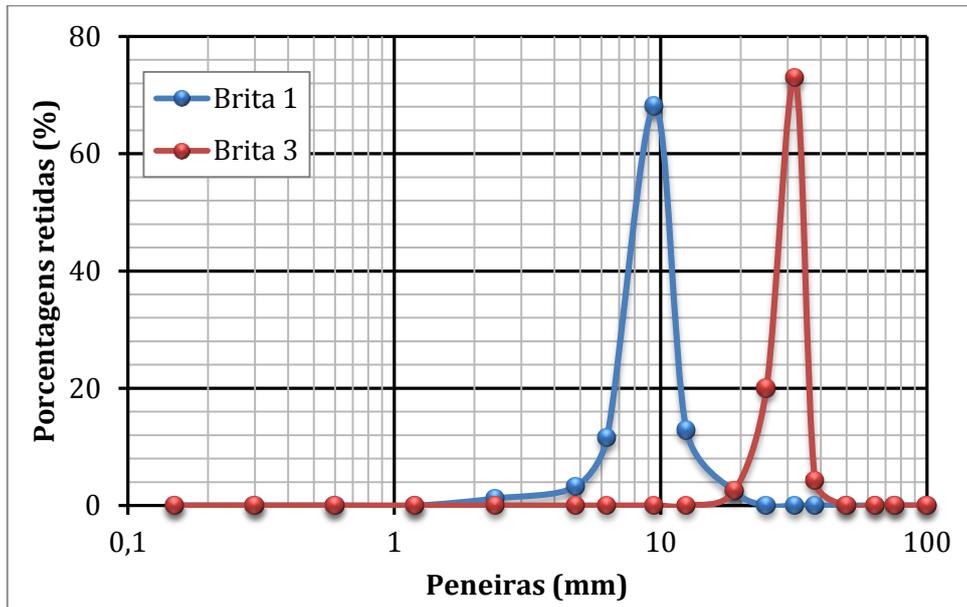


Fig. 14 - Curva granulométrica agregado graúdo - percentagens retidas

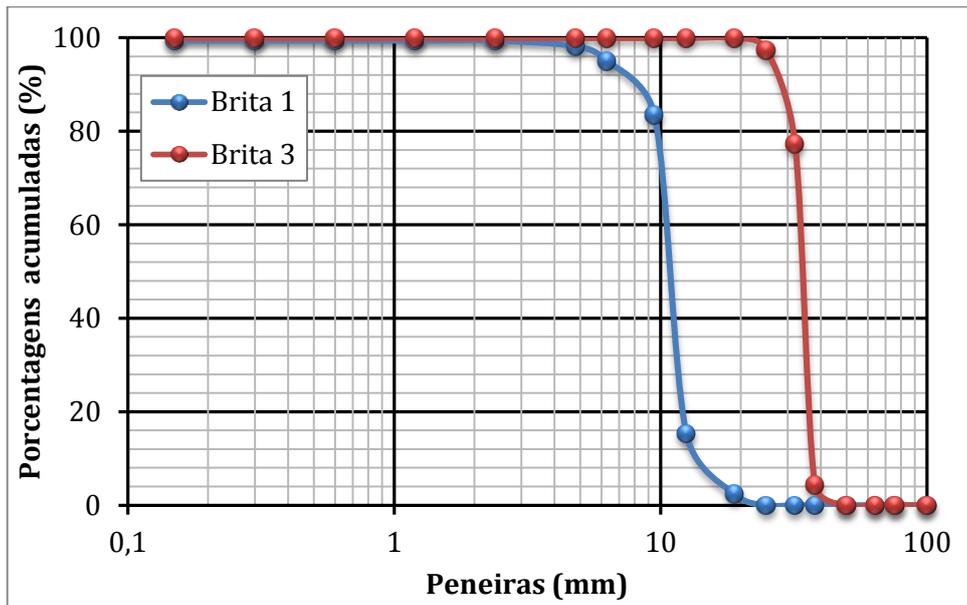


Fig. 15 - Curva granulométrica agregado graúdo - percentagens acumuladas



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

13.NBR 6467 – Inchamento do Agregado Miúdo

Definições:

Inchamento de agregado miúdo: Fenômeno de variação do volume aparente provocado pela adsorção de água livre pelos grãos e que incide sobre sua massa unitária.

Coefficiente de Inchamento: quociente entre os volumes úmido e seco de uma mesma massa de agregado.

Umidade crítica: Teor de umidade acima do qual o coeficiente de inchamento pode ser considerado constante e igual ao coeficiente de inchamento médio.

Coefficiente de inchamento Médio: Coeficiente utilizado para encontrar o volume da areia úmida a ser medido, quando a umidade do agregado estiver acima da umidade crítica. É expresso pelo valor médio entre o coeficiente de inchamento máximo e aquele correspondente à umidade crítica.

Aparelhagem:

- encerado de lona;
- balanças com capacidade de 50 kg e resolução de 100 g e com capacidade de 200 g e resolução de 0,01 g;
- recipiente padronizado (NBR 7251);
- régua;
- estufa;
- cápsulas com tampa;
- concha ou pá;
- proveta graduada.

Amostra:

Dobro do volume do recipiente.

Ensaio:

1. Secar a amostra em estufa até constância de massa;
2. Resfriá-la sobre a lona e homogeneizar;
3. Determinar sua massa unitária conforme NBR 7251;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

4. Adicionar água sucessivamente para umidades de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%.

Para cada adição de água:

- homogeneizar a amostra;
- determinar sua “massa unitária úmida”;
- coletar material em cápsulas para determinação da umidade em estufa.

Resultados:

Para cada massa unitária determinada, calcular o teor de umidade do agregado.

Para cada teor de umidade, calcular:

$$CI = \frac{V_h}{V_s} = \frac{\mu}{\mu_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad (10)$$

Onde: CI = coeficiente de inchamento;
h = umidade do agregado (%);
m = massa unitária do agregado seco (kg/dm³);
m_h = massa unitária do agregado com h% de umidade (kg/dm³).

1. Assinalar os pares de valores (h, V_h/V_s) em gráfico, e traçar a curva de inchamento;
2. Traçar a tangente a curva, paralela ao eixo das umidades, pelo ponto de CI máximo;
3. Traçar a corda que une a origem de coordenadas ao ponto de tangência da reta traçada anteriormente (CI máximo);
4. Traçar nova tangente à curva, paralela a esta corda, e determinar:

A umidade crítica que corresponde, na abscissa, ao ponto de interseção das duas tangentes;

O coeficiente de inchamento médio que corresponde à média aritmética entre os CI máximos e aquele correspondente à umidade crítica.

Obs:

1. O coeficiente de inchamento médio é empregado para correção do volume do agregado miúdo;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

2. Seu emprego é adequado quando a umidade do agregado é superior ou igual à umidade crítica.

Tabela 22 – Determinação do Inchamento do Agregado Miúdo

h (%)	Massa areia (kg)	Massa água (kg)	ρ (kg/dm ³)	CI = Vh/Vs
0				
0,5				
1,0				
2,0				
3,0				
4,0				
5,0				
7,0				
9,0				
12,0				

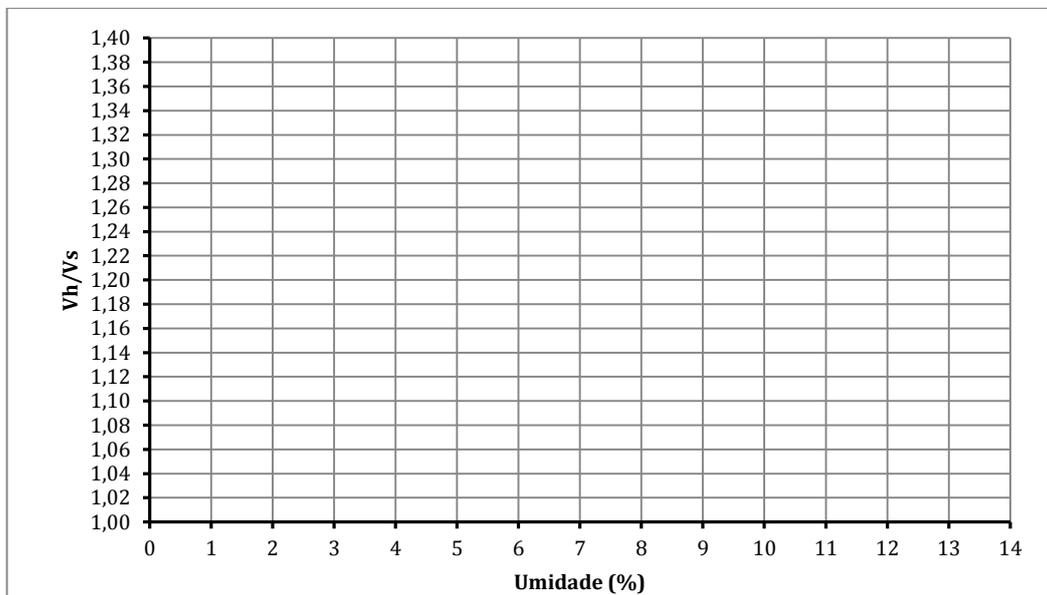


Fig. 7 – Determinação do Inchamento do Agregado Miúdo



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

14. NBR 7219 – Materiais pulverulentos (Substituída pela NBR NM 46)

Definição: Materiais pulverulentos - partículas minerais com dimensão inferior a 75 μm , incluindo os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Aparelhagem:

- balança com resolução de 0,1% da massa da amostra;
- estufa;
- peneiras com aberturas de malhas de 1,2 mm e 75 μm .

Amostra: a massa mínima para o ensaio é proporcional à dimensão máxima do agregado e deve estar de acordo com a **Tabela 23**:

Tabela 23 – Massa mínima de ensaio, por amostra

Dimensão máxima do agregado (mm)	Massa mínima da amostra (g)
2,36	100
4,75	500
9,5	1000
19,0	2500
37,5 ou superior	50000

Ensaio:

1. Secar a amostra em estufa a 100 C;
2. Determinar a massa inicial M_i ;
3. Colocar em um recipiente, recoberta de água;
4. Agitar vigorosamente e verter parte da água para outro recipiente através das peneiras;
5. Repetir a operação até que a água de lavagem de torne límpida, devolvendo o material retido nas peneiras para o recipiente;
6. Secar o material lavado em estufa a 100 C;
7. Determinar a massa à temperatura ambiente M_f .

Resultado:

O teor de materiais pulverulento é calculado pela relação:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$\% \text{mat. pulv.} = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100 \quad (04)$$

Especificação (NBR 7211): os teores de material pulverulento do agregado miúdo devem ser: menor ou igual a 3% para utilização em concreto submetido a desgaste superficial e menor ou igual a 5% para os demais concretos.

15.NBR NM 49 - Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo

Aparelhagem:

- balança com capacidade maior ou igual a 1 kg e sensibilidade de 0,01g;
- provetas (10 e 100 ml) e béquer (1 litro);
- frasco Erlenmeyer (250ml);
- funil;
- papel filtro;
- tubos Nessler (100 ml).

Reagentes e Soluções:

- Água destilada;
- Hidróxido de sódio (90 a 95% de pureza);
- Ácido tânico;
- Álcool (95%).

Preparo das soluções:

- Solução de hidróxido de sódio a 3% (30g hidróxido de sódio + 970g de água);
- Solução de ácido tânico a 2% (2g de ácido tânico + 10ml de álcool + 90ml de água);
- Solução padrão - 3 ml da solução de ácido tânico com 97 ml da solução de hidróxido de sódio em repouso durante 24 horas;

Amostra: 200 g de agregado miúdo seco ao ar livre.

Ensaio:

1. Colocar a amostra e 100ml da solução de hidróxido de sódio num frasco de Erlenmeyer;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

2. Agitar e deixar em repouso durante 24 horas;
3. Filtrar a solução, recolhendo-a em tubo Nessler.

Resultado:

Comparar a cor da solução obtida com a da solução padrão, observando se é mais clara, mais escura ou igual a da solução padrão.

Obs: No caso da solução resultante da amostra apresentar cor mais escura que a da solução padrão, a areia é considerada suspeita e deverão ser procedidos ensaios de qualidade conforme NBR 7221.

16. Exercícios

Exercício 1

O ensaio de inchamento de um agregado miúdo feito segundo a NBR 6467 apresentou os seguintes resultados:

Tabela 25 – Determinação do Inchamento

h (%)	ρ (kg/dm ³)	CI = Vh/Vs
0	1,51	
0,5	1,41	
1,0	1,31	
2,0	1,24	
3,0	1,23	1,26
4,0	1,24	1,27
5,0	1,24	1,28
7,0	1,28	1,26
9,0	1,31	1,26
12,0	1,37	1,23

Trace a curva de inchamento da areia acima estudada;
Determine a umidade crítica do agregado;
Determine o inchamento médio do agregado.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

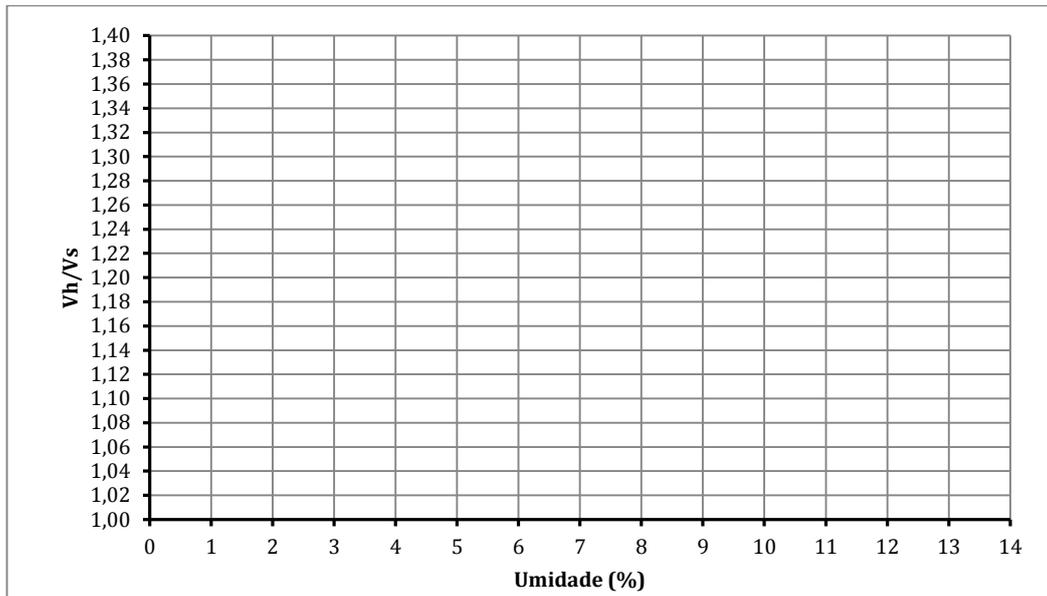


Fig. 9 – Determinação do Inchamento do Agregado Miúdo

Umidade crítica = _____

Coefficiente de inchamento médio = _____

Exercício 2

Determinar a curva granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima característica de uma mistura de 52 kg do agregado A, 91,8 kg do agregado B e 60 kg do agregado C, cujas granulometrias e características físicas são apresentadas nas tabelas.

Pede-se também o volume ocupado por cada um dos materiais após a secagem.

Tabela 26 – Determinação da curva granulométrica

Peneira (mm)	Agregado A	Agregado B	Agregado C
75			
63			
50			
37,5			2400
31,5			2000
25			9000
19			2000
12,5			1850



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

9,5		750	1400
6,3		650	1000
4,75		1000	350
2,36	20	1150	
1,18	80	750	
0,6	450	450	
0,3	300	150	
0,15	100	100	
Massa Total	1.000	5.000	20.000

Tabela 27 – Determinação da curva granulométrica

	Agregado A	Agregado B	Agregado C
Massa específica (kg/dm ³)	2,65	2,69	2,80
Massa unitária (kg/dm ³)	1,60	1,45	1,40
Umidade (%)	4,00	2,00	0,00

Tabela 28 – Determinação da curva granulométrica

Peneira Nº	mm	% retida			% ret. acumulada			% ret. na mistura			% ret. Acum.
		Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	
	50										
	37,5										
	31,5										
	25										
	19										
	12,5										
	9,5		15,0			15					
	6,3		13,0			28					
	4,75		20,0			48					
	2,36	2,0	23,0		2	71					
	1,18	8,0	15,0		10	86					
	0,6	45,0	9,0		55	95					
	0,3	30,0	3,0		85	98					
	0,15	10,0	2,0		95	100					



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

MF										
D_{max}										

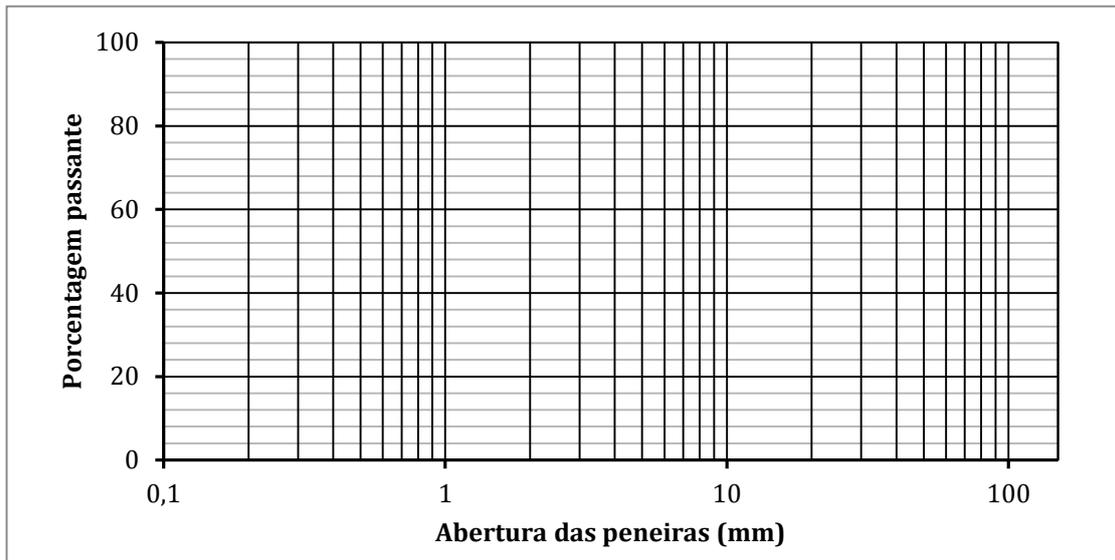


Fig. 10 – Curva granulométrica agregado graúdo

Exercício 3

Necessita-se, na obra, de uma areia cuja granulometria obedeça às especificações da zona ótima. Pedese determinar a mistura mais econômica entre as areias A e B de modo a atender a exigência, sabendo-se que a jazida de areia A está mais afastada da obra.

Representar graficamente a composição granulométrica da mistura e dos limites especificados.

Tabela 29 – Determinação da curva granulométrica

Peneira (mm)	% retida acumulada		Zona ótima	
	A	B	Limite inferior	Limite superior
6,3	-	-	0	0
4,75	-	6	0	5
2,36	-	53	10	20
1,18	6	70	20	30
0,6	32	83	35	55



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

0,3	71	95	65	85
0,15	87	99	90	95

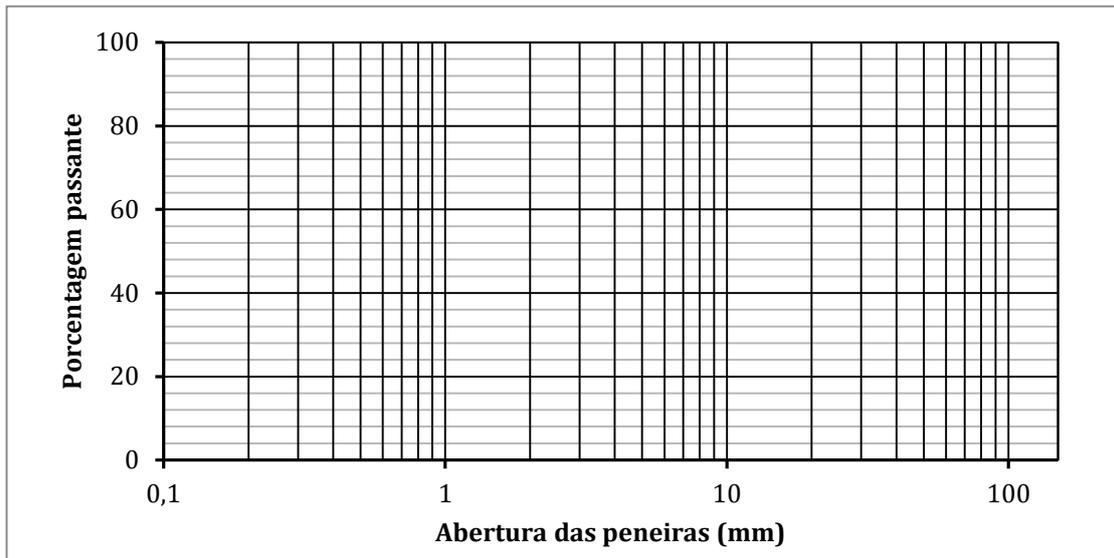


Fig. 11 – Curva granulométrica

Exercício 4

Qual a massa unitária da areia usada no ensaio em que o volume dos grãos, contido em um recipiente de 15 dm³, é de 8,25 dm³ e sua massa específica é de 2,65 kg/dm³?

Exercício 5

Qual o percentual de vazios de um material cuja massa específica é 2,50 kg/dm³ e a massa unitária é 0,85 kg/dm³?

Exercício 6

Qual o volume de água que existe em 90 kg de areia com umidade de 3,2%?

Exercício 7

Qual o volume de brita que deve ser pedido no depósito sabendo-se que serão necessárias 8 toneladas dessa brita na obra? O ensaio para determinação da massa unitária em estado solto apresentou os seguintes valores:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Massa do recipiente	= 9,7 kg
Massa do recipiente + amostra	= 38,2 kg
Volume do recipiente	= 20,0 dm ³

Exercício 8

Quantas toneladas de brita cabem num silo com as seguintes dimensões:

Base	= 2,5 m x 1,4 m
Altura	= 1,5 m

Sabe-se que a massa unitária da brita é de 1,42 kg/dm³.

Exercício 9

Para a execução de um filtro serão necessários 3 kg de areia com grãos maiores que 1,18 mm. Quantos quilos de areia serão necessários, se a areia apresenta a seguinte granulometria:

Tabela 30 – Massa retida (g)

Peneira (mm)	Massa retida (g)
4,75	15
2,36	110
1,18	248
0,60	115
0,30	92
0,15	85
Total	800

Exercício 10

Qual a massa de água necessária para conferir a 130 kg de areia seca um inchamento de 28%, sabendo-se que:

I	= 0%	ρ	= 1,51 kg/dm ³
I	= 28%	ρ_h	= 1,24 kg/dm ³
Massa específica	= 2,65 kg/dm ³		



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Exercício 11

Qual a massa de água que está incorporada em 200 kg de areia, considerando-se a mesma no ponto de umidade crítica? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

Exercício 12

Qual a massa de areia úmida que deve ser colocada numa betoneira para que se obtenha massa correspondente a 300 kg de areia seca? Sabe-se que a umidade da areia é de 3,5%.

Exercício 13

No cálculo de consumo de materiais, achamos que seriam necessários 7,500 kg de areia seca para a preparação do concreto. Qual o volume mínimo a adquirir, sabendo-se que a umidade da areia é de 7,5%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

Exercício 14

Qual o volume seco de areia trazido por uma caçamba com a capacidade de 8 m³, sabendo que a areia transportada tem uma umidade de 5,0%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

Exercício 15

Qual a massa seca de 5 m³ de areia, considerando-se que a mesma apresenta uma umidade de 3,0%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

Exercício 16

Qual o volume de areia úmida na umidade crítica ocupado por 100 kg de areia seca? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

Exercício 17

Uma caixa de base quadrada com 0,5 m de lado e 0,4 m de altura está cheia de areia seca. Qual o crescimento de altura que deve sofrer a caixa se tiver que armazenar a mesma quantidade de areia, porém umedecida? (Condições de ensaio: h= 3,0% e I=25%)



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Exercício 18

Uma argamassa deve ser preparada com 27 litros de água no total. Na mistura foram colocados 105 kg de areia com 5% de umidade. Qual a quantidade de água a ser medida para manter a umidade prevista da mistura.

Exercício 19

Sabe-se que em uma argamassa usaram-se 30 litros de água para 50 kg de cimento e 150 kg de areia seca. Qual a quantidade de água a colocar num determinado volume de argamassa, com estas características, quando empregamos 260 dm³ de areia com 3% de umidade? Considerar a areia com inchamento de 27% e $\rho = 1,51$ kg/dm³.

Exercício 20

Se misturarmos 122 kg de areia A, com umidade de 2,3% e 148 kg de areia B, com umidade de 3,2%, responda:

a) Qual a quantidade de água existente na referida mistura? b) Qual a umidade da mistura?

Exercício 21

Dispomos no canteira de obra de 140 dm³ de areia A e 240 dm³ de areia B com características do item anterior. Pergunta-se: (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

a) Qual a quantidade total de areia seca?
b) Qual a quantidade total de água contida nas referidas areias?

Exercício 22

Temos 60 litros de areia A com uma umidade de 3%. Precisamos misturá-la com 120 kg de uma outra areia B com umidade de 4%. Qual a massa de mistura seca? E sua umidade?

Tabela 31 – Dados Exercício 22

Dados	Areia A	Areia B
h (%)	3,0	4,00
I (%)	23,0	25,0
ρ (kg/dm ³)	1,5	1,47



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

17. Respostas

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 4) ρ = 1,44 kg/dm ³ | 14) V_s = 6,2 m ³ |
| 5) %V = 66 % | 15) M_s = 6,0 t |
| 6) V_{ag} = 2,8 l | 16) V_h = 85,43 dm ³ |
| 7) V = 5,6 m ³ | 17) ΔH = 0,1 m |
| 8) M = 7,46 t | 18) M_{ag} = 22 l |
| 9) M_{areia} = 6,4 kg | 19) V_{ag} = 43,8 l ρ = 1,51 kg/dm ³ |
| 10) M_{ag} = 6,6 kg (h = 5,1%) | 20) a) M_{ag} = 7,33 kg b) h = 2,8 % |
| 11) M_{ag} = 9,52 kg | 21) a) M_s = 455,8 kg b) M_{ag} = 13,1 kg |
| 12) M_h = 310,5 kg | 22) M = 188,5 kg h = 3,6 % |
| 13) V_h = 3,8 m ³ | |

18. Resolução dos exercícios:

Exercício 1:

O ensaio de inchamento de um agregado miúdo feito segundo a NBR 6467 apresentou os seguintes resultados:

Tabela 1 – Determinação do Inchamento

h (%)	ρ (kg/dm ³)	CI = V_h/V_s
0	1,51	
0,5	1,41	
1,0	1,31	
2,0	1,24	
3,0	1,23	1,26
4,0	1,24	1,27
5,0	1,24	1,28
7,0	1,28	1,26
9,0	1,31	1,26
12,0	1,37	1,23

a) Trace a curva de inchamento da areia acima estudada;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- b) Determine a unidade crítica do agregado;
- c) Determine o inchamento médio do agregado.

Resposta Exercício 1

- a) Inicialmente é necessário determinar os valores que faltam da Tabela 1

Para $h=0\%$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad (01)$$

$$CI = \frac{1,51}{1,51} \cdot \left(\frac{100}{100} \right) \rightarrow CI = 1 \quad (02)$$

Para $h=0,5\%$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad (03)$$

$$CI = \frac{1,51}{1,41} \cdot \left(\frac{100,5}{100} \right) \rightarrow CI = 1,08 \quad (04)$$

Para $h=1,0\%$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad (05)$$

$$CI = \frac{1,51}{1,31} \cdot \left(\frac{101}{100} \right) \rightarrow CI = 1,16 \quad (06)$$

Para $h=2,0\%$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad (07)$$

$$CI = \frac{1,51}{1,24} \cdot \left(\frac{102}{100} \right) \rightarrow CI = 1,16 \quad (08)$$



Tabela 1– Determinação do Inchamento

h (%)	ρ (kg/dm ³)	CI = Vh/Vs
0	1,51	1,00
0,5	1,41	1,08
1,0	1,31	1,16
2,0	1,24	1,24
3,0	1,23	1,26
4,0	1,24	1,27
5,0	1,24	1,28
7,0	1,28	1,26
9,0	1,31	1,26
12,0	1,37	1,23

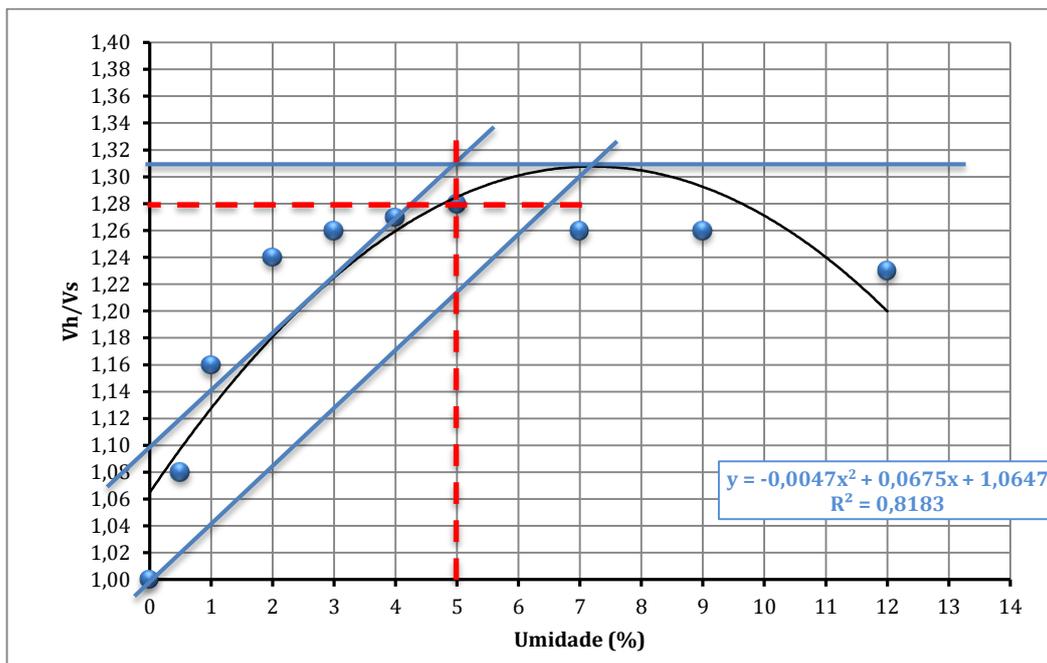


Fig. 1 – Determinação do Inchamento do Agregado Miúdo

b) Determine a umidade crítica do agregado:

Umidade crítica = 5,0 %

c) Determine o inchamento médio do agregado:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$CI_{med} = \frac{CI_{max} + CI_{cri}}{2} \quad (09)$$

$$CI_{med} = \frac{1,31 + 1,28}{2} \quad (10)$$

$$CI_{med} = 1,29 \quad (11)$$

Coeficiente de Inchamento Médio = 1,29

Exercício 2

Determinar a curva granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima característica de uma mistura de 52 kg do agregado A, 91,8 kg do agregado B e 60 kg do agregado C, cujas granulometrias e características físicas são apresentadas nas tabelas. Pedese também o volume ocupado por cada um dos materiais após a secagem.

Tabela 01 – Determinação da curva granulométrica

Peneira (mm)	Agregado A	Agregado B	Agregado C
63			
50			
37,5			2400
31,5			2000
25			9000
19			2000
12,5			1850
9,5		750	1400
6,3		650	1000
4,75		1000	350
2,36	20	1150	
1,18	80	750	
0,6	450	450	
0,3	300	150	
0,15	100	100	
Massa Total (g)	1.000	5.000	20.000



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Resposta Exercício 2

	Agregado A	Agregado B	Agregado C
Massa específica (kg/dm ³)	2,65	2,69	2,80
Massa unitária (kg/dm ³)	1,60	1,45	1,40
Umidade (%)	4,00	2,00	0,00

Sabe-se que os agregados encontram-se úmidos, portanto é necessário seca-los, e só após isso realizar a mistura.

Demonstração:

$$h = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \rightarrow m_h - m_s = \frac{m_s \cdot h}{100} \quad (01)$$

$$m_s = \left(\frac{100}{100 + h} \right) \cdot m_h \quad (02)$$

Mas,

$$Ch = \frac{100}{100 + h} \quad (03)$$

Assim obtemos:

$$m_s = Ch \cdot m_h \quad (04)$$

Agregado A:

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 4} \right) \cdot 56 \quad (05)$$

$$m_s = 50 \text{ kg} \quad (06)$$

Agregado B:

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 2} \right) \cdot 91,8 \quad (07)$$

$$m_s = 90 \text{ kg} \quad (08)$$

Agregado C:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

O agregado C está isento de umidade, portanto $M_s=60$ kg.

Fazendo o somatório dos agregados tem-se: Massa Total = 200 kg.

Depois de determinar a massa total, é necessário calcular o porcentual de cada agregado na mistura.

Tabela 03 – Massa Total

Agregado	Massa (kg)	%
A	50	25
B	90	45
C	60	30
Massa Total	200	100

Agora é necessário completar a Tabela 4

Tabela 04 – Determinação da curva granulométrica

Peneira		% retida			% ret. acumulada			% na mistura			% ret. Acum.
Nº	mm	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	
	50										
	37,5										
	31,5										
	25										
	19										
	12,5										
	9,5		15			15					
	6,3		13			28					
	4,75		20			48					
	2,36	2	23		2	71					
	1,18	8	15		10	86					
	0,6	45	9		55	95					
	0,3	30	3		85	98					
	0,15	10	2		95	100					
	MF										
	D _{max}										



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Para calcular a porcentual individual de cada agregado, basta :

Na Tabela 1, pegar a massa total (dada) e com a massa retida na peneira que deseja calcular o seu porcentual:

Agregado C

$$\% \text{retida (37,5)} = \frac{2400 \cdot 100}{20000} = 12\% \quad (09)$$

Para calcular a porcentual retido acumulado individual de cada agregado, basta acumular cada agregado. Exemplo:

Agregado A

$$2+8 = 10$$

$$10+45 = 55$$

$$55+30 = 85$$

$$85+10 = 95$$

Para calcular a porcentagem na mistura:

Com os percentuais de cada agregado (A = 25%; B = 45%; C = 30%) multiplica pela % ret. Acumulada do agregado correspondente. Exemplo:

Agregado A

$$\% \text{ na mistura (ag. A - 2,36 mm)} = 0,25 \cdot 2 = 0,5\%$$

Para calcular a porcentagem retida acumulada na mistura: basta aproximar a porcentagem na mistura para um número inteiro. Exemplo:

	Agregado A	Agregado B	Agregado C	%ret. acumulada
Peneira 12,5 mm	0,5	32	30	---



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Aproximando:

	Agregado A	Agregado B	Agregado C	%ret. acumulada
Peneira 12,5 mm	1	32	30	63

Tabela 04– Determinação da curva granulométrica

Peneira		% retida			% ret. acumulada			% na mistura			% ret. Acum.
Nº	mm	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	Ag. A	Ag. B	Ag. C	
	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37,5	0	0	12	0	0	12	0	0	3,6	4
	31,5	0	0	10	0	0	22	0	0	6,6	7
	25	0	0	45	0	0	67	0	0	20,1	20
	19	0	0	10	0	0	77	0	0	23,1	23
	12,5	0	0	9,25	0	0	86,3	0	0	25,9	26
	9,5	0	15	7	0	15	93,3	0	6,75	28	35
	6,3	0	13	5	0	28	98,3	0	12,6	29,5	42
	4,75	0	20	1,75	0	48	100	0	21,6	30	52
	2,36	2	23	0	2	71	100	0,5	32	30	63
	1,18	8	15	0	10	86	100	2,5	38,7	30	71
	0,6	45	9	0	55	95	100	13,8	42,8	30	87
	0,3	30	3	0	85	98	100	21,3	44,1	30	95
	0,15	10	2	0	95	100	100	23,8	45	30	99
	MF	---	---	---	2,47	5,13	7,82	---	---	---	5,29
	D _{max}	---	---	---	2,36	12,5	50	---	---	---	37,5

Com as colunas preenchidas, calcula-se o modulo de finura e o diâmetro máximo para cada agregado.

Módulo de finura: Soma das % ret. acumuladas, nas peneiras de série normal dividido por 100. Exemplo:

Agregado A:

$$\text{Mod. Finura} = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulada}}{100} \rightarrow \frac{247}{100} = 2,47 \quad (10)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Agregado B:

$$\text{Mod. Finura} = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulada}}{100} \rightarrow \frac{513}{100} = 5,13 \quad (11)$$

Agregado C:

$$\text{Mod. Finura} = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulada}}{100} \rightarrow \frac{782}{100} = 7,82 \quad (11)$$

Dimensão máxima característica: corresponde ao número da peneira que fica retida 5% ou imediatamente inferior do agregado.

Agregado A: 2,36 mm

Agregado B: 12,5 mm

Agregado C: 50 mm

Determinação da curva granulométrica da mistura:

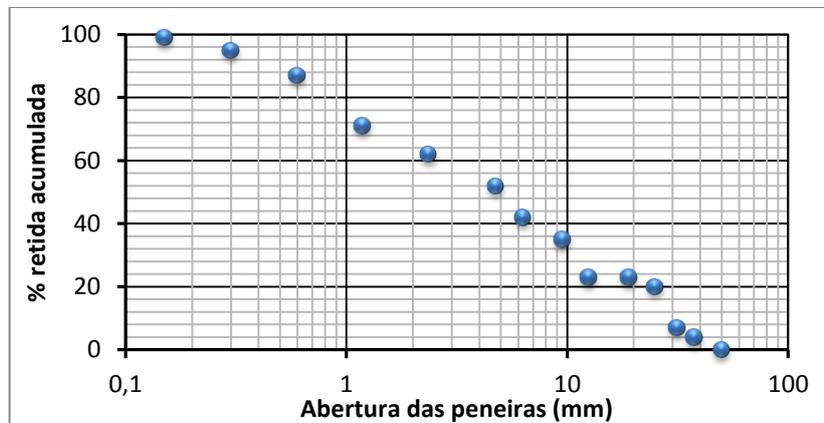


Figura 1: Curva granulométrica da mistura

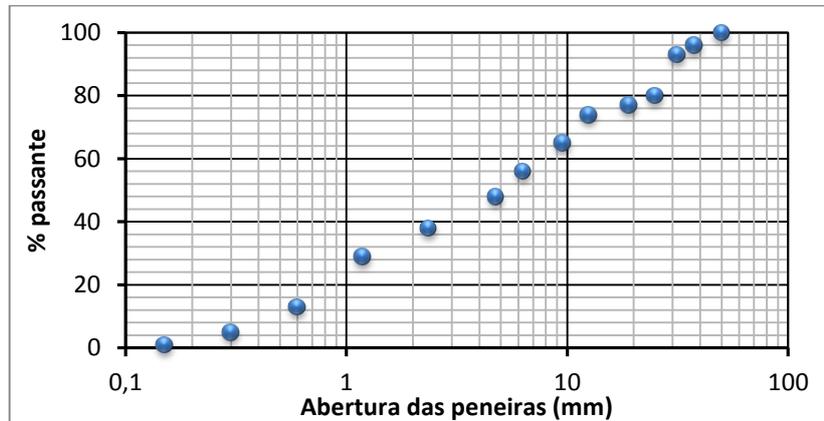


Figura 2: Curva granulométrica da mistura

Exercício 3

Necessita-se , na obra, de uma areia cuja granulometria obedeça às especificações da zona ótima. Pedese determinar a mistura mais econômica entre as areias A e B de modo a atender a exigência, sabendo-se que a jazida de areia A está mais afastada da obra.

Representar graficamente a composição granulométrica da mistura e dos limites especificados.

Tabela 29 – Determinação da curva granulométrica

Peneira (mm)	% retida acumulada		Zona ótima	
	A	B	Limite inferior	Limite superior
6,3	-	-	0	0
4,75	-	6	0	5
2,36	-	53	10	20
1,18	6	70	20	30
0,6	32	83	35	55
0,3	71	95	65	85
0,15	87	99	90	95

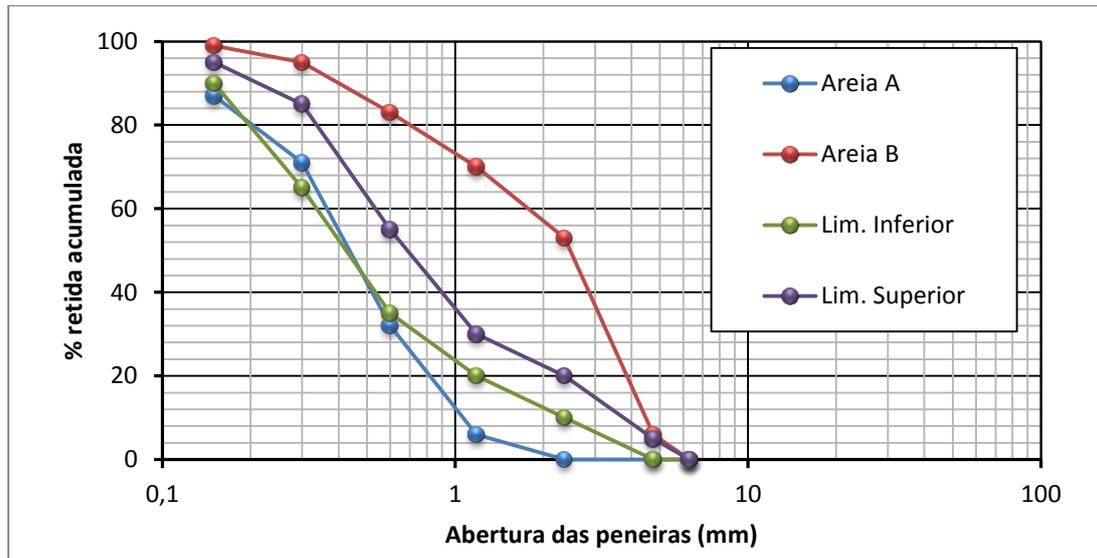


Fig. 11 – Curva granulométrica

Exercício 4

Qual a massa unitária da areia usada no ensaio em que o volume dos grãos, contido em um recipiente de 15 dm³, é de 8,25 dm³ e sua massa específica é de 2,65 kg/dm³?

$$\gamma_{\text{esp}} = \frac{M}{V} \rightarrow M = V \cdot \gamma_{\text{esp}} \rightarrow M = 2,65 \cdot 8,25 \rightarrow M = 21,62 \text{ kg} \quad (01)$$

$$\gamma_{\text{uni}} = \frac{M}{V} \rightarrow \gamma_{\text{esp}} = \frac{21,62}{15} \rightarrow \gamma_{\text{uni}} = 1,44 \text{ kg/dm}^3 \quad (02)$$

Exercício 5

Qual o percentual de vazios de um material cuja massa específica é 2,50 kg/dm³ e a massa unitária é 0,85 kg/dm³?

$$\text{Vazios} = 2,5 - 0,85 \rightarrow \text{Vazios} = 1,65 \text{ kg/dm}^3 \quad (01)$$

$$2,5 \leftrightarrow 100\%$$

$$1,65 \leftrightarrow X\% \quad X (\text{vazios}) \leftrightarrow 66\%$$



Exercício 6

Qual o volume de água que existe em 90 kg de areia com umidade de 3,2%?

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 3,2} \right) \cdot 90 \quad (01)$$

$$m_s = 87,21 \text{ kg} \quad (02)$$

$$V_{\text{agua}} = m_h - m_s \quad (03)$$

$$V_{\text{agua}} = 90 - 87,21 \quad (04)$$

$$V_{\text{agua}} = 2,79 \text{ litros} \quad (05)$$

$$V_{\text{agua}} \cong 2,80 \text{ litros} \quad (06)$$

Exercício 7

Qual o volume de brita que deve ser pedido no depósito sabendo-se que serão necessárias 8 toneladas dessa brita na obra? O ensaio para determinação da massa unitária em estado solto apresentou os seguintes valores:

$$\text{Massa do recipiente} = 9,7 \text{ kg}$$

$$\text{Massa do recipiente + amostra} = 38,2 \text{ kg}$$

$$\text{Volume do recipiente} = 20,0 \text{ dm}^3$$

$$\text{Amostra} = 38,2 - 9,7 \rightarrow \text{Amostra} = 28,5 \text{ kg} \quad (01)$$

$$\gamma_{\text{uni}} = \frac{M}{V} \rightarrow \gamma_{\text{uni}} = \frac{28,5}{20} \rightarrow \gamma_{\text{uni}} = 1,43 \text{ kg/dm}^3 \quad (02)$$

$$V_{\text{brita}} = \frac{8000}{1,43} \rightarrow V_{\text{brita}} = 5594,41 \text{ dm}^3 \quad (03)$$

$$V_{\text{brita}} \cong 5,6 \text{ m}^3 \quad (04)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Exercício 8

Quantas toneladas de brita cabem num silo com as seguintes dimensões:

$$\text{Base} = 2,5 \text{ m} \times 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 1,5 \text{ m}$$

Sabe-se que a massa unitária da brita é de $1,42 \text{ kg/dm}^3$.

$$\text{Volume do silo} = 2,5 \cdot 1,4 \cdot 1,5 \rightarrow \text{Volume do silo} = 5,25 \text{ m}^3 \quad (01)$$

$$\text{Massa} = 1,42 \cdot 5250 \rightarrow \text{Massa} = 7455 \text{ kg} \quad (02)$$

$$\text{Massa} = 7,46 \text{ t} \quad (03)$$

Exercício 9

Para a execução de um filtro serão necessários 3 kg de areia com grãos maiores que 1,18 mm. Quantos quilos de areia serão necessários, se a areia apresenta a seguinte granulometria:

Tabela 30 – Massa retida (g)

Peneira (mm)	Massa retida (g)
4,75	15
2,36	110
1,18	248
0,60	115
0,30	92
0,15	85
Total	800

$$\text{Massa} = 15 + 110 + 248 \rightarrow \text{Massa} = 373 \text{ g} \quad (01)$$

$$800 \leftrightarrow 100\%$$

$$373 \leftrightarrow X\%$$

$$X = 46,6\%$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$Y \leftrightarrow 100\%$$

$$3 \text{ kg} \leftrightarrow 46,6\%$$

$$Y = 6,4 \text{ kg}$$

Exercício 10

Qual a massa de água necessária para conferir a 130 kg de areia seca um inchamento de 28%, sabendo-se que:

$$\begin{array}{ll} I & = 0\% \\ I & = 28\% \\ \text{Massa específica} & = 2,65 \text{ kg/dm}^3 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} \gamma & = 1,51 \text{ kg/dm}^3 \\ \gamma_h & = 1,24 \text{ kg/dm}^3 \end{array}$$

$$\gamma = \frac{M}{V_s} \rightarrow V_s = \frac{130}{1,51} \rightarrow V_s = 86,09 \text{ dm}^3 \quad (01)$$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow V_h = V_s \cdot CI \quad (02)$$

$$V_h = V_s \cdot CI \rightarrow V_h = 86,09 \cdot 1,28 \quad (03)$$

$$V_h = 110,20 \text{ dm}^3 \quad (04)$$

$$m_h = \gamma_h \cdot V_h \rightarrow m_h = 1,24 \cdot 110,20 \quad (05)$$

$$m_h = 136,64 \text{ kg} \quad (06)$$

$$M_{\text{água}} = m_h - m_s \quad (07)$$

$$M_{\text{água}} = 136,64 - 130 \rightarrow M_{\text{água}} = 6,64 \text{ kg} \quad (08)$$

$$M_{\text{água}} \cong 6,6 \text{ kg} \quad (09)$$

Exercício 11

Qual a massa de água que está incorporada em 200 kg de areia, considerando-se a mesma no ponto de umidade crítica? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 5} \right) \cdot 200 \quad (01)$$

$$m_s = 190,47 \text{ kg} \quad (02)$$

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s \quad (03)$$

$$M_{\text{agua}} = 200 - 190,47 \quad (04)$$

$$M_{\text{agua}} = 9,52 \text{ kg} \quad (05)$$

Exercício 12

Qual a massa de areia úmida que deve ser colocada numa betoneira para que se obtenha massa correspondente a 300 kg de areia seca? Sabe-se que a umidade da areia é de 3,5%.

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 4,5}{100} \right) \cdot 300 \quad (01)$$

$$m_h = 310,5 \text{ kg} \quad (02)$$

Exercício 13

No cálculo de consumo de materiais, achamos que seriam necessários 7,500 kg de areia seca para a preparação do concreto. Qual o volume mínimo a adquirir, sabendo-se que a umidade da areia é de 7,5%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1).

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 4,5}{100} \right) \cdot 4500 \quad (01)$$

$$m_h = 4702,5 \text{ kg} \quad (02)$$

Observação : a massa está seca, logo deve-se usar a massa unitária seca, ou seja umidade = 0% ($\gamma = 1,51 \text{ kg/dm}^3$).

$$\gamma = \frac{M}{V_s} \rightarrow V_s = \frac{4500}{1,51} \rightarrow V_s = 2980,13 \text{ dm}^3 \quad (03)$$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow V_h = V_s \cdot CI \quad (04)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$V_h = V_s \cdot CI \rightarrow V_h = 2980,13 \cdot 1,29 \quad (05)$$

$$V_h = 3844,36 \text{ dm}^3 \quad (06)$$

$$V_h \cong 3,8 \text{ m}^3 \quad (07)$$

Exercício 14

Qual o volume seco de areia trazido por uma caçamba com a capacidade de 8 m³, sabendo que a areia transportada tem uma umidade de 5,0%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

$$V_h = 8 \text{ m}^3 \quad (01)$$

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{8000}{1,29} \quad (02)$$

$$V_s = 6201,55 \text{ dm}^3 \rightarrow V_s \cong 6,2 \text{ m}^3 \quad (03)$$

Exercício 15

Qual a massa seca de 5 m³ de areia, considerando-se que a mesma apresenta uma umidade de 3,0%? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

$$V_h = 5000 \text{ dm}^3 \quad (01)$$

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{5000}{1,26} \quad (02)$$

$$V_s = 3968,3 \text{ dm}^3 \quad (03)$$

$$m_h = \gamma \cdot V_h \quad (04)$$

$$m_h = 1,23 \cdot 5000 \quad (05)$$

$$m_h = 6150 \text{ kg} \quad (06)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 3} \right) \cdot 6150 \quad (07)$$

$$m_s = 5970,9 \text{ kg} \quad (08)$$

$$m_s \cong 6 \text{ t} \quad (09)$$

Exercício 16

Qual o volume de areia úmida na umidade crítica ocupado por 100 kg de areia seca? (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

$$m_s = 100 \text{ kg} \quad (01)$$

$$\gamma = \frac{M}{V_s} \rightarrow V_s = \frac{100}{1,51} \rightarrow V_s = 66,23 \text{ dm}^3 \quad (02)$$

$$CI = \frac{V_h}{V_s} \rightarrow V_h = V_s \cdot CI \quad (03)$$

$$V_h = V_s \cdot CI \rightarrow V_h = 66,23 \cdot 1,28 \quad (04)$$

$$V_h = 85,43 \text{ dm}^3 \quad (05)$$

Exercício 17

Uma caixa de base quadrada com 0,5 m de lado e 0,4 m de altura está cheia de areia seca. Qual o crescimento de altura que deve sofrer a caixa se tiver que armazenar a mesma quantidade de areia, porém umedecida? (Condições de ensaio: $h = 3,0\%$ e $I = 25\%$)

$$\text{Volume da caixa} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \quad (01)$$

$$\text{Volume da caixa} = 0,1 \text{ m}^3 \quad (02)$$

$$\text{Volume da caixa} = 100 \text{ dm}^3 \quad (03)$$

$$V_h = V_s \cdot CI \rightarrow V_h = 1,25 \cdot 100 \quad (04)$$

$$V_h = 125 \text{ dm}^3 \quad (05)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Volume da caixa para armazenar a mesma areia porém umida:

$$V = A \cdot h \rightarrow h = \frac{V}{A} = \frac{0,125}{0,25} \rightarrow h = 0,5 \text{ m} \quad (06)$$

A altura da caixa teria que saltar para 0,5 m ou seja um acréscimo de 0,1 m em sua altura.

Exercício 18

Uma argamassa deve ser preparada com 27 litros de água no total. Na mistura foram colocados 105 kg de areia com 5% de umidade. Qual a quantidade de água a ser medida para manter a umidade prevista da mistura.

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 5} \right) \cdot 105 \quad (01)$$

$$m_s = 100 \text{ kg} \quad (02)$$

$$M_{\text{água}} = m_h - m_s \quad (03)$$

$$M_{\text{água}} = 105 - 100 \quad (04)$$

$$M_{\text{água}} = 5 \text{ kg} \quad (05)$$

$$V_{\text{água}} = 27 - 5 = 22 \text{ l} \quad (05)$$

Exercício 19

Sabe-se que em uma argamassa usaram-se 30 litros de água para 50 kg de cimento e 150 kg de areia seca. Qual a quantidade de água a colocar num determinado volume de argamassa, com estas características, quando empregamos 260 dm³ de areia com 3% de umidade? Considerar a areia com inchamento de 27% e $\rho = 1,51 \text{ kg/dm}^3$.

Traço em massa $\rightarrow 50:150:30$

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{260}{1,27} \quad (01)$$

$$V_s = 204,72 \text{ dm}^3 \quad (02)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$m_s = \gamma_s \cdot V_s \rightarrow m_s = 1,51 \cdot 204,72 \quad (03)$$

$$m_s = 309,13 \text{ kg} \quad (04)$$

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 3}{100} \right) \cdot 309,13 \quad (05)$$

$$m_h = 318,4 \text{ kg} \quad (06)$$

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s = 318,4 - 309,13 \quad (07)$$

$$M_{\text{agua}} = 9,27 \text{ kg} \quad (08)$$

$$180 \text{ (areia + \acute{a}gua)} \leftrightarrow 100\%$$

$$30 \text{ (\acute{a}gua)} \leftrightarrow X\%$$

$$X = 16,67 \%$$

$$318,4 \text{ (areia + \acute{a}gua)} \leftrightarrow 100\%$$

$$\text{(\acute{a}gua)} \leftrightarrow 16,67\%$$

$$\text{(\acute{a}gua)} = 53,07 \text{ l}$$

$$V_{\text{agua}} = (53,07 - 9,27) = 43,8 \text{ l} \quad (09)$$

Exercício 20

Se misturarmos 122 kg de areia A, com umidade de 2,3% e 148 kg de areia B, com umidade de 3,2%, responda:

a) Qual a quantidade de \acute{a}gua existente na referida mistura?

Areia A

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 2,3} \right) \cdot 122 \quad (01)$$

$$m_s = 119,26 \text{ kg} \quad (02)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s = 122 - 119,26 \quad (03)$$

$$M_{\text{agua}} = 2,74 \text{ kg} \quad (04)$$

Areia B

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 3,2} \right) \cdot 148 \quad (05)$$

$$m_s = 143,41 \text{ kg} \quad (06)$$

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s = 148 - 143,41 \quad (07)$$

$$M_{\text{agua}} = 4,59 \text{ kg} \quad (08)$$

Mistura A + B

$$M_{\text{agua}} = 2,74 + 4,59 \quad (09)$$

$$M_{\text{agua}} = 7,33 \text{ kg} \quad (10)$$

b) Qual a umidade da mistura?

$$h(\%) = \left(\frac{M_h - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \rightarrow h(\%) = \left(\frac{7,33}{262,67} \right) \cdot 100 \quad (01)$$

$$h(\%) = 2,8\% \quad (02)$$

Exercício 21

Dispomos no canteira de obra de 140 dm³ de areia A e 240 dm³ de areia B com características do item anterior. Pergunta-se: (CI e umidade crítica igual ao Exercício 1)

a) Qual a quantidade total de areia seca?

b) Qual a quantidade total de água contida nas referidas areias?

Areia A



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{140}{1,24} \quad (01)$$

$$V_s = 112,90 \text{ dm}^3 \quad (02)$$

$$m_s = \gamma_s \cdot V_s \rightarrow m_s = 112,90 \cdot 1,51 \quad (03)$$

$$m_s = 170,48 \text{ kg} \quad (04)$$

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 2,3}{100} \right) \cdot 170,48 \quad (05)$$

$$m_h = 174,41 \text{ kg} \quad (06)$$

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s = 174,41 - 170,48 \quad (07)$$

$$M_{\text{agua}} = 3,93 \text{ kg} \quad (08)$$

Areia B

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{240}{1,27} \quad (09)$$

$$V_s = 188,98 \text{ dm}^3 \quad (10)$$

$$m_s = \gamma_s \cdot V_s \rightarrow m_s = 188,98 \cdot 1,51 \quad (11)$$

$$m_s = 285,36 \text{ kg} \quad (12)$$

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 3,2}{100} \right) \cdot 285,36 \quad (13)$$

$$m_h = 294,48 \text{ kg} \quad (14)$$

$$M_{\text{agua}} = m_h - m_s = 294,48 - 285,36 \quad (15)$$

$$M_{\text{agua}} = 9,12 \text{ kg} \quad (16)$$

$$\sum M_{\text{areia}} = 2585,36 + 170,48 = 455,84 \text{ kg} \quad (17)$$



$$\sum M_{\text{agua}} = 9,12 + 3,93 = 13,1 \text{ kg} \quad (17)$$

Exercício 22

Temos 60 litros de areia A com uma umidade de 3%. Precisamos misturá-la com 120 kg de uma outra areia B com umidade de 4%. Qual a massa de mistura seca? E sua umidade?

Tabela 1 – Dados Exercício 22

Dados	Areia A	Areia B
h (%)	3,0	4,00
I (%)	23,0	25,0
ρ (kg/dm ³)	1,5	1,47

Areia A

$$V_s = \frac{V_h}{CI} \rightarrow V_s = \frac{60}{1,23} \quad (01)$$

$$V_s = 48,78 \text{ dm}^3 \quad (02)$$

$$m_s = \gamma_s \cdot V_s \rightarrow m_s = 1,5 \cdot 48,78 \quad (03)$$

$$m_s = 73,17 \text{ kg} \quad (04)$$

$$m_h = \frac{m_s}{Ch} \rightarrow m_h = \left(\frac{100 + 3}{100} \right) \cdot 73,17 \quad (05)$$

$$m_h = 75,37 \text{ kg} \quad (06)$$

Areia B

$$m_s = Ch \cdot m_h \rightarrow m_s = \left(\frac{100}{100 + 4} \right) \cdot 120 \quad (07)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$m_s = 115,38 \text{ kg} \quad (08)$$

Mistura A+B

$$m_s = 73,17 + 115,38 \quad (09)$$

$$m_s = 188,55 \text{ kg} \quad (10)$$

$$h(\%) = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (11)$$

$$h(\%) = \left(\frac{195,37 - 188,55}{188,55} \right) \cdot 100 \quad (12)$$

$$h = 3,6\% \quad (13)$$

**19.NBR 9775 - Determinação da Umidade Superficial do Agregado Miúdo
Pelo Método do Frasco de Chapman**

$$L = 200 + v + V \quad (01)$$

onde: L = leitura do frasco (cm³);
v = volume de água absorvido pela areia;
V = volume real de areia seca.

Lembrando fórmula da umidade:

$$h = \left(\frac{m_h - m_s}{m_s} \right) \cdot 100 \quad (02)$$

$$m_s \cdot h = (m_h - m_s) \cdot 100 \quad (03)$$

$$\frac{m_s \cdot h}{100} = m_h - m_s \quad (04)$$

$$\frac{m_s \cdot h}{100} + m_s = m_h \quad (05)$$

$$m_s \cdot \left(\frac{h + 100}{100} \right) = m_h \quad (06)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$m_s = m_h \cdot \left(\frac{100}{h + 100} \right) \quad (07)$$

Voltando na equação 01:

$$L - 200 = v + V \quad (08)$$

$$L - 200 = \frac{m_s \cdot h}{100} + \frac{m_s}{\gamma_s} \quad (09)$$

$$L - 200 = \left(\frac{h}{100} + \frac{1}{\gamma_s} \right) \cdot m_s \quad (10)$$

$$L - 200 = \left(\frac{h \cdot \gamma_s + 100}{100 \cdot \gamma_s} \right) \cdot m_s \quad (11)$$

$$L - 200 = \left(\frac{h \cdot \gamma_s + 100}{100 \cdot \gamma_s} \right) \cdot m_s \quad (12)$$

Substituindo a equação 07 na equação 12 obtém-se:

$$L - 200 = \left(\frac{h \cdot \gamma_s + 100}{100 \cdot \gamma_s} \right) \cdot \left(\frac{100}{h + 100} \right) \cdot m_h \quad (13)$$

onde: $m_h = 500 \text{ g}$;

$$L - 200 = \left(\frac{h \cdot \gamma_s + 100}{100 \cdot \gamma_s} \right) \cdot \left(\frac{100}{h + 100} \right) \cdot 500 \quad (14)$$

$$L - 200 = \left(\frac{h \cdot \gamma_s + 100}{\gamma_s} \right) \cdot \left(\frac{1}{h + 100} \right) \cdot 500 \quad (15)$$

$$\gamma_s \cdot (L - 200)(h + 100) = (h\gamma_s + 100) \cdot 500 \quad (16)$$

$$(\gamma_s L - 200\gamma_s)(h + 100) = (h\gamma_s + 100) \cdot 500 \quad (17)$$

$$\gamma_s L h + 100\gamma_s L - 200\gamma_s h - 200 \cdot 100\gamma_s = h\gamma_s \cdot 500 + 100 \cdot 500 \quad (18)$$

$$\gamma_s L h - 700\gamma_s h = 100 \cdot 500 + 200 \cdot 100\gamma_s - 100\gamma_s L \quad (19)$$



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

$$\gamma_s h(L - 700) = 100 \cdot (500 + 200\gamma_s - \gamma_s L) \quad (20)$$

$$h \cdot [\gamma_s(L - 700)] = 100 \cdot [500 + \gamma_s(200 - L)] \quad (21)$$

$$h \cdot [\gamma_s(L - 700)] = 100 \cdot [500 - \gamma_s(L - 200)] \quad (22)$$

$$h = \frac{[500 - \gamma_s(L - 200)]}{\gamma_s(L - 700)} \cdot 100 \quad (23)$$

onde: h = teor de umidade (%);
L = leitura do frasco (cm³);

20.NBR 9776 - Agregados - Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo por Meio do Frasco Chapman

$$h = \frac{[500 - \gamma_s(L - 200)]}{\gamma_s(L - 700)} \cdot 100 \quad (24)$$

para h=0

$$0 = \frac{[500 - \gamma_s(L - 200)]}{\gamma_s(L - 700)} \cdot 100 \quad (25)$$

$$0 = [500 - \gamma_s(L - 200)] \cdot 100 \quad (26)$$

$$0 = 500 - \gamma_s(L - 200) \quad (27)$$

$$\gamma_s = \frac{M_s}{L - L_0} = \frac{500}{L - 200} \quad (28)$$

Onde: γ_s = massa específica do agregado miúdo expressa em kg/dm³;
 M_s = massa do material seco (500 g);
 L_0 = leitura inicial do frasco (200 cm³);
L = leitura final do frasco.



21. Determinação da Massa Específica do Agregado Graúdo Pela Balança Hidrostática (NBR 9937)

Para quem colou na escola, um pouco de História!!

Arquimedes foi um filósofo, inventor e matemático grego que viveu por volta do ano 250 a.C. (287 a.C. – 212 a.C.), em uma cidade chamada Siracusa, na Grécia Antiga. Naquela época, o rei Hieron havia mandado fazer uma coroa de ouro, porém ele desconfiou que o ourives o tivesse enganado, misturando algum outro metal - menos nobre - com o ouro. O rei, então, ordenou a Arquimedes que solucionasse o problema, porém o rei não queria que a coroa fosse desmanchada. O prazo que o rei havia dado a Arquimedes estava se esgotando e, segundo a história, ele acabou encontrando a solução deste problema por acaso, durante o banho.

Naquela época, não se tinha água encanada em abundância - como atualmente, e os banhos eram mais raros, tomados em banheiras em casas de banho! Ao entrar na banheira, Arquimedes percebeu que o seu corpo deslocava certo volume de água, fazendo a água transbordar, e deduziu que o volume da água deslocada deveria ser igual ao volume do seu corpo. Assim, ele imaginou que o volume de água, deslocado pela coroa, se essa fosse feita de ouro puro, deveria ser diferente do volume deslocado pela mesma coroa feita com uma mistura de ouro e outro metal. Isso pode ser traduzido como: uma determinada massa de ouro terá volume menor do que a mesma massa de outro metal, como a prata. Arquimedes ficou tão empolgado com a descoberta que saiu da banheira correndo para casa, sem roupa, gritando: Eureka! Eureka!, que significa encontrei, em grego.

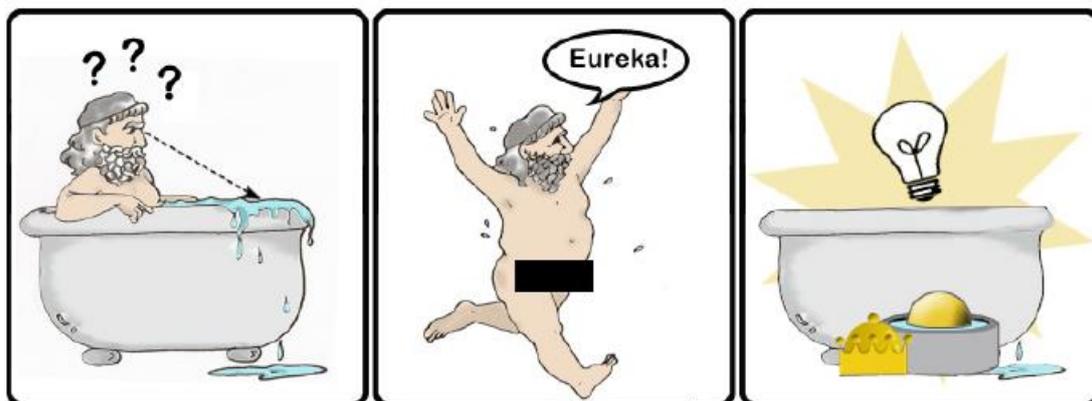


Fig. 5 - A história conta que Arquimedes empregou o conceito de densidade a partir da observação do volume de água que transbordava da banheira quando ele mergulhava. Da mesma maneira, concluiu que poderia usar a relação massa – volume para descobrir se o material da coroa era ouro puro.



Na verdade, Arquimedes descobriu - a partir das densidades da coroa e do ouro - que a coroa não era de ouro puro, mas sim misturada com prata ou outro metal. Arquimedes percebeu que massas iguais de diferentes metais deslocavam diferentes volumes de água. Para tanto, comparou a quantidade de água deslocada pela coroa com a quantidade de água deslocada pela mesma massa de ouro e de prata. A coroa deslocava maior quantidade de água do que a mesma massa em ouro, porém menor do que a mesma massa de prata. Isso mostra que a coroa não era feita somente de ouro. Ela tinha alguma quantidade de prata em sua composição. Essa descoberta confirmou a fraude!

Empuxo

Quando um objeto é mergulhado em água, ao ser submerso, desloca um volume de água igual ao seu próprio volume, já que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar. O objeto sofre uma força contrária, devido ao deslocamento da massa de água que tem o mesmo volume do objeto. A força atuante de baixo para cima é denominada empuxo e ela é uma resultante da pressão hidrostática exercida pelo líquido, como mostra a Figura 12. Entende-se por pressão hidrostática - a força exercida pela água sobre a superfície de um objeto mergulhado. Essa pressão aumenta com a profundidade, portanto, a resultante é uma força de baixo para cima. É a mesma força sentida ao se tentar mergulhar a bola de borracha na água.



Fig. 6 - O empuxo é a força resultante da pressão exercida por um líquido sobre toda a superfície de um objeto mergulhado.

O efeito do empuxo também faz com que o objeto mergulhado na água pareça pesar menos do que fora dela. Esse “menor peso” é chamado de peso aparente, definido como o peso do objeto menos o empuxo, ou seja, menos o peso do mesmo volume em água. Considerando que o empuxo é a resultante das pressões



exercidas pelo líquido e que a pressão aumenta com a profundidade, a resultante será uma força de baixo para cima, devido ao deslocamento da massa de água de volume ser igual ao do objeto mergulhado. O empuxo também ocorre na atmosfera, porém numa extensão bem menor do que na água ou em outro líquido, já que a pressão exercida pelo ar é bem menor do que a pressão da água. Assim, o peso do objeto mergulhado pode ser calculado multiplicando a massa pela gravidade, menos o empuxo, como pode ser verificado na Figura 13. Por isso, um objeto mergulhado em um líquido apresenta um peso aparentemente menor do que se ele tivesse “mergulhado” no ar.

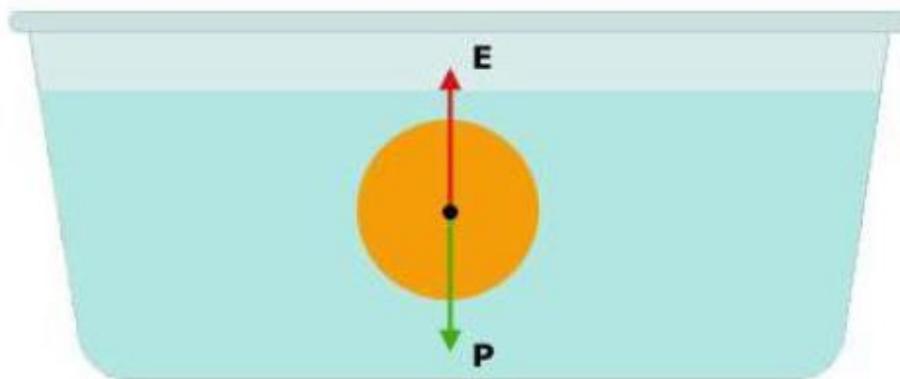


Fig. 7 - O peso de um objeto mergulhado em um líquido é chamado de peso aparente, pois é o peso do objeto menos o empuxo exercido pelo líquido.

A Figura 8 mostra um experimento que comprova o empuxo. Observe a marcação na escala da balança. No caso de uma coroa feita de ouro, os pesos serão: fora da água = 1000 g; e mergulhada = 948,2 g.

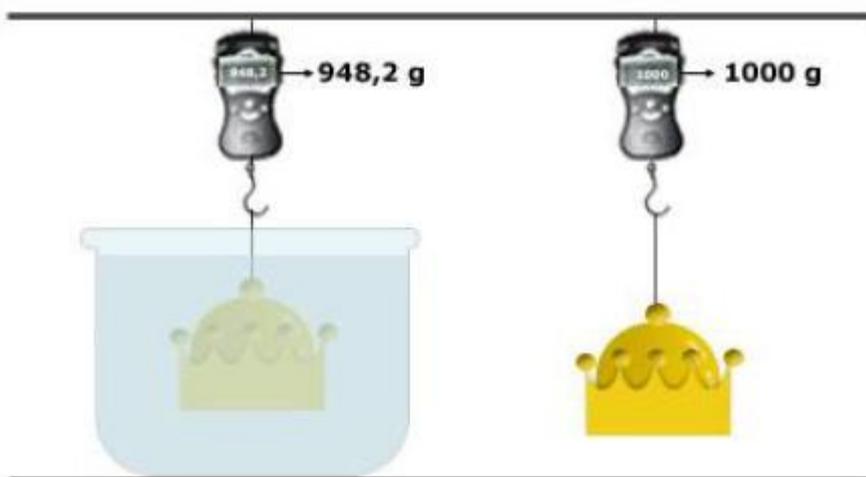


Fig. 8 - O peso aparente de um objeto mergulhado em um líquido é menor do que o peso do mesmo na atmosfera.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Demonstração massa específica aparente:

$$P = m_{\text{objeto}} \cdot g \quad (01)$$

$$E = m_{\text{água}} \cdot g \quad (02)$$

$$P = m_{\text{objeto}} \cdot g = d_{\text{objeto}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g \quad (03)$$

$$E = m_{\text{água}} \cdot g = d_{\text{água}} \cdot V_{\text{deslocado}} \cdot g \quad (04)$$

$$\frac{P_{\text{objeto}}}{d_{\text{objeto}}} = \frac{E}{d_{\text{água}}} \quad (05)$$

Sabe-se que:

$$E = P_{\text{objeto}} - P_{\text{aparente}} \quad (06)$$

$$\frac{P_{\text{objeto}}}{d_{\text{objeto}}} = \frac{(P_{\text{objeto}} - P_{\text{aparente}})}{d_{\text{água}}} \quad (07)$$

$$d_{\text{objeto}} = \frac{P_{\text{objeto}}}{(P_{\text{objeto}} - P_{\text{aparente}})} \quad (08)$$

$$d_{\text{objeto}} = \frac{m_{\text{objeto}} \cdot g}{(m_{\text{objeto}} \cdot g - m_{\text{aparente}} \cdot g)} \quad (09)$$

$$d_{\text{objeto}} = \frac{m_{\text{objeto}}}{(m_{\text{objeto}} - m_{\text{aparente}})} \quad (10)$$



22. Aglomerantes hidráulicos

- Endurecem com água / resistentes a água
- Cimento Portland e suas diversas modificações

Importância:

- Resistência do concreto: relacionada com as reações químicas do cimento com a água (hidratação \Rightarrow trocas de matéria e energia)
- Química das reações \Rightarrow relação com aspectos físicos da pega e endurecimento do cimento Portland.

23. Cimento Portland

23.1. Processo de fabricação e composição química

Os materiais normalmente utilizados para a fabricação de clínquer são:

Calcários \Rightarrow $\text{CaO} + \text{CO}_2$

Argilas \Rightarrow $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Calcário + Argila \rightarrow (1450 °C) \rightarrow Clínquer

Clínquer: nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro de um material sintetizado, produzido quando uma mistura de matérias-primas de composição pré-determinada é aquecida a altas temperaturas.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

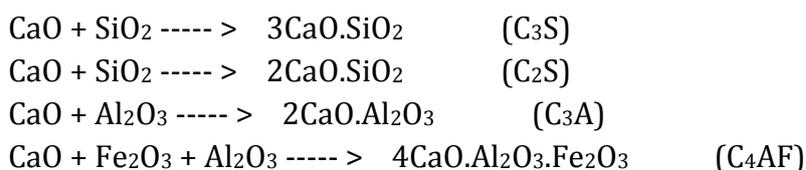
Tabela 3 – Sequência de reações em um forno:

Temperatura (°C)	Processo	Reações
20 - 100 100 - 300 400 - 900	Secagem	- Evaporação de água livre; - Perda de água de cristalização (fisicamente adsorvida); - Perda de água estrutural (quimicamente ligada) grupos H ₂ O e OH dos minerais de argila;
600 - 900 800	Calcinação	- Liberação de CO ₂ - CaCO ₃ → CaO + CO ₂ - Primeira reação dos componentes. Formação de belita, aluminatos, ferritas, e fases metaestáveis
1250 aprox. 1450	Sinterização Clinquerização	- Formação de uma fase líquida rica em Al ₂ O ₃ e Fe ₂ O ₃ - C ₃ A e C ₄ AF; - Formação de alita a partir de belita e do CaO não combinado (cal livre)
1300 - 1240	Resfriamento	-Cristalização da fase líquida em aluminatos e ferrita.

Tabela 4 – Abreviações

CaO	C
SiO ₂	S
Fe ₂ O ₃	F
H ₂ O	H
Al ₂ O ₃	A
SO ₃	S̄
MgO	M

Pode-se representar as reações que ocorrem, da seguinte forma:





Equações de BOGUE

$$\%C_3S = 4,071C - 7,600S - 6,718A - 1,430F - 2,850S$$

$$\%C_2S = 2,867S - 0,7544C_3S$$

$$\%C_3A = 2,650A - 1,692F$$

$$\%C_4AF = 3,043F$$

$$\text{Para } Al_2O_3 / Fe_2O_3 \geq 0,64$$

23.2. Estrutura cristalina e reatividade dos compostos

Reatividade: composição química; tamanho das partículas; temperatura de hidratação; estrutura cristalina.

Silicatos de Cálcio

- C_3S (alita)
- βC_2S (belita)

Aluminato e Ferroaluminato de Cálcio

- C_3A (principal aluminato do clínquer - celita)
- C_4AF (composto mais comum que contém ferro brownmilherita)
- Ambos com significativa quantidade de impurezas: Mg, Na, K, Si.
- Estruturas cristalinas complexas, mas caracterizadas por grandes vazios estruturais.

Óxido de Magnésio e Óxido de Cálcio

- MgO em solução sólida
- MgO cristalino (periclásio)
- $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$ fissuras e expansão
- CaO livre problemas com moagem e homogeneização; dosagem; temperatura (hidrata como o MgO)
- MgO e CaO estrutura cúbica
- MgO é menos reativo com a água que o CaO

Compostos Alcalinos e Sulfatos

- Na e K provenientes da argila ou carvão



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- SO_3 presente usualmente do combustível
- Langbeinita $2CS.NS$ e a aphythitalita $3NS.KS$
- $SO_3 \downarrow T_{\text{calcinação}}$ ou C_3A para C_4A_3S (cimento expansivo ou de endurecimento rápido)
- $CaSO_4$ gipsita / gesso \Rightarrow retardar a pega instantânea devido ao C_3A

Finura

- Quanto mais fino maior é a superfície específica e maior a reatividade
- É a superfície específica que determina o ritmo de pega e endurecimento do cimento
- Cimentos com igual superfície específica podem ter diferentes distribuições dos tamanhos das partículas e características diferentes
- Superfície específica: permeabilímetro de Blaine:

$$2500 \text{ cm}^2/\text{g} \Rightarrow (\text{tipo I ASTM})$$
$$5000 \text{ cm}^2/\text{g} \Rightarrow (\text{tipo III ASTM})$$

- Distribuição do tamanho das partículas: resíduos em peneiras de diferentes aberturas $< 45 \mu\text{m}$ são difíceis de hidratar e $< 75 \mu\text{m}$ não se hidratam
- Considerar: custo da moagem e calor liberado na hidratação

24. Hidratação do cimento Portland

- Principalmente hidrólise dos silicatos
- Considerar: mudanças de substâncias trocas de energia e velocidade de reação.

24.1. Mecanismo e cinética de hidratação

- Dissolução-precipitação (Le Chatelier)
- Topoquímico ou hidratação no estado sólido (Michaelis) (primeiramente um e após, o outro)
- Água e cimento reagem rapidamente e se forma solução supersaturada (principalmente $Ca(OH)_2$)
- A formação de sulfoaluminato microcristalino ao redor das partículas de aluminato diminui a velocidade da reação.

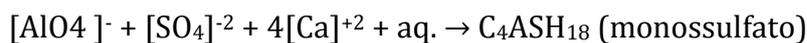
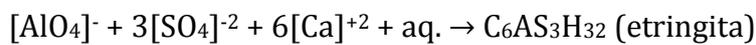


**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Período seguinte de “descanso” com pouca reação
- Em seguida a reação acelera e forma-se o gel de hidrato de silicato e a pasta de cimento começa a endurecer

24.2. Hidratação dos aluminatos

- C₃A reage imediatamente com água: C₃AH₆, C₄AH₉ e C₂AH₈
- Grande quantidade de calor liberada
- Reação desacelerada pela ação da gipsita
- Dependendo da concentração de C₃A: alto-sulfato ou baixo-sulfato
- Reações químicas relevantes (c/gesso):



Influência da relação aluminato/sulfato da fase aquosa nas características de pega de pastas de cimento Portland:

Concentrações baixas dos íons aluminatos e sulfatos na fase aquosa:

- Trabalhável por 45 min
- Menos trabalhável entre 1 e 2 horas
- Endurecimento entre 2 e 3 horas
- Cimentos Portland de pega normal

Concentração dos íons aluminatos e sulfatos disponíveis são altas:

- Perda de consistência dentro de 10 - 45 min
- Enrijecimento da pasta entre 1 e 2 horas
- Cimentos com alto teor de C₃A e hemidrato

Quantidade de C₃A alta e de sulfato menor que a necessária para retardamento:

- Grandes quantidades de C₄AH₉ e C₄ASH₁₂
- Pega da pasta em menos de 45 min → pega rápida

Pouco ou nenhuma gipsita a um clínquer de cimento Portland:

- Grandes quantidades de C₄AH₉ e C₄ASH₁₂



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Pega instantânea com grande evolução de calor inicial
- Resistências baixas em longo prazo

Reatividade baixa do C₃A e alta disponibilidade de íons sulfato na solução:

- Cimentos parcialmente hidratados ou carbonatados que foram armazenados inadequadamente
- Cristalização da gipsita
- Falsa pega

OBS.: Influência do gesso no cimento

- Verificar teor ótimo de gipsita no cimento
- Há pelo menos cinco modificações básicas no sistema CaSO₄ – H₂O, que afetam a pega do cimento, com as seguintes características:

24.3. Hidratação dos silicatos

Hidratação do C₃S e C₂S: hidratos de silicato de cálcio em forma de gel microcristalino e hidróxido de cálcio cristalino

- Gel de tobermorita ou fase C-S-H
- Hidratação completa: C₃S₂H₃
- Reações:



- Cimento Portland hidratado completamente: 60 % de fase C-S-H e 30% de CH
- A relação molar de C/S na fase CSH varia entre 1,0 e 2,0 e depende:
 - [1]. Da relação água cimento
 - [2]. Da temperatura de hidratação
 - [3]. Da idade da pasta de cimento
 - [4]. Da característica do silicato anidro
- Maior velocidade de hidratação do C₃S
- Hidratação de C₃S e C₂S aceleradas por íons sulfato



24.4. Calor de hidratação

- As reações de hidratação do cimento portland são um processo exotérmico
- A quantidade de calor liberada chama-se calor de hidratação → H
- Aumento de H: ↑ quantidade de C₃S e C₃A e cimento mais fino
- Diminuição de H: adição de escórias, pozolanas e cinzas, as quais aumentam o tempo de pega do cimento e fixam a cal livre existente adição de um retardador de endurecimento.
- 50% do calor potencial liberado é liberado nos 3 primeiros dias, e 90% nos 3 primeiros meses de hidratação
- Cimentos Portland de baixo calor de hidratação: tipo “II” e tipo “IV” ASTM ⇒ 60-70 cal/g após 28 dias
- Cimentos Portland de pega rápida tipo “III” ASTM com maior calor de hidratação ⇒ 120 cal/g após 28 dias, e tipo “I” ASTM ⇒ 90 a 100 cal/g após 28 dias
- O importante não é tanto o valor do calor de hidratação total, mas sim a evolução deste calor.
- Na prática é comum especificar o calor de hidratação depois de 7 e 28 dias, o qual indica de maneira razoável tanto o calor de hidratação total como a velocidade com que o calor é liberado.

Tabela 5 - Calor de hidratação J/g (21°C)

	3 dias	28 dias	3 anos
C ₃ S	245	380	490
C ₂ S	50	105	225
C ₃ A	890	1380	1380
C ₄ AF	290	495	495

Tabela 6 - Calor de hidratação desenvolvido após 3 dias a varias temp. (J/g)

Tipo de cimento	5 °C	23 °C	32 °C	40 °C
I	155	286	311	336
II	222	345	358	391
III	108	195	195	215



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 7 – Cálculo do calor de hidratação para um concreto com consumo de:

Material	Massa em kg/m ³	Calor específico
cimento	350	0,2
agregado	1750	0,2
areia	200	0,8

Sabe-se que: calor de hidratação do cimento = 100 cal/g

$$Q = M \cdot C \cdot t \quad (05)$$

Calculo da capacidade calorífica (C = m.c) da pasta:

$$350 \cdot 0,2 + 1750 \cdot 0,2 + 200 \cdot 0,8 = 580 \text{ Kcal/}^\circ\text{C}$$

mas como só o cimento reage (hidrata) e sabendo-se que este calor de hidratação é 100 cal/g, por m³ de concreto tem-se que o calor despreendido:

$$350 \cdot 100 = 35000 \text{ Kcal}$$

Logo, a elevação de temperatura será igual a:

$$\frac{35000 \text{ kcal}}{580 \text{ kcal/}^\circ\text{C}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Uma vez que o calor de hidratação do cimento é uma propriedade aditiva pode-se predizê-lo por:

$$H = aA + bB + cC + dD \text{ (Verbeck e Foster)}$$

24.5. Tipos de cimentos Portland

Existem no Brasil vários tipos de cimento Portland, diferentes entre si, principalmente em função de sua composição. Os mais empregados nas diversas obras são:

- Cimento Portland comum



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Cimento Portland composto
- Cimento Portland de alto forno
- Cimento Portland pozolânico

Em menor escala são consumidos, ou seja, pela menor oferta, seja pelas características especiais de aplicação:

- Cimento Portland de alta resistência inicial
- Cimento Portland resistente aos sulfatos
- Cimento Portland branco
- Cimento Portland de baixo calor de hidratação
- Cimento para poços petrolíferos
- Cimento aluminoso

25. Deterioração do concreto - Causas físicas

- Por desgaste superficial: abrasão; erosão; cavitação.
- Por fissuração: mudanças de volume devido a gradientes normais de temperatura e umidade; pressões de cristalização de sais nos poros; carga estrutural: sobrecarga e impacto; carga cíclica; exposição a extremos de temperatura: ação do gelo-degelo e fogo.

26. Deterioração do concreto - Causas químicas

Causas externas: químicas; físico-químicas; mecânicas; ação eletrolítica; temperaturas extremas ou erosão.

Causas internas: reações com os agregados; variações do volume; permeabilidade do concreto; material contaminado.

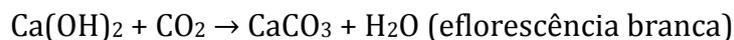
- a distinção entre causas físicas e químicas da deterioração é puramente arbitrária, na prática as duas frequentemente se sobrepõem.
- a deterioração do concreto pode ter origem em fatores internos ao próprio concreto e fatores ambientais ao qual a estrutura está exposta.
- concreto durável: isento de fissuração e elevada compacidade.



26.1. Corrosão da pasta por reações químicas

Hidrólise dos componentes da pasta de cimento

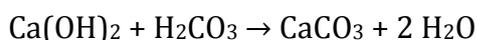
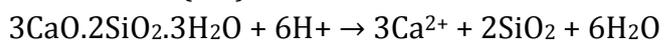
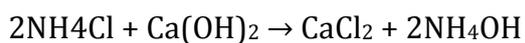
Águas subterrâneas de lagos e rios contêm cloretos, sulfatos e bicarbonatos de Ca e Mg – água dura – que geralmente não ataca o concreto de cimento Portland. No entanto, água pura da condensação de neblina, ou vapor de água mole da chuva ou da fusão da neve e gelo, pode conter poucos ou nenhuns íons Ca^{++} , dissolvendo a portlandita e liberando os íons Ca^{++} que são transportados através do concreto possibilitando a reação:



Reações por troca de cátions

Formação de sais solúveis de cálcio

Soluções ácidas contendo ânions que formam sais solúveis de cálcio são encontradas frequentemente na prática industrial. Por exemplo, ácido hidrocloreto, sulfúrico, ou nítrico podem estar presentes em efluentes da indústria química. Ácidos acético, fórmico, láctico, butírico, cítrico, oleico, esteárico, etc. são responsáveis por problemas de corrosão em pisos de fábricas de laticínios (ácido láctico), fábricas de vinagre (ácido acético), fábricas de sabão (ácidos graxos como o oleico), indústrias de extração de sucos cítricos (ácido cítrico), etc. Exemplos:



CO_2 em excesso:

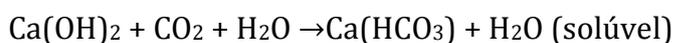


Tabela 8 – Solubilidade

Composto	Solubilidade
Ca(OH)_2	1,18 g/L
CaCO_3	13 mg/L
$\text{Ca(HCO}_3)_2$	1890 mg/L



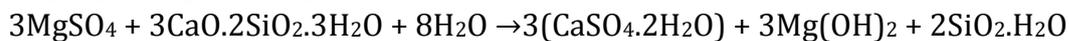
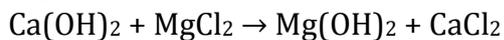
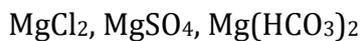
**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Formação de sais insolúveis e não expansivos

Ca(OH)₂ + ácido tartárico; ácido oxálico; ácido tânico; ácido hidrofúrico ou fosfórico por exemplo, produzirão sais que pertencem a categoria de sais de cálcio não solúveis e não expansivos. Mas, quando o concreto está exposto a restos de animais em decomposição ou matéria vegetal, é a presença do ácido húmico que causa a deterioração química.

Ataque químico por soluções contendo sais de Mg

As soluções de magnésio reagem prontamente com o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland para formar sais solúveis de cálcio. A solução de sulfato de magnésio é a mais agressiva, pois o íon sulfato tem grande afinidade com os aluminatos do cimento hidratado. Ainda, o magnésio pode substituir o cálcio do hidrato de silicato de cálcio, que é o principal constituinte cimentício. Portanto, o contato prolongado com soluções de magnésio faz com que o C-S-H perca gradualmente os íons cálcio que serão substituídos por magnésio, acarretando na perda das características cimentícias. Águas subterrâneas, água do mar e alguns efluentes industriais:



Consequências: perdas das propriedades cimentícias

Reações envolvendo formação de produtos expansivos

Ataque por sulfato: SO₄²⁻

Ca(OH)₂ e as fases portadoras de alumina do cimento Portland, são as mais vulneráveis.



Ocorre considerável expansão → aumento de volume → pressão interna → fissura → desagregação da massa. Assim, deteriorado o concreto, ficam expostas as armaduras à ação corrosiva do meio ambiente.



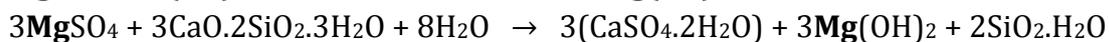
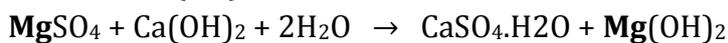
**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Concreto em áreas poluídas

Oxidação do S a H_2SO_4 por ação de bactérias como *Thiobacillus thiooxidans* ocasionando diminuição de pH e formação de etringita. Os compostos de enxofre podem se originar, comumente, de efluentes industriais (refinarias de petróleo, curtumes); efluentes de origem doméstica (urina, material fecal), abastecimento de água (SO_4^{2-} proveniente da clarificação de água).

A formação de gás sulfídrico, H_2S , ocorre principalmente nas camadas de limo aderidas às paredes submersas do duto de esgoto e quando se desprende para atmosfera livre sofre oxidação a H_2SO_4 , ocorrendo então à corrosão do concreto.

Dependendo do tipo de cátion presente na solução de sulfato (exemplo: Na^+ ou Mg^{+2}), tanto o hidróxido de cálcio como o silicato de cálcio hidratado da pasta de cimento podem ser convertidos em gipsita pelo ataque do sulfato:



Os fatores que influenciam o ataque por sulfato são:

- Quantidade e natureza do sulfato presente;
- O nível da água e sua variação sazonal;
- O fluxo da água subterrânea e porosidade do solo;
- A forma da construção e
- A qualidade do concreto.

As concentrações limites de sulfatos solúveis para concreto são as seguintes:

- Maior que 0,1% no solo (150 mg/l na água): põe em risco a durabilidade do concreto;
- Maior que 0,5% no solo (2000 mg/l na água): traz sérios efeitos no concreto.

Reação álcali-agregado

O agregado constituído de sílica, SiO_2 reativa, amorfa (como por exemplo: opala, calcedônia e dolomita contendo sílica), em contato com meio muito alcalino (0,6% em álcalis totais, como Na_2O), pode reagir. Forma-se então um gel de sílica, com



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

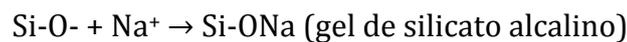
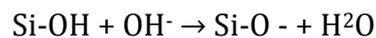
consequente deterioração do concreto que pode se dar, normalmente, sob as formas de expansão, fissuração e exsudação do gel, através de poros e fissuras, e endurecimento sob a forma perolada na superfície do concreto.

Tipos de reação álcali-agregado: Reação do tipo álcali-sílica; reação do tipo álcalisilicato; reação álcali – carbonato.

Reação do tipo álcali-sílica

Poros capilares: Na^+ ; K^+ ; Ca^+ (pH > 12,5)
 OH^- ; Al^{3+} ; Fe^{2+} ; SO_4^{2-}

- Ataque aos enlaces siloxantes das estruturas de sílica amorfa:



- Devem ocorrer simultaneamente:
 - Presença de agregados reativos
 - Concentração suficiente de íons alcalinos na solução dos poros
 - Umidade permanente ou periódica na rede de poros capilares

Reação do tipo álcali-silicato

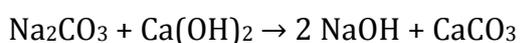
Semelhante à reação álcali-sílica, porém mais lenta (ocorrência em 25 a 30 anos de idade da estrutura na média).

Reação álcali – carbonato

- Reação de desdolomitização (não há formação de gel expansivo)

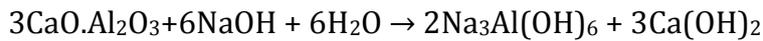


Regeneração do Hidróxido Alcalino (ocorre expansão porque o $\text{Mg}(\text{OH})_2$ e o CaCO_3 ocupam maior volume do que aquele ocupado pela dolomita)



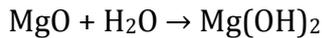


**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**



Hidratação do MgO e CaO

A hidratação de MgO e CaO cristalinos, quando presentes em quantidades substanciais no cimento, podem causar expansão e fissuração no concreto:



Corrosão da armadura

A corrosão de armaduras nas estruturas de concreto é decorrente de processos eletroquímicos, característicos de corrosão em meio úmido, intensificando-se com a presença de elementos agressivos e com o aumento da heterogeneidade da estrutura, tais como: **aeração diferencial da peça, variações na espessura do cobrimento de concreto e heterogeneidade do aço ou mesmo das tensões a que está submetido.**

Mecanismo da corrosão em armaduras

A corrosão acontece quando é formada uma película de eletrólito sobre a superfície dos fios ou barras de aço. Esta película é causada pela presença de umidade no concreto, salvo situações especiais e muito raras, tais como dentro de estufas ou sob ação de elevadas temperaturas ($> 80\text{ }^\circ\text{C}$) e em ambientes de baixa umidade relativa (U.R. < 50). Este tipo de corrosão é também responsável pelo ataque que sofrem as armaduras antes de seu emprego, quando ainda armazenadas no canteiro.

O modelo simplificado do fenômeno de corrosão eletroquímica que segue é suficiente para explicar a maioria dos problemas envolvidos e fornece ferramentas básicas para sua prevenção.

Corrosão em meio aquoso (U.R. $> 60\%$):

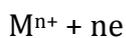
As reações de corrosão independentemente de sua natureza produzem óxidos e hidróxidos de ferro (ferrugem) avermelhados, porosos e pulverulentos, podendo causar um aumento de volume de até 600% do metal original. Essa expansão é a principal causa de fissuração e lascamento do concreto. Isto só ocorre nas seguintes condições:



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Presença de eletrólito (sempre há água no concreto + portlandita dissociada nos poros)
- Presença de oxigênio
- Diferença de potencial
- Pode haver agentes agressivos

Obs: situação de equilíbrio entre o metal e os íons deste metal que estão em solução:



27.Extração e preparação de amostras de cimentos - NBR 5741

27.1. Amostragem e recepção

A extração de amostras de cimento que se realiza em uma única operação se denomina “amostra de uma só tomada”. Uma amostra obtida por intermédio de um dispositivo automático, que a extrai de uma corrente de cimento em forma contínua, se denomina “amostra contínua”. Enquanto a “amostra de uma só tomada” representa uma corrente de cimento em um período curto de tempo, uma “amostra contínua” pode representar uma corrente de cimento em períodos de tempo curtos ou longos, conforme o desejo a entidade encarregada de extrair as amostras.

As amostras destinadas a ensaios físicos ou químicos denominam-se “amostras de ensaio”. As amostras de ensaio podem ser de uma só tomada ou compostas segundo se especificarem e, salvo indicação contrária do comprador, representam, no máximo, 400 t. As amostras de ensaio devem pesar, pelo menos, 5 kg. Imediatamente depois de extraídas as amostras, estas devem ser colocadas em recipientes herméticos e impermeáveis que devem ser numerados consecutivamente na ordem em que se realiza a extração.

27.2. Extração de amostras

- Do transportador que alimenta o armazém de material a granel: deve-se extrair uma amostra de ensaio de 2,5 kg ou mais, para cada 200 t que passem pelo transportador. A extração de amostras deve ser feita imediatamente, seja pelo método de uma só tomada ou pelo método contínuo. Quando se extrai uma amostra composta de ensaio, esta deve ser



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

formada pela mistura em massas iguais do cimento extraído a intervalos regulares, representando cada uma das amostras parciais não mais de 40 t.

- Do depósito de material a granel, em seus pontos de descarga: deve-se deixar sair o cimento pelas bocas de descarga em fluxo contínuo. A extração deve ser feita enquanto o cimento flui pelas bocas de descarga a intervalos tais que se logre uma amostra de 2,5 kg para cada 100 t no máximo.
- Dos embarques a granel por intermédio do saca-amostras ranhurado: as amostras podem ser extraídas por um tubo saca-amostras ranhurado (tubo amostrador) semelhante ao ilustrado na Figura 1. Deve ter um comprimento compreendido entre 1500 mm e 1800 mm, um diâmetro externo de 35 mm e deve ser constituído por dois tubos telescópicos de bronze polido, com ranhuras de registro que se abrem ou fecham, girando o tubo interior em relação ao exterior. O tubo exterior termina numa ponta fina para facilitar a sua penetração. A fim de que as amostras sejam representativas do cimento em consideração, estas devem ser obtidas imediatamente do tubo saca-amostras ranhurado, escolhendo-se de antemão pontos bem distribuídos tanto na superfície como na profundidade.
- Do uso do tubo amostrador: o tubo amostrador, que se ilustra na Figura 2, deve ser introduzido diagonalmente pela válvula do saco. Em seguida, o tubo amostrador é girado. Para cada 5000 kg (100 sacos de 50 kg) ou fração, se extrai uma amostra de um saco qualquer.
- De cimento em outras condições de entrega: em todos os outros casos devem ser extraídas, no lote, amostras de cada 2500 kg ou fração. Nos casos em que o cimento deva ser transportado em caminhões, desde as fábricas, devem ser retiradas amostras de cada caminhão, podendo-se combinar essas amostras para formar uma amostra de ensaio que não represente mais de 100 t. Em caso de embarque a granel, devem ser tomadas precauções para que os pontos de extração de amostras estejam bem distribuídos, a fim de que a amostra seja representativa do cimento em questão.

Todas as amostras devem ser identificadas pelos seguintes dados:

a) tipo de cimento e sua marca comercial;



- b) locais de procedência e de retirada da amostra;
- c) número de ordem da retirada da amostra;
- d) massa do lote representado pela amostra;
- e) nomes e endereços das partes interessadas;
- f) observações que se considerem necessárias;
- g) assinaturas das partes interessadas, e data de retirada das amostras.

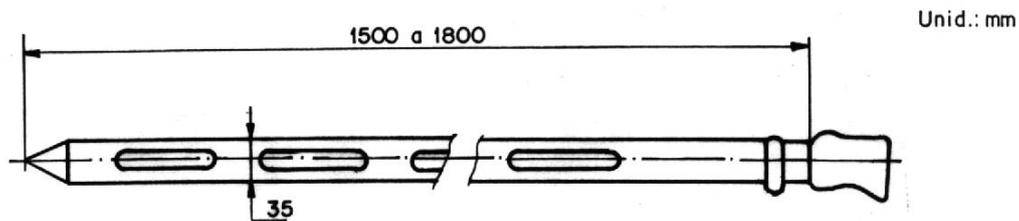


Fig. 1 - Tubo saca-amostras para cimento a granel

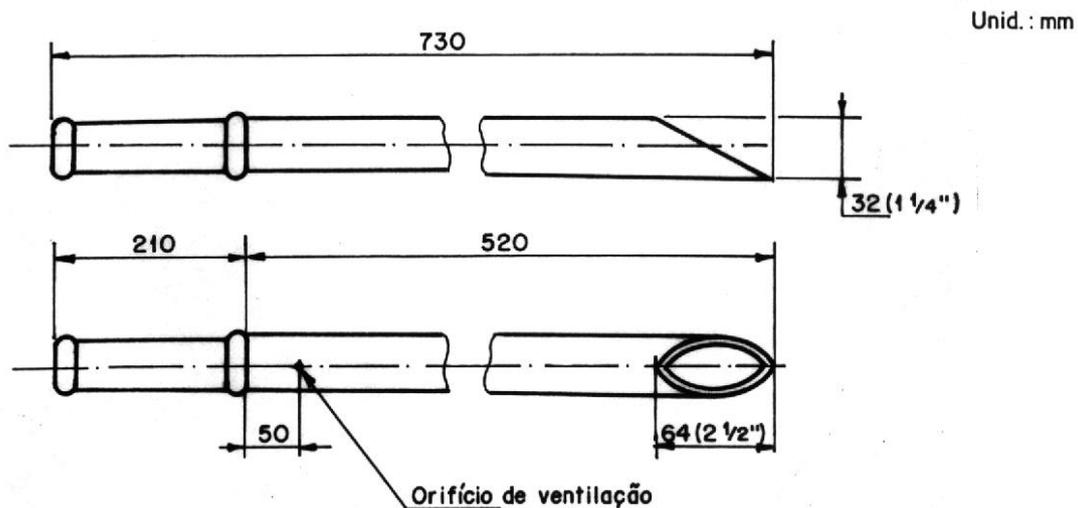


Fig. 2 - Tubo amostrador para cimento em sacos

28. Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine) - NBR NM 76

28.1. Definições

Finura do cimento: é determinada como superfície específica, observando-se o tempo requerido para uma determinada quantidade de ar fluir através de uma camada de cimento compactada, de dimensões e porosidade especificadas.



28.2. Aparelhagem e materiais:

- Aparelho de permeabilidade Blaine;
- Balança analítica com capacidade de 160g e resolução de 0,0001g;
- Cronômetro com dispositivo de acionamento de início, com leitura de 0,2s ou melhor, e precisão de 1% ou mais para intervalos de tempo de até 300s;
- Graxa leve para permitir uma junta estanque entre a célula e manômetro e no registro;
- Funil metálico ou de plástico;
- Pincel;
- Papel de filtro de porosidade média.



Fig. 3 – Aparelho Blaine de permeabilidade ao Ar



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

28.3. Execução do Ensaio

- Preparo da célula de permeabilidade;
- Colocar o disco metálico perfurado no fundo de célula;
- Colocar sobre o disco metálico perfurado um disco de papel de filtro novo;
- Apoiar a célula de permeabilidade no suporte de madeira;
- Pressionar o papel filtro novo, com auxílio de uma haste metálica seca e limpa, sobre o disco perfurado observando-se o disco para não haver perda de material a ser ensaiado;
- Pesar o material a ser ensaiado (M_1);

$$M_1 = 0,5 \cdot \gamma \cdot V \quad (01)$$

Onde: γ = massa específica do cimento (g/cm^3)
 V = volume da camada (cm^3)

- Colocar a amostra de cimento Portland sobre a célula de permeabilidade, tomando o cuidado para não haver perda de material;
- Dar pancadas leves, com auxílio do pincel, para nivelar a superfície do cimento;
- Colocar outro disco de papel filtro sobre o material a ser ensaiado;
- Pressionar o êmbolo suave mas firmemente até que a face inferior da cápsula esteja em contato com a célula;
- Retirar, vagorosamente, o êmbolo cerca de 5mm;
- Girar o êmbolo aproximadamente 90°;
- Pressionar firmemente a camada de cimento, mais uma vez, até que o capuz esteja em contato com a célula;
- Retirar o êmbolo vagorosamente, com pequenos giros, para não criar vácuo

28.4. Procedimento

- Passar uma camada fina de graxa na parte externa da célula cônica, para garantir a estanqueidade;
- Inserir a célula cônica no topo do manômetro;
- Abrir o registro;
- Levantar o nível do líquido manométrico, por meio de assopro, até a marca superior;
- Fechar o registro;
- Acionar o cronômetro no momento em que o líquido manométrico atingir a segunda marca abaixo da marca superior;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Travar o cronômetro no momento em que o líquido manométrico atingir a terceira marca abaixo da marca superior;
- Fazer a leitura do tempo de descida;
- Registrar o tempo de descida (t), em segundos;
- Registrar a temperatura do ar, na sala, em graus °C.

28.5. Resultados

A superfície específica, S, em cm²/g, do cimento ensaiado, é calculado pela fórmula:

$$S = \frac{\gamma_0}{\gamma} \cdot \left(\frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{\varepsilon_0^3} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{0,1 \cdot \eta_0}}{\sqrt{0,1 \cdot \eta}} \right) \cdot \left(\frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_0}} \right) \quad (02)$$

$$S = K \cdot \frac{\sqrt{\varepsilon^3} \cdot \sqrt{t}}{\gamma \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \sqrt{0,1 \cdot \eta}} \quad (\text{cm}^2/\text{g}) \quad (03)$$

Onde: S = superfície específica da amostra de referência (cm²/g);
 ε = porosidade da camada de ensaio;
 t = porosidade da camada da amostra de referência;
 t = média dos 3 tempos determinados na amostra de ref. (s);
 γ = massa específica do cimento de ensaio (g/cm³);
 η = viscosidade do ar na temperatura do ensaio (Pa/s);

Tabela 9 – Massa específica do mercúrio e viscosidade do ar em função da temp.

Temperatura (°C)	Massa específica do mercúrio (g/cm ³)	Viscosidade do ar(η) (Pa.s)	$\sqrt{0,1 \cdot \eta}$
16,0	13,56	0,00001800	0,001342
17,0	13,56	0,00001805	0,001344
18,0	13,55	0,00001810	0,001345
19,0	13,55	0,00001815	0,001347
20,0	13,54	0,00001819	0,001349
21,0	13,54	0,00001824	0,001351
22,0	13,54	0,00001829	0,001353
23,0	13,54	0,00001834	0,001354
24,0	13,54	0,00001839	0,001356



29. Determinação da finura por meio da peneira 75µm (nº 200) – NBR 11579

29.1. Definições

Índice de finura na peneira no 200: é a porcentagem, em massa, de cimento cujas dimensões de grãos são superiores a 0,075mm.

29.2. Aparelhagem

- Balança com resolução mínima de 0,01g;
- Conjunto de peneiras, com peneira 0,075mm (nº200), tampa e fundo;
- Pincéis, para remoção de partículas aderidas à peneira.

29.3. Execução do Ensaio

- Pesar $50 \pm 0,05$ g (M) de cimento;
- Colocar a amostra sobre a tela da peneira;
- Segurar o conjunto com as duas mãos;
- Imprimir movimentos suaves de vai e vem horizontal com os pulsos, de maneira que o material se espalhe sobre a superfície da tela;
- Peneirar até que os grãos mais finos passem quase que totalmente pelas malhas da tela (por um período de aproximadamente 8 minutos);
- Tampar a peneira;
- Retirar o fundo;
- Dar golpes suaves no rebordo exterior do caixilho para desprender as partículas aderidas à tela e ao caixilho da peneira;
- Limpar, com o auxílio do pincel, toda a superfície inferior da tela da peneira;
- Colocar o fundo no conjunto;
- Continuar os movimentos de vai e vem até passar toda a parte fina para o fundo;
- Passar o resíduo retido na peneira para o prato da balança;
- Registrar a massa obtida (R).

29.4. Resultados

Calcular o índice de finura do cimento pela expressão:

$$F = \frac{R \cdot C}{M} \cdot 100 \quad (04)$$

Onde: M = peso inicial do cimento (g);



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- R = resíduo do cimento na peneira 75 μ m (g);
C = fator de correção, compreendido no intervalo de 1,0 e 0,2.
F = índice de finura do cimento (%).

Tabela 10 – Determinação da finura por meio da peneira 75 μ m (nº 200)

Determinação		1 ^a	2 ^a	3 ^a
M	Peso inicial do cimento (g)			
R	Resíduo do cimento na peneira 75 μ m (g)			
F	Índice de finura do cimento (%)			
F (valor médio - %)				

30. Determinação da pasta de consistência normal - NBR NM 43

30.1. Definições

Índice de consistência normal: é o teor de água necessário para dar a consistência normal à pasta de cimento.

30.2. Aparelhagem

- Balança com resolução de 0,1g e capacidade mínima de 1000,0g;
- Misturador mecânico (argamassadeira) composto de uma cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5 litros e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma e, em movimento planetário, em torno do eixo da cuba, movimentos estes em sentidos opostos;
- Espátula metálica;
- Molde tronco-cônico;
- Placas de vidro com pelo menos 5mm de espessura;
- Aparelho de Vicat: é um suporte que sustenta uma haste móvel que pesa 300,00 \pm 0,05g. Uma extremidade de sondagem da haste móvel (sonda de Tetmajer) tem 10 \pm 0,05mm de diâmetro e um comprimento mínimo de 50mm.
- A outra extremidade de sondagem da haste móvel (agulha de Vicat) tem diâmetro compreendido entre 1,11 e 1,14mm e comprimento mínimo de 50mm;



APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES

- Sonda de Tetmajer: é parte integrante do equipamento e é empregada exclusivamente para determinação da água da pasta de consistência normal;
- Cronômetro com precisão de 0,1s e dispositivo de travamento; vasilhames para pesagem de agregados, cimento e água.

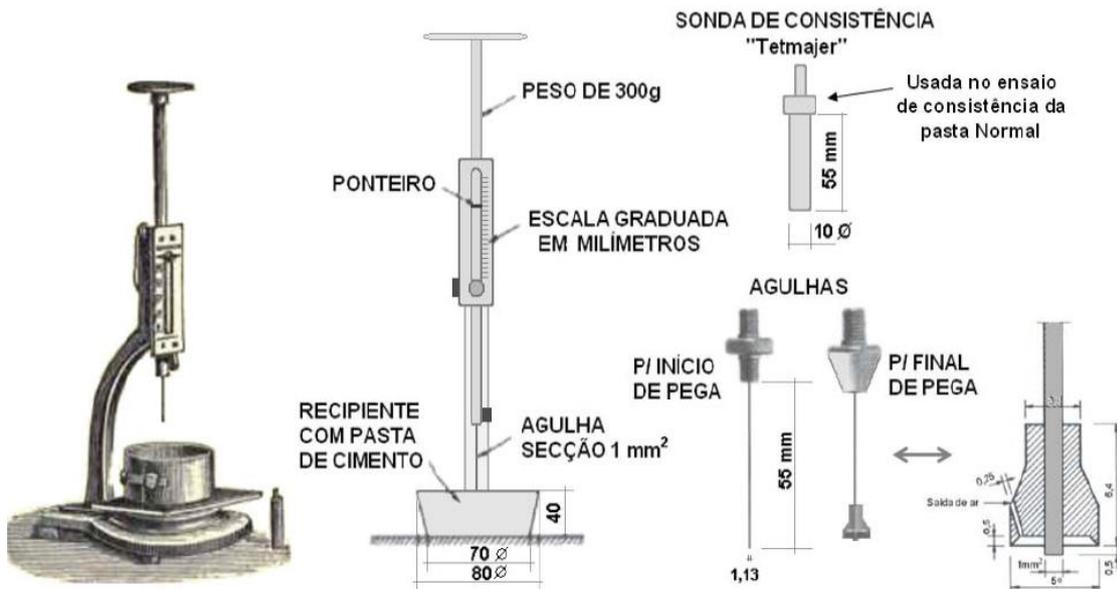


Fig. 1 – Aparelho de Vicat

O aparelho de Vicat consiste em um suporte (A), ver Figura, que sustenta uma haste móvel (B) que pesa (300 + 0,5 g). A extremidade de sondagem (C) da haste móvel (sonda Tetmajer) tem (10+0,05 mm) de diâmetro em um comprimento mínimo de 50 mm. A outra extremidade tem uma agulha (D) com dimensões abaixo.

A haste (B) pode ser colocada no suporte em qualquer das duas posições e pode ser mantida na altura desejada por meio de um parafuso (E). A haste (B) possui ainda um indicador ajustável (F), que se desloca ao longo de uma escala graduada em milímetros, presa firmemente ao suporte, e que permite a leitura da distância entre o fundo do molde e a extremidade da sonda ou agulha

30.3. Execução do Ensaio

- Pesar 500,0 ± 0,1g de cimento;
- A água a ser utilizada deve ser pesada com precisão de 0,5g e sua quantidade deve ser determinada por tentativas;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Introduzir a água na cuba da argamassadeira;
- Adicionar lentamente a amostra de cimento;
- Acionar o cronômetro;
- Aguardar por 30s;
- Ligar a argamassadeira na velocidade baixa;
- Misturar por 30s, desligar por 15 segundo;
- Raspar todo o cimento, com o auxílio de uma espátula, aderido às paredes internas da cuba e à pá, de modo a acumular toda a pasta no fundo da cuba;
- Ligar a argamassadeira em rotação alta por mais 60s;
- Imediatamente após a mistura, com o auxílio de uma espátula, introduzir a pasta no molde tronco-cônico;
- Promover a saída das bolhas de ar com suaves golpes na placa de vidro;
- Fazer o rasamento do topo do molde;
- Ajustar a sonda de Tetmajer;
- Após 45 s do término da mistura, soltar a haste, cuidando para que o aparelho não esteja submetido a nenhuma vibração durante o ensaio. Descer sobre a pasta, na sua parte central, a sonda de Tetmajer;
- Após 30s da sua penetração, fazer a leitura (dada em mm).

30.4. Resultados

O índice de consistência é o valor expresso em mm;

A consistência da pasta é considerada normal quando seu índice de consistência for igual a 6 ± 1 mm.

A água da pasta de consistência normal é expressa em porcentagem de massa relativa ao cimento, arredondada ao décimo mais próximo.

Nota: Não é permitido efetuar mais de uma sondagem na mesma pasta.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 11 – Determinação da pasta de consistência normal

Determinação	Água (%)	Água (g)	Índice de consistência (mm)
1 ^a			
2 ^a			
3 ^a			
4 ^a			
5 ^a			

31. Determinação do tempo de pega - NBR NM 65

31.1. Definições

Tempo de início de pega: é o intervalo de tempo decorrido entre o instante que lançou a água de amassamento ao cimento e o instante em que se constatou o início de pega;

Tempo de fim de pega: é o intervalo decorrido entre o instante que lançou a água de amassamento ao cimento e o instante em que se constatou o fim de pega.

31.2. Aparelhagem

- Balança com resolução de 0,1g e capacidade mínima de 1000,0g;
- Misturador mecânico (argamassadeira) composto de uma cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5 litros e de uma pá de metal que gira em torno de si mesma e, em movimento planetário, em torno do eixo da cuba, movimentos estes em sentidos opostos;
- Espátula metálica;
- Molde tronco-cônico;
- Placa de vidro de pelo menos 5mm de espessura;
- Béquer plástico, destinado a conter a água de amassamento;
- Aparelho de Vicat.

31.3. Execução do Ensaio

Preparação da pasta para o cimento;

Preparar uma pasta com 500g de cimento e água necessária para a consistência normal conforme a norma NM 43;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Encher o molde tronco-cônico de acordo com a norma NM 43.

Determinação de tempo do início de pega: início de pega é constatado no momento em que a agulha de Vicat, penetrando sobre a pasta de consistência normal, estacionar a 1mm da placa de vidro (H). Descer a agulha sem choque e sem velocidade inicial até estacionar (condição que pode ser alcançada sustentando-a levemente com os dedos), a leitura é feita 30 segundos após o início da penetração da agulha de Vicat na pasta.

Determinação do fim de pega: após a constatação do início de pega, fazer leituras a intervalos regulares de 10 minutos, a primeira entre as três leituras sucessivas e iguais, superiores a 38,0mm constitui a indicação do fim de pega.

Precauções durante ensaio: não é permitida a determinação dos tempos de início e fim de pega na pasta que já tenha sido utilizada para determinar a água da consistência normal. Nas determinações dos tempos de início e fim de pega, as tentativas não podem ser feitas a menos de 9mm de borda superior do molde, nem a menos de 6mm uma das outras.

31.4. Resultados

O resultado do tempo de início de pega é expresso em horas e minutos, com aproximação de 5 minutos.

Tabela 12 – Determinação do tempo de pega

Atividade	Horário	Intervalo
Adição de água à pasta		
Início de pega		
Fim de pega		



32. Determinação da expansibilidade de Le Chatelier – NBR 11582

32.1. Aparelhagem

- Agulha de Le Chatelier;
- Espátula metálica;
- Placas de vidro quadradas, com 5 cm de lado;
- Óleo mineral.

32.2. Execução do Ensaio

Amostra: pasta constituída de 500g de cimento e água em quantidade necessária para obter a consistência normal.

Ensaio: preparar três agulhas de Le Chatelier para cada ensaio com o seguinte procedimento:

- Colocar a agulha sobre a placa de vidro lubrificada com óleo mineral e preencher com a pasta;
- Regularizar o topo do cilindro;
- Cobrí-lo com uma placa de vidro lubrificada.
- Imergir o conjunto agulha e placas de vidro em água potável durante (20 ± 4) horas;

Cura a frio: retirar as placas de vidro e deixar três agulhas imersas em água, durante seis dias, de tal modo que as extremidades de suas hastes fiquem fora da água. Efetuar as medidas dos afastamentos das extremidades das hastes nas seguintes condições: logo após a moldagem dos corpos-de-prova e após sete dias consecutivos em água a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$

Cura a quente: retirar as placas de vidro e colocar as outras três agulhas imersas em água em um recipiente próprio para o aquecimento. Aquecer progressivamente a água deste recipiente cuja ebulição deve começar entre 15 min e 30 min e permanecer durante o tempo necessário, e superior a 5 horas, para se determinar a expansibilidade à quente. Efetuar as medidas dos afastamentos das extremidades das hastes nas seguintes condições: imediatamente após o início do aquecimento da água, após três horas de ebulição e, de duas em duas horas, até que não se verifiquem, em duas medições consecutivas, variações de afastamento das extremidades das hastes.



32.3. Resultados

A expansibilidade a frio é a diferença entre as medidas de afastamentos das extremidades das hastes das agulhas submetidas a cura a frio.

A expansibilidade a quente é a diferença entre as medidas do último afastamento das extremidades das haste determinado nos intervalos de duas em duas horas e do afastamento determinado imediatamente após o início do aquecimento da água na condição de cura a quente.

Observações:

- O resultado da expansibilidade a frio e a quente é a média das três determinações respectivas ao tipo de cura expresso em milímetros, com aproximação de 0,5 mm.
- A expansibilidade a frio visa verificar a influência do MgO e a expansibilidade a quente, a influência do CaO.

33. Determinação da resistência à compressão – NBR 7215

33.1. Aparelhagem

- balança com capacidade mínima de 1000 g e resolução de 0,1 g;
- misturador mecânico;
- espátula, paquímetro, régua metálica e placas de vidro;
- molde cilíndrico com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm;
- soquete, máquina de ensaio de compressão.

33.2. Amostra

Mistura constituído de cimento Portland e areia normal (NBR 7214/ EB 1133) nas seguintes proporções:

	APOSTILA MACO I AGREGADOS E AGLOMERANTES	

Tabela 13 – Determinação da resistência à compressão

Material		Quantidade (g)
Cimento		624 ± 0,4
Água		300 ± 0,2
Areia normal	1,2 mm - fração grossa	468 ± 0,3
	0,6 mm - fração média grossa	468 ± 0,3
	0,3 mm - fração média fina	468 ± 0,3
	0,15 mm - fração fina	468 ± 0,3

33.3. Ensaio

- Homogeneizar bem a areia;
- Untar as paredes internas do molde com óleo mineral;
- Colocar água na cuba da argamassadeira;
- Acionar o cronômetro;
- Dentro dos primeiros 30 segundos, adicionar o cimento a velocidade baixa;
- Nos próximos 30 segundos, adicionar a areia;
- Mudar imediatamente para a velocidade alta;
- Deixar misturar por 30 segundos;
- Desligar a argamassadeira;
- Nos primeiros 15 segundos, retirar, com o auxílio de uma espátula, toda a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba;
- Misturar à argamassa da cuba;
- Cobrir a cuba com um pano molhado;
- Deixar em repouso mais 1 minuto e 15 segundos;
- Após este tempo, ligar a argamassadeira por mais 1 minuto, em alta velocidade;
- Após o amassamento, com a maior rapidez possível, colocar a argamassa nos moldes, com o auxílio de uma colher;
- Encher o molde em quatro camadas sucessivas, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com soquete;
- Fazer o rasamento no topo dos corpos-de-prova, com o auxílio de uma espátula.
- Colocar os moldes na câmara úmida;
- Proteger os corpos-de-prova para não gotejar sobre a sua superfície;
- Deixar na câmara úmida por um período de 20 a 24 horas;



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

- Retirar os corpos-de-prova da câmara úmida;
- Identificar os corpos-de-prova;
- Os corpos-de-prova que serão rompidos nas idades de 3, 7 e 28 dias devem ser curados em um tanque de água saturada de cal, não corrente, dentro da câmara úmida;
- No vencimento das idades a serem ensaiadas à resistência a compressão, retirar os corpos-de-prova do tanque;
- Capear os corpos-de-prova;
- Romper os corpos-de-prova à compressão axial.

33.4. Resultados

Calcula-se a resistência à compressão de cada corpo-de-prova, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção de carregamento. O resultado deve ser expresso em MPa.

Calcula-se a resistência média da série de quatro corpos-de-prova de cada idade. O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo.

Calcula-se, em percentagem, o desvio relativo máximo para cada série, dividindo-se o valor absoluto da diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afasta dessa média. A percentagem deve ser arredondada ao décimo mais próximo.

Obs.: Quando o desvio for superior a 6% calcula-se uma nova média, desconsiderando o valor discrepante, identificando-o no certificado, com asterisco. Persistindo o fato, eliminam-se os CPs de todas as idade, devendo o ensaio ser totalmente refeito.

33.5. Determinação

Calcular a resistência à compressão do cimento para uma série de corpos-de-prova.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 14 – Determinação da resistência à compressão (idade = 03 dias)

CP	Carga (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
01		
02		
03		
04		
Resistencia media (MPa)		
Desvio relativo máx. (%)		

Tabela 15 – Determinação da resistência à compressão (idade = 07 dias)

CP	Carga (Kgf)	Resistência à compressão (Mpa)
01		
02		
03		
04		
Resistencia media (MPa)		
Desvio relativo máx. (%)		

Resistência à compressão = carga de ruptura / área da seção do CP

34. Exercícios

1. Defina aglomerantes.
2. O que são aglomerantes aéreos e hidráulicos? Dê exemplos.
3. Cite 4 aplicações da cal e do gesso.
4. O que são agregados?
5. Quais são as três classificações dos agregados. Dê exemplos em cada classificação.



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

6. Defina: índice de vazios e compacidade.
7. Qual a diferença entre massa específica aparente e massa específica real?
8. Por que é importante saber o teor de umidade da areia?
9. Cite aplicações dos seguintes agregados: a) Agregados naturais, b) Agregados artificiais, c) Agregados industrializados:
10. A tabela a seguir apresenta o resultado de um ensaio granulométrico de duas amostras de agregados. Faça o cálculo do módulo de finura e classifique as duas amostras (areia: muito fina, fina, média e grossa – brita: 1, 2, 3, 4 e 5)

Tabela 19 – Ensaio granulométrico

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentual retido (%)	Porcentual retido acumulado (%)
4,80	8,0		
2,40	17,00		
1,20	42,00		
0,60	175,00		
0,30	327,00		
0,15	329,00		
fundo	102,00		



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

Tabela 20 – Ensaio granulométrico

Peneiras (mm)	Material retido (g)	Porcentual retido (%)	Porcentual retido acumulado (%)
25	0		
19	0		
12,5	94		
9,5	1945		
4,80	872		
2,40	175,00		
1,20	60,00		
0,60	0,00		
0,30	0,00		
0,15	0,00		
Fundo	200,00		

11. Para um traço de concreto, foi determinado que as quantidades seriam:

Areia: 720Kg

Brita 1: 420Kg

Brita 2: 820Kg

Água: 160l

Você é o engenheiro responsável pelo controle tecnológico do concreto. Sabendo que a areia apresenta um teor de umidade de 8%, quais as novas quantidades dos materiais?

12. São apresentados vários traços de argamassas de cimento e areia. Faça a transformação conforme o que se pede.

a) 1: 6 em volume. Transforme o traço em massa.

Dados

γ cimento: 1,42Kg/dm³

γ areia: 1,46Kg/dm³

b) 1:4,5 em massa. Transforme em volume.

Dados

γ cimento: 1,42Kg/dm³



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

γ areia: 1,46Kg/dm³

c) 1: 6,3 em volume. Faça a correção do traço supondo um inchamento da areia de 20%.

d) 1: 4,8 em massa. Faça a correção do traço supondo um teor de umidade da areia de 7%.

13. Seja o traço de concreto 1 : 4 : 6 : 0,6 em massa:

- a) Calcular o traço misto para cada saco de cimento.
- b) Calcular as quantidades dos materiais para cada saco de cimento sabendo-se que a areia está com 4% de umidade.
- c) Calcular as quantidades dos materiais para produzir 3 m³ de concreto.
- d) Dimensionar as caixas de agregados (padiolas) para cada saco de cimento.

Tabela 21 – Dados

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (kg/l)
Cimento	3,15	1,42
Areia	2,63	1,50
Brita	2,90	1,40

Areia: umidade crítica = 3%, coeficiente médio de inchamento: 30%

Padiolas: peso máximo = 60kg, dimensões da base entre 35 e 45cm

14. O concreto do piso de uma indústria foi produzido com:

- 1 saco de cimento
- 5,5 latas de areia úmida (h = 5,5%)
- 7 latas de brita
- 30 litros de água

Obs: 1 lata = 20 litros

- a) Calcular o traço em massa
- b) Calcular as quantidades dos materiais para produzir 18 m³ de concreto.

	APOSTILA MACO I AGREGADOS E AGLOMERANTES	

Tabela 22 – Dados exercício 15

Material	Massa específica (g/cm ³)	Massa unitária (kg/l)
Cimento	3,15	1,42
Areia	2,63	1,50
Brita	2,90	1,40

Areia: Coeficiente médio de inchamento: 30%

15. Se tanto a cal quanto o cimento são produzidos a partir de rocha calcária, o que confere hidraulicidade ao cimento que não existe no processo de produção da cal?

16. No final das contas, por qual motivo se usa a cal para fabricar argamassas de revestimento e assentamento?

17. Defina pega de um aglomerante, dando ênfase para o significado do início e do fim da pega e a importância dela.

18. Defina pozolana e diga quais os benefícios do uso deste material como adição.

19. Além das adições comentadas nas questões anteriores, também é adicionado gesso ao clínquer no processo de produção do Cimento Portland. Por qual motivo?

20. No geral, por qual motivo se adiciona outros materiais ao clínquer no processo de produção do Cimento Portland?

21. Cite todos os tipos de Cimento Portland reconhecidos pelas normas brasileiras e descreva sucintamente as características mais marcantes da sua composição e a consequente recomendação de uso de cada um deles.

22. Defina aglomerantes.

23. O que são aglomerantes aéreos e hidráulicos? Dê exemplos.

24. Cite 4 aplicações da cal e do gesso.

25. Como se verifica o início e o fim da pega da pasta de cimento utilizando-se o aparelho de Vicat? Por norma, qual o tempo mínimo para o início da pega?



**APOSTILA
MACO I
AGREGADOS E AGLOMERANTES**

26. Um mesmo tipo de cimento foi produzido nas finuras Blaine de 300 m²/kg e 450 m²/kg. Qual cimento será mais reativo? Explique sua resposta.

27. A escolha do tipo de cimento para cada uso depende das características desejadas. Nesse contexto, que tipo de cimento deve ser utilizado em concretos nos quais existe a necessidade de resistência mecânica elevada nas primeiras idades?

28. Qual é a influência dos tipos de cimento em argamassa e concretos?

29. Como é feito o Cimento Portland?

30. Na fabricação do cimento Portland, os materiais, antes de serem calcinados, sofrem uma preparação, com a finalidade de facilitar a homogeneização e de aumentar a superfície específica. O processo a ser empregado pode ser por via seca ou por via úmida. O processo por via seca, antes da entrada do material no forno, caracteriza-se, nessa ordem, pelas seguintes fases:

() secagem, moagem preliminar e fina, dosagem e homogeneização

() secagem, dosagem, moagem e homogeneização

() moagem preliminar, secagem, dosagem, moagem fina e homogeneização

() dosagem, homogeneização, moagem e estocagem

() secagem, dosagem e homogeneização, seguidas da moagem