



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO NORTE –
CAMPUS DE NATAL CENTRAL
CURSO EDIFICAÇÕES

**APOSTILA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES
IFRN / CAMPUS NATAL CENTRAL
PROF. MARCIO VARELA**

1. INTRODUÇÃO

1.1. IMPORTÂNCIA DO ESTUDO:

É uma habilidade essencialmente prática, onde se estuda os diversos materiais utilizados em Engenharia, sua obtenção, propriedades e técnicas de utilização.

1.2. FINALIDADE DO ESTUDO:

Desenvolver novas técnicas de emprego, e pesquisar novos materiais, que atendam ao desenvolvimento dos processos construtivos. As novas aplicações dos materiais vão depender da descoberta de novas propriedades desses materiais.

2. AGREGADOS

2.1. DEFINIÇÕES

1 - Materiais granulosos, naturais ou artificiais, divididos em partículas de formatos e tamanhos mais ou menos uniformes, cuja função é atuar como material inerte nas argamassas e concretos aumentando o volume da mistura e reduzindo seu custo.

2 - Segundo Petrucci (1970) define-se agregado como o material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte de dimensões e propriedades adequadas para a engenharia. Os agregados conjuntamente com os aglomerantes, especificamente o cimento, formam o principal material de construção, o concreto.

2.2. CLASSIFICAÇÃO

2.2.1. a) Quanto à origem

- **Naturais:** são os agregados que não sofreram nenhum processo de beneficiamento, sendo encontrado na natureza já na forma particulada e com dimensões aplicáveis a produção de produtos da construção, como argamassas e concretos.

Ex.: areia de rio e seixos.

- **Artificiais:** são os agregados que sofreram algum processo de beneficiamento por processos industriais, como por exemplo, britagem.

Ex.: britas, argilas expandidas, escória granulada de alto forno, vermiculita.

2.2.2. Quanto ao Massa Unitária

Agregados leves: são os agregados com massa unitária inferior a 1120 kg/m^3 , sua aplicação principal é na produção de concretos leves, essa menor massa é devido a sua microestrutura celular e altamente porosa.

Ex. agregados artificiais como vermiculita expandida, escória expandida, entre outros.

Agregados normais: são os agregados com massa unitária entre 1500 e 1800 kg/m^3 , sua principal aplicação é na produção de concretos convencionais.

Ex. areia lavada de rio, britas graníticas e calcárias, entre outras.

Agregados pesados: são os agregados com massa unitária superior a 1800 kg/m^3 , sua aplicação principal é na produção de concretos pesados, utilizados para blindagens de radiação. A maior massa destes agregados é devido à presença dos minerais de bário, ferro e titânio na estrutura dos agregados.

Ex. Barita, hematita entre outros.

2.2.3. Quanto a dimensão das partículas - Granulometria

Agregado miúdo: $0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$.

Exemplos:

- pó de pedra, areia e siltes. Esses fragmentos passam na peneira com $4,8 \text{ mm}$ de abertura.

Agregado graúdo: $\phi \geq 4,8\text{mm}$.

Exemplo:

- seixo rolado, brita e argila expandida. Esses fragmentos são retidos na peneira com abertura de $4,8 \text{ mm}$.

2.3. AGREGADOS MIÚDOS

2.3.1. AREIAS

Obtidas da desagregação de rochas apresentando-se com grãos de tamanhos variados. Podem ser classificadas, pela granulometria, em: areia grossa, média e fina.

Deve ser sempre isenta de sais, óleos, graxas, materiais orgânicos, barro, detritos e outros.

Podem ser usadas as retiradas de rio e ou do solo (jazida).

Não devem ser usadas a areia de praia (por conter sal) e a areia com matéria orgânica, que provocam trincas nas argamassas e prejudicam a ação química do cimento.

As areias são usadas em concretos e argamassas e para isso merecem alguns cuidados como veremos a seguir:

Areias para concreto: Utiliza-se nesse caso a areia retirada de rio (lavada), principalmente para o concreto armado, com as seguintes características:

- Grãos grandes e angulosos (areia grossa);
- Limpa: quando esfregada na mão deve ser sonora e não fazer poeira e nem sujar a mão.
- Observar também: umidade, pois quanto maior a umidade destas, menor será o seu peso específico.

Areia para alvenaria: Na primeira camada do revestimento de paredes (emboço) usa-se a areia média. Para o revestimento final chamado reboco ou massa fina, areia fina.

Para acentamento de alvenaria deve-se utilizar areia média ou grossa.

Obs: é difícil encontrar uniformidade nas dimensões de grãos de areia de mesma categoria. Essa desigualdade é conveniente, pois contribui para obtenção de melhores resultados em seu emprego, já que diminui a existência de vazios na massa e para a diminuição do volume dos aglomerantes, cimento e cal, na mistura, que são materiais de maior custo.

Substâncias Nocivas

As substâncias nocivas nas areias, não devem exceder aos seguintes limites:

- Torrões de argila: 1,5 %;
- Matérias carbonosas: 1,0 %;
- Material pulverulento passando na peneira nº 200 (abertura da malha igual a 0,074 mm);

- Impurezas orgânicas: realizado de acordo com a MB-10. Caso a solução que esteve em contato com o agregado apresentar coloração mais escura que a solução padrão, será o agregado considerado suspeito;
- Outras impurezas: esses limites deverão ser fixados pelo engenheiro fiscal, ou técnico da obra; essas impurezas são, micas, detritos vegetais e etc.

Procedência das Areias

- **Dos Rios:** mais puras, portanto as preferidas;
- **Do Mar:** só podem ser usadas, depois de bem lavadas em água doce, ou expostas às intempéries em camadas finas, de modo a perder os sais componentes.
- **De Minas:** encontram-se à superfície da terra em camadas, em filões ou em covas, quando expurgadas de certas impurezas, torna-se melhor que a de rio.

Classificação (Série de Taylor)

- a. Grossa: areia que passa em malha de 4,8 mm e ficam retidas na de 1,2 mm (alvenaria de pedra);
- b. Média: passa na peneira de 1,2 mm e fica retida na de 0,3 mm. (alvenaria de tijolo e nos emboços).
- c. Finas: passa na peneira de 0,3 mm (reboco de paredes e teto).

Requisitos da Areia

- a. Não conter terra, o que se conhece por não crepitar ou ranger quando apertada na mão, e não turvar a água em que for lançada.
- b. Possuir grãos de dimensões variadas, e angulosos.

Função

Entra na composição das argamassas, e contribuem para diminuição da contração volumétrica da argamassa, tornando-a mais econômica.

2.3.2. PÓ DE PEDRA

É a mistura de pedrisco e filler, não sendo, no entanto recomendado para argamassas.

2.3.3. FILLER

Entende-se por Filler, um pó mineral de grande finura, dimensões são inferiores a 0,075 mm, podendo ser: Calcário, Pó de pedra, Carvão, Cinzas, etc.

2.4. AGREGADO GROSSO ou GRAÚDO:

Agregados Grossos são todos os materiais granulosos de diâmetro superior a 4,8 mm. Os principais agregados grossos são: seixos rolados, pedras britadas, argilas expandidas, escórias, etc.

Terminologia:

DENOMINAÇÃO	DIÂMETRO
BLOCO DE PEDRA	> 1,0 m
MATAÇÃO	> 25 cm
PEDRA	Entre 7,6 cm e 25 cm
BRITA	4,8 mm e 76 mm

2.4.1. BRITAS

Provêm da desagregação das rochas em britadores e que após passar em peneiras selecionadoras são classificadas de acordo com sua dimensão média, variável de 4,8 a 76 mm.

São normalmente utilizadas para a confecção de concretos, podendo ser obtidas de pedras graníticas e ou calcárias. Britas calcárias apresentam menor dureza e normalmente menor preço.

Para concreto armado a escolha da granulometria baseia-se no fato de que o tamanho da brita não deve exceder 1/3 da menor dimensão da peça a concretar. As mais utilizadas são as britas número 1 e 2.

As britas podem ser utilizadas também soltas sobre pátios de estacionamento e também como isolante térmico em pequenos terraços.

As britas são comercializadas de acordo com seu diâmetro máximo, sendo classificadas na prática como:

Classificação das Britas

BRITA	DIÂMETRO MÍNIMO (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO (mm)
0	4,8	9,5
1	9,5	19,0
2	19,0	25,0
3	25,0	50,0
4	50,0	76,0

As principais características determinadas para esses agregados são granulometria, massa unitária, massa específica e capacidade absorção.

A determinação da granulometria do agregado graúdo é realizada da mesma maneira que a realizada para o agregado miúdo, mudando apenas a série de peneiras utilizadas (Tabela 3) e a amostra mínima que deve ser determinada pela Tabela 4.

Tabela 3. Peneiras Série Normal e Intermediária

Série Normal	Intermediária (mm)
76,0 mm	
	50,0 mm
38,0 mm	
	32,0 mm
	25,00 mm
19,0 mm	
	12,50 mm
9,50 mm	
	6,30 mm
4,80 mm	
2,40 mm	
1,20 mm	
0,60 mm	
0,30 mm	
0,15 mm	

Tabela 4 – Amostra mínima para ensaio

D _{máx} (mm)	Massa Mínima (kg)
4,8 a 6,3	3,0
9,5 a 25,0	5,0
32,0 a 38,0	10,0

A determinação da massa unitária do agregado graúdo é realizada da mesma maneira que a realizada para o agregado miúdo, já a massa específica pode ser feita por imersão de uma

amostra de agregado graúdo seco ao ar em uma proveta graduada de 1000 ml, que contenha cerca de 500 ml de água. A massa específica é determinada pela divisão da massa da amostra pelo volume de água deslocado.

2.4.2. BRITA CORRIDA

É a mistura de britas, sem classificação prévia, com pó de pedra, onde todos os tamanhos estão misturados.

2.4.3. CASCALHO OU PEDRA-DE-MÃO

É o agregado com grãos de maiores dimensões sendo retidos na peneira 76 mm (pode chegar até a 250 mm). Utilizados normalmente na confecção de concreto ciclópico e calçamentos.

Qualidades exigidas das britas:

- **Limpeza:** ausência de matéria orgânica, argila, sais, etc.;
- **Resistência:** no mínimo possuem a mesma resistência à compressão requerida do concreto;
- **Durabilidade:** resistir às intempéries e às condições adversas;
- **Serem angulosas ou pontiagudas:** para melhor aderência.

2.4.4. SEIXOS ROLADOS

Encontrado em leitos de rios deve ser lavado para serem utilizados em concretos. O concreto feito com esse material apresenta boa resistência, inferior, porém, ao feito com brita.

Classificação

DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES
FINO	De 5 a 15 mm
MÉDIO	De 15 a 30 mm
GROSSO	Acima de 30 mm

3.0 ENSAIOS

Agregados Miúdos

ENSAIO 1 - Massa específica (ou massa específica real): é a massa da unidade de volume excluindo-se os vazios entre grãos e os permeáveis, ou seja, a massa de uma unidade de volume dos grãos do agregado.

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Sua determinação é feita através do picnômetro ou do frasco de Chapman, preferencialmente. Segundo Petrucci (1970), a massa específica real do agregado miúdo gira em torno de 2,65 Kg/dm³.

Determinação da massa específica do agregado miúdo é feita por meio do frasco Chapman (NBR 9776/87):

Procedimento para determinação da massa específica:

- Secar a amostra de agregado miúdo (areia) em estufa a 110 °C, até constância de peso e resfriá-la até temperatura ambiente;
- Pesar 500 g de agregado miúdo;
- Colocar água no frasco Chapman (Figura 1), até a marca de 200 cm³;
- Introduzir cuidadosamente os 500 g de agregado no frasco, com auxílio de um funil;
- Agitar o frasco, cuidadosamente, com movimentos circulares, para a eliminação das bolhas de ar (as paredes do frasco não devem ter grãos aderidos);
- Fazer a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado (L);
- Repetir o procedimento pelo menos mais uma vez, para outra amostra de 500 g.

Determinação dos Resultados:

A massa específica do agregado miúdo é calculada através da expressão:

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

δ = massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm³ ou kg/dm³.

L = leitura final do frasco (volume ocupado pela água + agregado miúdo)



Figura 1 – Frasco de Chapman

OBS: - Duas determinações consecutivas, feitas com amostras do mesmo agregado, não devem diferir entre si de mais de $0,05 \text{ g/cm}^3$, ou seja:

$$|\delta_1 - \delta_2| \leq 0,05 \text{ g/cm}^3$$

- Os resultados devem ser expressos com duas casas decimais.

A importância fundamental da determinação da massa específica dos agregados é que esses valores serão utilizados nos cálculos de consumo de materiais que entrarão na composição de concreto e argamassa, como veremos no item sobre traços.

ENSAIO 2 - Massa unitária (específica aparente): é o peso da unidade de volume, incluindo-se os vazios contidos nos grãos. É determinada preenchendo-se um recipiente paralelepédico de dimensões bem conhecidas com agregado deixando-o cair de uma altura de 10 a 15 cm. É também chamada de unitária. A areia, no estado solto, apresenta o peso unitário em forma de $1,50 \text{ kg/dm}^3$.

$$\gamma = \frac{M}{V_{AP}};$$
$$\gamma = \text{Massa Unitária}$$

A determinação é feita através do ensaio descrito na NBR – 7251/1987: Agregados em estado solto - Determinação da massa unitária.

Procedimento para determinação da massa unitária:

- Secar a amostra de agregado miúdo em estufa a 110°C , até constância de peso e resfriá-la até temperatura ambiente;
- Determinar o volume do recipiente a ser utilizado (V_r);
- Separar a amostra a ser utilizada, com volume no mínimo duas vezes o correspondente à capacidade do recipiente a ser usado;
- Pesar o recipiente utilizado para medir o volume (M_r);
- Encher o recipiente com a amostra de forma a evitar a compactação do material, para deve-se soltar a amostra de uma altura de 10 a 15 cm;
- Pesar o conjunto recipiente mais amostra (M_{ra});
- Repetir o procedimento para outra amostra do mesmo material.

Determinação dos resultados:

A massa unitária do agregado miúdo é calculada através da expressão:

$$\gamma = \frac{M_{RA} - M_R}{V_R}; \text{ onde:}$$

γ = Massa unitária do agregado miúdo em g/cm^3 ou kg/dm^3 ;

M_{RA} = Massa do recipiente mais amostra;

M_R = Massa do recipiente;

V_R = Volume do recipiente.

Obs₁: - Duas determinações consecutivas, feitas com amostras do mesmo agregado, não devem diferir entre si de mais de $0,05 g/cm^3$, ou seja:

$$|\gamma_1 - \gamma_2| \leq 0,05 g / cm^3$$

Obs₂: A determinação da massa unitária é útil para a conversão dos traços de argamassas e concretos de massa (peso) para volume e vice-versa.

ENSAIO 3 - Teor de umidade: é a relação da massa de água absorvida pelo agregado que preenche total ou parcialmente os vazios, e a massa desse agregado quando seco. Sua determinação é feita, principalmente por meio da secagem em estufa; método da queima com álcool; método do speedy; frasco de Chapman, entre outros. O método mais prático para determinação em obras e controle de qualidade é o método do speedy test, por se constituir de um método rápido e prático de ser feito no canteiro de obras.

Norma para determinação:

- *Determinação da umidade superficial do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman (NBR 9775/1987) e ;*

- *Determinação da umidade superficial do agregado miúdo por secagem em estufa (NBR 9939/1987).*

Ensaio 3.1 - Procedimento para determinação da umidade pelo *frasco de Chapman* (NBR 9775/1987).

- Determinar a massa específica do agregado miúdo conforme a NBR 9776/87;
- Colocar água no frasco Chapman, até a marca de 200 cm³;
- Pesar 500 g do material úmido a ser analisado, introduzindo cuidadosamente no frasco, com auxílio de um funil;
- Agitar o frasco, cuidadosamente, com movimentos circulares, para a eliminação das bolhas de ar (as paredes do frasco não devem ter grãos aderidos);
- Fazer a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado (L);
- Repetir o procedimento para pelo menos mais uma amostra.

Determinação dos resultados:

A umidade superficial presente no agregado miúdo (h) é dada pela expressão:

$$h = \frac{100 \times [500 - (L - 200) \times \delta]}{\delta \times (L - 700)}; \text{ onde:}$$

h = Umidade

δ = Massa específica do agregado em g/cm³;

L = Leitura final do frasco;

Obs: A umidade deve ser a média de duas determinações consecutivas feitas com amostras do mesmo agregado, colhidas ao mesmo tempo. Os resultados não podem diferir entre si mais do que 0,5%.

Ensaio 3.2 - Procedimento para determinação da umidade por *secagem em estufa* (NBR 9939/1987).

- Determinar o peso (tara) das cápsulas de alumínio, utilizadas como recipientes para colocação das amostras na estufa;
- Pesar pelo menos duas amostras de areia úmida (aprox. 50 g, cada);
- Colocar a cápsula na estufa, a temperatura de 105 – 100 °C, durante 24 horas;
- Após 24 horas, retirar a amostra da estufa e pesar;

Determinação dos resultados:

A umidade superficial do agregado miúdo (h) é dada pela expressão:

$$h = \frac{M_H - M_S}{M_S}; \text{ onde:}$$

h = Teor de umidade;

M_H = Massa da amostra umida;

M_S = Massa da amostra seca;

- Realizar duas determinações para o mesmo agregado, colhidos ao mesmo tempo.
- Os resultados não devem diferir entre si de mais do que 0,5 %

Ensaio 3.2 - Procedimento para determinação da umidade pelo *speed test*.

Speed Test é um o aparelho composto de uma garrafa metálica, na qual é acoplado, em sua extremidade superior, um manómetro (Figura 2). O ensaio consiste em colocar certa quantidade de material úmido, juntamente com duas ampolas de carbureto de cálcio em pó e uma esfera de aço no interior da garrafa. Feito isto, fecha-se a garrafa agitando-se com violência para que a esfera quebre a ampola de carbureto de cálcio. A reação da água contida na areia com o carbureto de cálcio elevará a pressão, que será acusada pelo manómetro e também pelo aquecimento das paredes da garrafa metálica. Em seguida aplicar constantes movimentos de vaivém para que haja homogeneização entre a areia úmida e o carbureto de cálcio, até que a garrafa esfrie.

Proceder à leitura do manómetro e, de acordo com a pressão indicada obtém-se diretamente pela tabela do aparelho o teor de umidade em porcentagem.

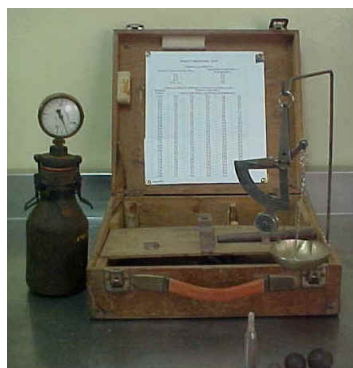


Figura 2 – Aparelho de Speed Test

Existem vários estados de umidade nos agregados que estão esquematizados na Figura 3. A condição saturada superfície seca é definida quando todos os poros permeáveis do agregado estão preenchidos e não há filme de água na sua superfície. A capacidade de absorção dos agregados que é definida como a quantidade de água necessária para levar o agregado da condição seca em estufa para saturada superfície seca.

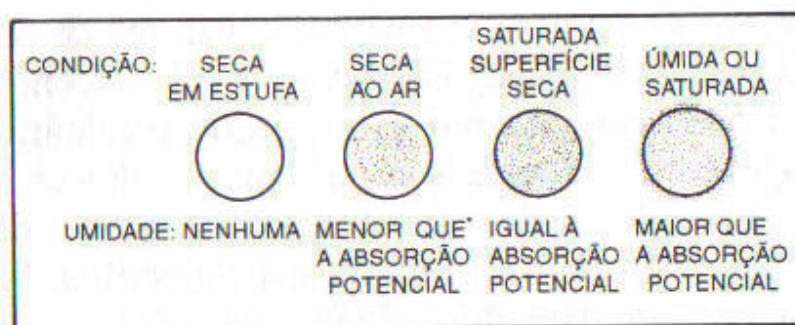


Figura 3 – Condições de umidade dos agregados

ENSAIO 4 - Inchamento: é a propriedade dos agregados miúdos de aumentarem de volume com o aumento da umidade, pela aderência da água a superfície dos agregados.

1.1.1 Determinação do Inchamento de Agregado Miúdo (NBR 6467)

Procedimento do Ensaio

- Secar a amostra de ensaio em estufa (105 – 110°C) até constância de massa e resfriá-la até temperatura ambiente;
- Colocar a amostra sobre uma bandeja de alumínio (1 m x 1 m) ou sobre uma lona impermeável, homogeneizar a amostra e determinar a massa unitária, segundo a NBR 7251;
- Adicionar água sucessivamente de modo a obter teores de umidade próximos aos seguintes valores: 0,5 %, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%. Homogeneizar cuidadosamente a amostra a cada adição de água. Coletar uma amostra de agregado a cada adição de água, para determinação do teor de umidade. Executar, simultaneamente, a determinação da massa unitária;
- Determinar a massa de cada cápsula com a amostra coletada (M_i), secar em estufa e determinar sua massa (M_f).

Determinação dos resultados

- Calcular o teor de umidade das amostras coletadas nas cápsulas, pela expressão:

$$h = \frac{M_i - M_f}{M_f - M_c}; \text{ onde:}$$

h = Teor de umidade;

M_i = Massa da capsula com a amostra umida, g;

M_f = Massa da capsula com a amostra seca, g;

M_c = Massa da capsula, g;

- Para cada teor de umidade, calcular o coeficiente de inchamento de acordo com a expressão:

$$\frac{V_h}{V_0} = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \times \left(\frac{100 + h}{100} \right); \text{ onde:}$$

V_h = volume do agregado com h% de umidade, em dm^3 ;

V_0 = volume do agregado seco em estufa, em dm^3 ;

V_h/V_0 = coeficiente de Inchamento;

γ_s = massa unitária do agregado seco em estufa, em kg/dm^3 ;

γ_h = massa unitária do agregado com h% de umidade, em kg/dm^3 ;

h = teor de umidade do agregado, em %.

- Assinalar os pares de valores (h , V_h/V_0) em gráfico, conforme modelo em anexo, e traças a curva de inchamento de modo a obter uma representação aproximada do fenômeno.

- Determinar a umidade crítica na curva de inchamento, pela seguinte construção gráfica:

- traçar a reta tangente à curva paralela ao eixo das umidades;
- traçar a corda que une a origem ao ponto de tangência da reta traçada;
- traçar nova tangente à curva, paralela a esta corda;
- a abscissa correspondente ao ponto de interseção das duas tangentes é a umidade crítica.

- O coeficiente de inchamento é determinado pela média aritmética entre os coeficientes de inchamento máximo (ponto A) e aquele correspondente à umidade crítica (ponto B).

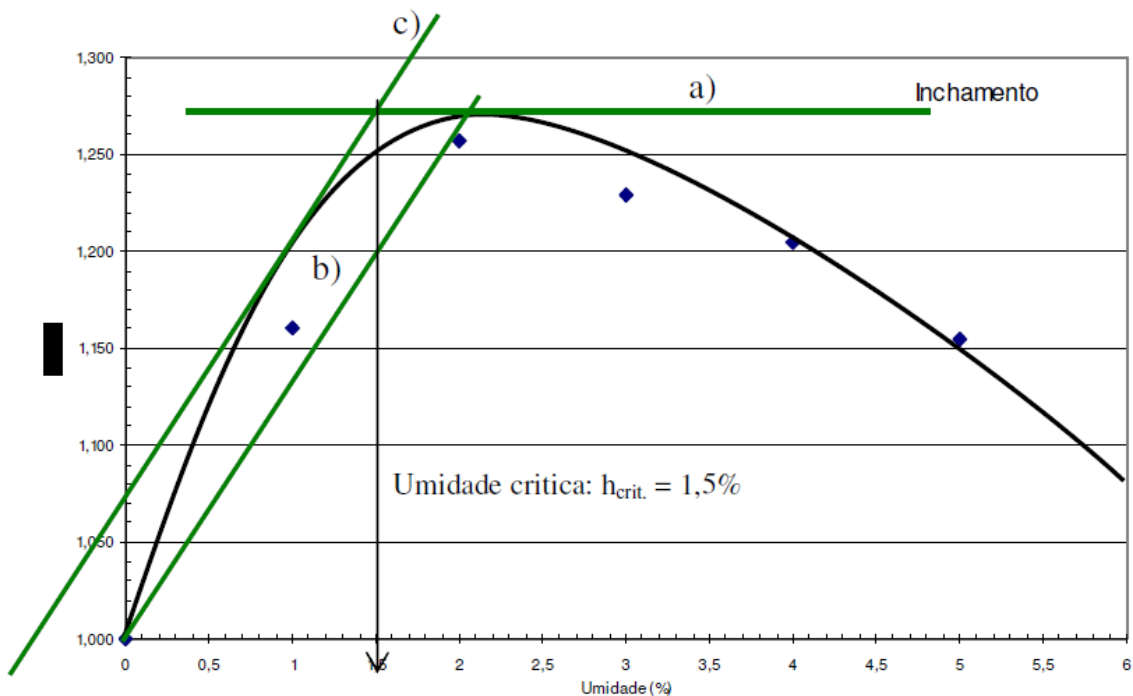


Figura 4. Gráfico para determinação do inchamento

A determinação do inchamento é de suma importância para a medição dos traços de concreto em volume e para a determinação do volume das padiolas de medição de areia.

ENSAIO 5 - Granulometria: é a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado. A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades das argamassas e concretos. É determinada através de peneiramento, através de peneiras com determinada abertura constituindo uma série padrão.

A granulometria determina, também, o diâmetro máximo do agregado, que é a abertura da peneira em que fica retida acumulada uma porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5%. Outro índice importante determinado pela granulometria é o módulo de finura, que é a soma das porcentagens retidas acumuladas divididas por 100.

O ensaio de granulometria é preconizado na NBR 7211 - Determinação da composição granulométrica (NBR 7217/1987).

A tabela a seguir apresenta a peneiras da série normal para determinação da granulometria do agregado miúdo, de acordo com a NBR 7217. Deve-se utilizar uma amostra mínima de 0,5 kg para a análise dos agregados miúdos.

Tabela . Peneiras para granulometria dos agregados miúdos

Série Normal
4,8 mm
2,4 mm
1,2 mm
0,6 mm
0,3 mm
0,15 mm

Procedimento de ensaio:

- Secar a amostra de agregado em estufa a 110°C, até constância de peso;
- Encaixar a série de peneiras, previamente limpas, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, juntamente com a tampa e o fundo;
- Colocar a amostra sobre a peneira superior do conjunto, tampar e agitar, até a completa classificação do material. Esta agitação deve ser feita por um tempo razoável, que permita a separação e classificação da amostra;
- Retirar a peneira superior e remover o material retido para uma bacia identificada, determinando sua massa. Ter o cuidado de remover todo o material aderido à tela, utilizando escova de nylon;
- Repetir o procedimento para todas as peneiras seguintes;
- Se não for possível utilizar a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira (maior malha), para depois passar a peneira seguinte;
- Agitar cada peneira com a amostra, ou porção desta, por tempo não inferior a 2 minutos;
- Repetir o procedimento, para uma outra amostra do mesmo material.

Determinação dos Resultados:

- Para cada uma das amostras de ensaio, calcular a porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%.
- As duas amostras devem apresentar, necessariamente, o mesmo diâmetro máximo e, nas demais peneiras, os valores percentuais retidos individualmente não devem diferenciar mais que

quatro unidades percentuais entre si. Caso isso ocorra, repetir o peneiramento para outras amostras de ensaio até atender a esta exigência.

- Calcular as porcentagens retidas e acumuladas, em cada peneira, com aproximação de 0,01.
- Calcular o módulo de finura, que é determinado através da soma das porcentagens retidas acumuladas, em massa, nas peneiras da série normal (excetuam-se as peneiras intermediárias) dividida por 100.
- Determinar o diâmetro máximo, 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.
- Traçar o gráfico da curva granulométrica (Figura 5), em papel semi-logarítmico, incluindo as peneiras intermediárias, se houver.

Obs: Ao fim do ensaio, 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 que 0,3% da massa inicialmente introduzida no conjunto de peneiras;

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - NBR 7217 - AREIA							
PENEIRAS		1ª DETERMINAÇÃO		2ª DETERMINAÇÃO		% Retida Média	% Retida Acumulada
nº	mm	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
3/8"	9,5						
1/4"	6,3						
4	4,8	1,30	0,13	0,90	0,08	0,11	0,11
8	2,4	5,00	0,49	4,40	0,41	0,45	0,55
16	1,2	20,50	2,00	21,10	1,95	1,98	2,53
30	0,60	130,30	12,74	134,30	12,44	12,59	15,12
50	0,30	415,90	40,65	477,30	44,19	42,42	57,54
100	0,15	340,90	33,32	321,00	29,72	31,52	89,06
Fundo	0,01	109,20	10,67	121,00	11,20	10,94	100,00
TOTAL		1023,10	100,00	1080,00	100,00	100,00	164,91
Diâmetro Máximo: 1,2				Módulo de Finura: 1,65			

Figura 6 – Composição Granulométrica

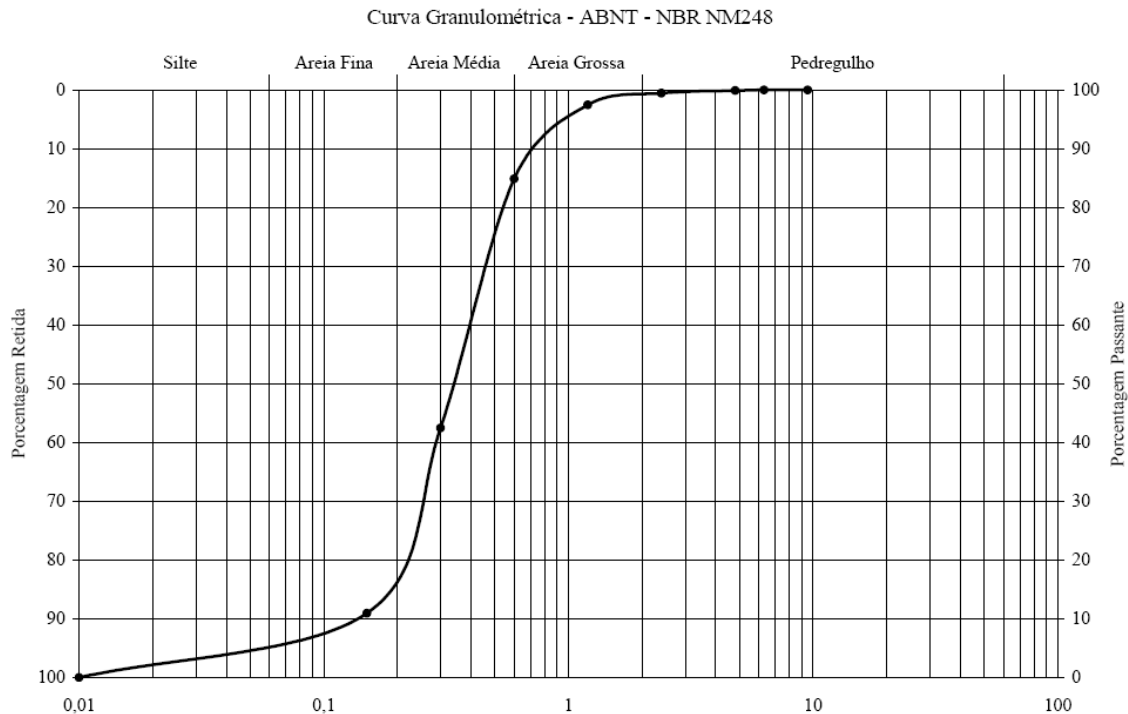


Figura 7 – Curva Granulométrica

Nota:

- 1 - A diferença do somatório do material retido total não deve diferir mais do que 3% da massa total da Amostra;
- 2 - As porcentagens retidas individualmente não devem diferir mais do que 4% para amostras de mesma Origem;
- 3 - Os módulos de finura não devem variar mais do que 0,2 para o material de mesma origem;
- 4 - Determinar o módulo de finura com aproximação de 0,01.

As areias podem ser classificadas quanto ao seu módulo de finura (MF) em:

MF < 3,9: Muito Grossa

3,3 < MF < 3,9: Grossa

2,4 < MF < 3,3: Média

MF < 2,4: Fina

3. AGLOMERANTES

3.1. DEFINIÇÕES

Material ligante, geralmente pulverulento, que promove a união entre os grãos dos agregados. Os aglomerantes são utilizados na obtenção de pastas, argamassas, e concretos.

Apresentam-se sob a forma de pó e, quando misturados com água formam pastas que endurecem pela secagem e como consequência de reações químicas. Com o processo de secagem o aglomerante adere-se nas superfícies com as quais foram postas em contato.

Os aglomerantes são os produtos ativos empregados para a confecção de argamassas e concretos.

Os principais são: **cimento, cal aérea, cal hidráulica e gesso.**

No concreto, em geral se emprega **cimento portland**, que reage com a água e endurece com o tempo.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS AGLOMERANTES

3.2.1 AGLOMERANTES HIDRAULICOS

3.2.1.1 SIMPLES

São aglomerantes que reagem em presença de água. São constituídos de um único aglomerante, podendo ser misturados a outras substâncias, em pequenas quantidades, com a finalidade de regular sua pega.

Exemplo: CPC – Cimento Potland Comum

3.2.1.2 COMPOSTOS

São aglomerantes simples, porém, misturados com produtos tais como a Pozolana, Escórias, etc.

Exemplo: CPZ - Cimento Portlan Pozolânico

3.2.3 AGLOMERANTE MISTO

É a mistura de dois ou mais aglomerantes simples.

Exemplo: Cimento + cal

3.2.4 AGLOMERANTE AÉREO

Endurecem pela ação química ao CO₂ do ar.

Exemplo: Cal Aérea

3.3 PROPRIEDADES DOS AGLOMERANTES:

- **PEGA:** definida como sendo o tempo de início do endurecimento. A pega se dá, quando a pasta começa a perder sua plasticidade.
- **FIM DE PEGA:** o fim da pega se dá quando a pasta se solidifica totalmente, não significando, no entanto, que ela tenha adquirido toda a sua resistência, o que só será conseguido após anos.
- **COEFICIENTE DE RENDIMENTO:** Rendimento é o volume de pasta, obtido com uma unidade de volume de aglomerante.

$$Cr = \frac{V'}{Vt}$$

V' = Volume da Pasta e Vt = Volume do Aglomerante

ou,

$$Cr = \frac{d}{D} + a$$

d = densidade aparente, D = densidade absoluta,
 a = volume de água

3.4 CLASSIFICAÇÃO QUANTO A PEGA

3.4.1 Aglomerantes Aéreos

Endurecem pela ação química ao CO_2 do ar.

Exemplo: Cal Aérea

3.4.2 Aglomerantes Hidráulicos

Endurecem pela ação exclusiva da água, esse fenômeno é denominado hidratação.

Exemplo: Cal Hidráulica, Cimento Natural e Cimento Portland, Gesso.

3.4.3 Aglomerantes Inertes

Endurecem por secagem.

Exemplo: Argilas e Betumes.

3.5 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DOS AGLOMERANTES

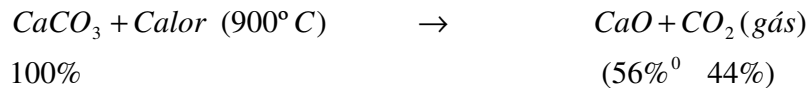
3.5.1 CAL

É o produto que se obtém com a calcinação, à temperatura elevada de uma única matéria-prima as rochas calcárias (CaCO_3) ou rocha magnésiana (MgCO_3), dolomita, que são as fontes dos óxidos que formam a cal. Essa calcinação se faz entre outras formas, em fornos intermitentes, construídos com alvenaria de tijolos refratários. Há dois tipos de cal utilizados em construções: hidratada (aérea) e hidráulica.

3.5.2 CAL HIDRATADA (Aérea)

A cal hidratada ou comum ou aérea é um aglomerante que endurece por reação com o CO_2 do ar, ao contrário da hidráulica, que exige o contato com a água.

A partir da "queima" da rocha calcária em fornos, **calcinação** a 900°C , obtém-se a "cal viva" ou "cal virgem".



Vê-se então, que uma tonelada de calcário dá origem a 560 kg de cal, dessa forma os 44% de CO₂ são perdidos sob forma de gás, que sai pelas chaminés das fábricas.

Esta não tem aplicação direta em construções, sendo necessário antes de usá-la, fazer a "extinção" ou "hidratação" pelo menos com 48 horas de antecedência.

A hidratação consiste em adicionar dois ou três volumes de água para cada volume de cal. Há forte desprendimento de calor e após certo tempo as pedras se esfurelam transformando-se em pasta branca, a que se dá o nome de "CAL HIDRATADA".



É nesta forma que tem sua aplicação em construções, sendo utilizada em argamassas na presença ou não de cimento para assentamento de tijolos ou para revestimentos.

Classificação:

As cales aéreas se classificam segundo dois critérios:

1) Quanto à composição química classificam-se em:

- Cal Cálcica – teor de MgO < 20%
- Cal Magnésiana – teor de MgO > 20%

Em ambos os casos, a soma de CaO e MgO deve ser maior que 95% e os componentes argilosos como a SiO₂ (sílica), Al₂O₃ (alumina) e Fe₂O₃ (óxido de ferro) somam no máximo 5%.

2) Quanto ao rendimento da pasta podem ser classificadas em:

- Cal gorda – são necessários menos de 550 kg de cal virgem para produzir 1 m³ de pasta, ou seja, 1 m³ de cal produz mais de 1,82 m³ de pasta
- Cal magra – são necessários mais de 550 kg de cal virgem para produzir 1 m³ de pasta, ou seja, 1 m³ de cal produz menos de 1,82 m³ de pasta

Propriedades da cal aérea:

- Cor branca;
- Endurece com o tempo pela ação do CO₂;
- Aumenta de 2 a 3 vezes de volume com a extinção;
- $\gamma = 0,5 \text{ kg/dm}^3$
- $\delta = 2,2 \text{ kg/dm}^3$
- Endurecimento lento

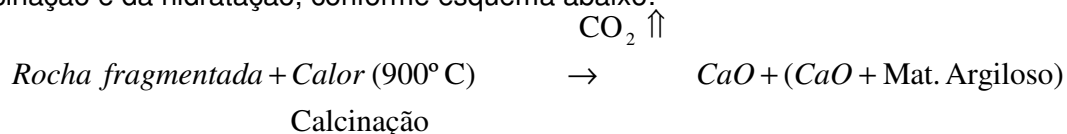
Utilização da cal:

- Argamassa simples e mista em alvenarias e revestimentos
- Preparo de tintas
- Concreto para reduzir permeabilidade e aumentar trabalhabilidade
- Tratamento de água
- Correção de acidez do solo (agricultura)

3.5.3 CAL HIDRÁULICA

Aglomerante obtido pela calcinação de rochas calcárias, que natural ou artificialmente, contenham quantidade apreciável de materiais argilosos. Tem a propriedade de endurecer sob a água, embora também sofra ação de endurecimento pela ação do CO₂ do ar.

A produção da cal hidráulica consiste da fragmentação da rocha calcária seguida da calcinação e da hidratação, conforme esquema abaixo:



Depois do cozimento, as pedras são umedecidas para a extinção (hidratação), com uma temperatura controlada na faixa de 150° C (o controle da extinção é bastante rigoroso caso contrário, a água em excesso combina-se com os silicatos e aluminatos). Neste processo a cal pulveriza-se.

Classificação:

$$\text{Sendo o grau de Hidraulicidade} = \frac{\%SiO_2 + \%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3}{\%CaO}$$

Pode-se classificar as cales em:

Grau de Hidraulicidade < 0,1 ⇒ Cal Aérea ⇒ Tempo de Endurecimento > 30 dias;

Grau de Hidraulicidade de 0,1 a 0,15 ⇒ Cal Fracamente Hidráulica ⇒ Tempo Endurecimento de 15 a 30 dias;

Grau de Hidraulicidade de 0,15 a 0,30 ⇒ Cal Medianamente Hidráulica ⇒ Tempo Endurecimento de 10 a 15 dias;

Grau de Hidraulicidade de 0,30 a 0,40 ⇒ Cal Hidráulica ⇒ Tempo Endurecimento de 5 a 10 dias;

Grau de Hidraulicidade de 0,40 a 0,50 ⇒ Cal Eminentemente Hidráulica ⇒ Tempo Endurecimento de 2 a 4 dias;

3.6 GESSO

Obtido a partir da desidratação total ou parcial da gipsita ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), material natural encontrado na natureza com algum teor de impurezas como a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3), o óxido de ferro (FeO), e o carbonato de cálcio ($CaCO_3$), sendo o teor máximo de impurezas limitado em 6%.

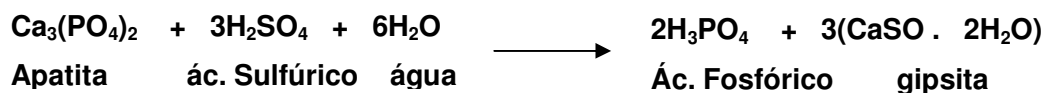
A gipsita é o tipo estrutural de gesso mais consumido na indústria cimenteira, encontra-se no estado natural em grandes jazidas sedimentares, geologicamente

denominadas de evaporitos. As principais jazidas economicamente exploradas encontram-se:

- a) na Serra de Araripina, em região confrontante dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí;
- b) na região de Mossoró, no Estado do Rio Grande do Norte; e
- c) nas regiões de Codó, Balsas e Carolina, no Estado do Maranhão.

As reservas nacionais de gesso natural cohecidas são suficientes para atender ao consumo, nos níveis atuais, por cerca de 1000 anos, porém a má distribuição geológica dos depósitos, restritos a Região Nordeste e as enormes proporções de rejeitos industriais da fabricação do ácido fosfórico no Sul e Sudeste do país motivaram a industrialização do fosfogesso ou gesso sintético, a partir de 1975.

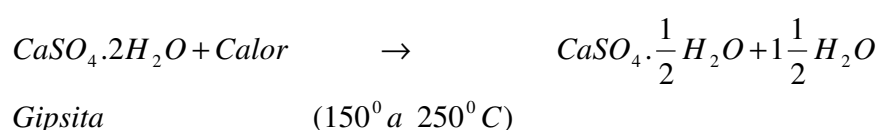
A reação química que permite a obtenção do ácido fosfórico a partir da apatita (minério natural de fosfato) é observada a seguir:



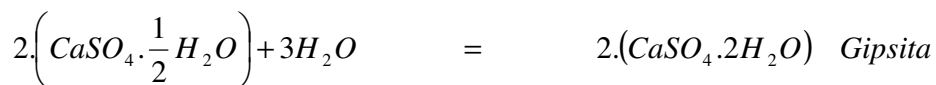
Frequentemente o minério fosfático está associado a impurezas, originando a presença no gesso sintético de produtos como fluoretos, fosfatos residuais e matéria orgânica que podem afetar o tempo de pega e as resistências mecânicas do cimento, daí a necessidade de purificação do fosfogesso.

A Gipsita natural é calcinada (queimada) em diferentes temperaturas dependendo do uso pretendido, classificando o gesso em:

- **Gesso rápido ou gesso de estucador:** obtido através da calcinação da gipsita a uma temperatura entre 150° e 250° C, através da equação:



Após a calcinação as pedras são moídas e confeccionadas as pastas para utilização. O endurecimento (ou “hidratação”) do gesso se dá pelo fenômeno reversível a calcinação, ou seja, a calcinação desidrata a gipsita retirando uma e meia molécula de água, enquanto o endurecimento da pasta de gesso ocorre por recebimento destas moléculas de volta, mecanismo descrito pela fórmula abaixo.



A quantidade de água necessária à hidratação do gesso é em torno de 18 % a 19%. A quantidade de água utilizada na produção de pasta e argamassa influencia sobremaneira o processo de endurecimento e ganho de resistência, sendo prejudicial tanto a falta como o excesso de água.

O processo de pega do gesso inicia com 2 a 3 minutos após a mistura com a água e termina 15 a 20 minutos após. Esse processo ocorre com liberação de calor (processo exotérmico). O processo de ganho de resistência do gesso pode durar semanas e é influenciado por:

- tempo e temperatura de calcinação da gipsita;
- finura do gesso;
- quantidade de água de amassamento (água utilizada na mistura);
- presença de impurezas.

Este tipo de gesso é muito utilizado para a fabricação de placas de gesso para forro.

Propriedades do gesso:

$$\gamma = 0,7 \text{ a } 1,0 \text{ kg/dm}^3$$

$$\delta = 2,7 \text{ kg/dm}^3$$

O gesso corrói o aço, por isso, não se pode reforçar o gesso a não ser com armaduras galvanizadas, fibras sintéticas, tecidos. O gesso é um isolante de tipo médio, podendo proteger a estrutura contra incêndios, absorvendo grande quantidade de calor.

Outros tipos de gesso podem ser produzidos e dependem do calor de calcinação empregado, como o gesso sulfato-anidro solúvel (250° a 400°C), o sulfato-anidro insolúvel (400° a 600°C) e o gesso hidráulico (900° a 1200°C).

3.7 CIMENTO

Material ligante pulverulento de cor acinzentada, resultante da queima do calcário, argila e posterior adição de gesso.

Distingue-se da cal hidratada por ter maior porcentagem de argila e pela pega dos seus produtos ocorrer mais rapidamente e proporcionar maior resistência a esforços mecânicos.

Obs: pega é um fenômeno físico-químico através da qual a pasta de cimento se solidifica. Terminada a pega o processo de endurecimento continua ainda durante longo período de tempo, aumentando gradativamente a sua dureza e resistência.

Exemplo: resistência à compressão de um bloco de argamassa de cimento e areia, traço 1:3 a 3 dias - 80 kg/cm², a 7 dias - 180 kg/cm² e a 28 dias - 250 kg/cm².

A pega sofre influência de diversos fatores, sendo retardada pelas baixas temperaturas, pelos sulfatos e cloretos de cálcio. É acelerada pelas altas temperaturas e pelos silicatos e carbonatos.

O cimento comum é chamado PORTLAND, havendo diferentes tipos no mercado: cimento de pega normal: encontrado comumente à venda; cimento de pega rápida: só a pedido; cimento branco: usado para efeito estético (azulejos, etc.).

Obs:

- O cimento de pega normal inicia a pega entre 0,5 e 1 hora após o contato com a água, onde se recomenda misturar pequenas quantidades de cada vez, de modo a essas serem consumidas dentro daquele espaço de tempo;

- O cimento não deve ser estocado por muito tempo, pois pode iniciar a pega na embalagem pela umidade do ar, perdendo gradativamente o seu poder cimentante. O prazo máximo de estocagem normalmente é de um mês.

3.8 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A PRODUÇÃO DO CIMENTO

O Cimento portland depende, principalmente, para sua fabricação, dos seguintes produtos minerais:

- Calcário;
- Argila e
- Gesso.

3.8.1 CALCÁRIO

O calcário é o carbonato de cálcio (CaCO_3) que se apresenta na natureza com impurezas como óxidos de magnésio (MgO).

Sabendo-se que a cal, que é verdadeiramente a matéria-prima que entra na fabricação do cimento. A dolomita fornece apenas 30,4% de CaO não é utilizada na fabricação do cimento portland.

3.8.2 ARGILA

A argila empregada na fabricação do cimento é essencialmente constituída de um silicato de alumínio hidratado, geralmente contendo ferro e outros minerais, em memores proporções. A argila fornece os óxidos SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 necessários ao processo de fabricação do cimento.

3.8.3 GESSO

O gesso é o produto de adição final no processo de fabricação do cimento portland, com a finalidade de regular o tempo de pega por ocasião das reações de hidratação dos sulfatos. É encontrado sob as formas de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), hemidrato ou bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) e anidrita (CaSO_4).

FABRICAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND

A fabricação do cimento portland envolve as seguintes etapas de operações:

- a) preparo e dosagem da mistura crua;
- b) homogeneização;
- c) cliquerização;
- d) esfriamento;
- e) adições finais e moagem; e
- f) ensacamento.

Preparo e dosagem da *Mistura Crua*

Preparo da *mistura crua*

A matéria-prima é extraída da jazidas pelos processos usuais de exploração de depósitos minerais.

O calcário pode apresentar-se com dureza elevada, exigindo o emprego de explosivos seguido de britagem, ou suficientemente mole, exigindo apenas emprego de desintegradores, para ficar reduzido ao tamanho de partículas de diâmetro máximo da ordem de 1cm.

As argilas contendo silicatos, alumina e óxido de ferro, normalmente, apresentam-se em condições de serem misturadas diretamente com o calcário.

Calcário e argilas, em proporções predeterminadas, são enviadas ao *moinho de cru* (moinho de bolas, de barras, de rolos) onde se processa o início da mistura íntima das matérias-primas e, ao mesmo tempo, a sua pulverização, de modo a reduzir o diâmetro das partículas a 0,050 mm, em média.

A moagem, conforme se trate de *via úmida* ou *seca*, é feita com ou sem presença de água.

Dosagem da *mistura crua*

A determinação da porcentagem de cada matéria-prima na mistura crua depende essencialmente da composição química das matéria-primas e da composição que se deseja obter para o cimento portland, quando terminado o processo de fabricação.

Durante o processo de fabricação, a matéria-prima e a mistura crua são analisadas, quimicamente, numerosas vezes, a intervalos de 1 hora e, às vezes, de meia em meia hora, e em face dos resultados dos ensaios, o laboratório indica as porcentagens de cada matéria-prima que deve compor a mistura crua.

São numerosos os métodos de controle da composição química da mistura crua, sendo as fórmulas seguintes as mais empregadas:

- módulo hidráulico (*Michaelis*)
- módulo de sílica
- Módulo de alumina-ferro

Nos cimentos nacionais, como resultado de numerosos ensaios, realizados em seu laboratório, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) encontrou os seguintes valores:

	Mín.	Máx.
MH	1,8	2,2
MS	1,7	3,1
MAF	1,2	3,2

Homogeneização

A matéria-prima devidamente dosada e reduzida a pó muito fino, após a moagem, deve ter a sua homogeneidade assegurada da melhor forma possível.

No processo de fabricação por via úmida, a matéria-prima é moída com água e sai dos moinhos sob a forma de uma pasta contendo geralmente de 30 a 40 % de água, e é bombeada para grandes tanques cilíndricos, onde se processa durante várias horas a operação de homogeneização. Os tanques de homogeneização são providos de equipamento que gira em torno de um eixo central e é constituído de uma série de pás

que giram, por sua vez, em torno de vários eixos ligados à árvore principal. A pasta, nessa fase de operação, é ensaiada várias vezes, a fim de se controlar a homogeneidade da mistura e a dosagem dos constituintes do cimento, o que permite a sua correção, se necessário.

No processo de fabricação por via seca a matéria-prima sai do moinho já misturada, pulverizada e seca.

Normalmente os moinhos de cru do sistema por via seca trabalham com temperaturas elevadas (300 - 400°C) no seu interior, o que permite secá-la (menos de 1 % de umidade). Para tal fim, são usados, em certos tipos de moinho, os gases de combustão do forno, antes de serem enviados ao filtro retentor de poeiras, e, em seguida à chaminé. O cru é transportado mecânica ou pneumaticamente para o silo homogeneizador, onde se assegura a homogeneização necessária da mistura e se corrige, eventualmente, a sua composição.

Clinquerização

A matéria-prima, uma vez pulverizada e intimamente misturada na dosagem conveniente, sofre o seguinte tratamento térmico, Quadro 2:

QUADRO 2

Temperatura	Processo	Reação
Até 100°C	Evaporação da água livre	endotérmica
500°C e acima	Desidroxilação dos minerais argilosos	
900°C e acima	Cristalização dos argilo-minerais decompostos	
900°C e acima	Decomposição do carbonato	
900°C a 1200°C	Reação do CaO com os silico-aluminatos	
1250°C a 1280°C	Início de formação da fase vítrea	
Acima de 1280°C	Formação de vidro e dos compostos do cimento (clinkerização)	

No processo por via úmida, todo o processamento termo-químico necessário à produção do clínquer se dá no forno rotativo.

No processo por via seca, até temperatura da ordem de 900°C a 1000°C, o processamento da mistura crua se dá em intercambiadores de calor do tipo ciclone ou de contra-corrente. O processamento restante realiza-se no forno, de comprimento reduzido, que recebe a mistura já na referida temperatura.

Esfriamento

No forno, como resultado do tratamento sofrido, a matéria-prima transforma-se em clínquer. Na saída, o material apresenta-se na forma de bolas de diâmetro máximo variável entre 1cm a 3cm. As bolas que constituem o clínquer saem do forno a uma temperatura da ordem de 1200°C a 1300°C, pois há um início de abaixamento de temperatura, na fase final, ainda no interior do forno.

O clínquer sai do forno e passa ao equipamento esfriador, que pode ser de vários tipos. Sua finalidade é reduzir a temperatura, mais ou menos rapidamente, pela passagem de uma corrente de ar frio no clínquer. Dependendo da instalação, na saída do esfriador o clínquer apresenta-se com temperatura entre 50°C e 70°C, em média.

O clínquer, após o esfriamento, é transportado e estocado em depósitos.

Adições Finais e Moagem

O clínquer portland assim obtido é conduzido à moagem final, recebendo, antes, uma certa quantidade de gesso, limitada pela norma, gesso esse destinado ao controle do tempo de início de pega.

O cimento portland de alta resistência inicial – NBR 5733 (EB-2) -, o cimento portland branco, o cimento portland de moderada resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS), e o cimento portland de alta resistência a sulfatos (ARS) – NBR 5737 (EB-903) – não recebem outros aditivos, a não ser o gesso.

O cimento portland de alto forno – NBR 5735 (EB-208) -, além de gesso, recebe 25 a 65% de escória básica granulada de alto forno.

O cimento portland pozolânico – NBR 5736 (EB – 758) – recebe, além do gesso, a adição de material pozolânico (cinza volante, argila calcinada ou pozolana natural), nos seguintes teores: de 10 a 40% para o tipo 250 e de 10 a 30% para o tipo 320.

para o cimento portland comum – NBR 5732 (EB-1) – é permitida a adição de escória granulada de alto forno num teor de até 10% de massa total do aglomerante.

O clínquer portland e seus aditivos passam ao moinho para a moagem final, onde se assegura ao produto a finura conveniente, de acordo com as normas.

Ensacamento

O cimento portland resultante da moagem do clínquer, com os aditivos permitidos, é transportado mecânica e pneumaticamente para os silos de cimento a granel, onde é estocado.

Após os ensaios finais de qualidade do cimento estocado, ele é enviado aos silos para a operação de ensacamento, operação feita em máquinas especiais que automaticamente enchem os sacos e os soltam assim que atingem o peso especificado de 50 Kg.

Muitas são as fábricas providas de equipamentos que permitem também a entrega do cimento a granel.

CLÍNQUER PORTLAND E SEUS COMPOSTOS ANIDROS

No interior do forno de produção de cimento, a sílica, a alumina, o óxido de ferro e a cal reagem dando origem ao clínquer, cujos compostos principais são os seguintes:

- silicato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $(\text{C}_3\text{S})^*$
- silicato dicálcico $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $(\text{C}_2\text{S})^*$
- aluminato tricálcico $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ $(\text{C}_3\text{A})^*$
- ferroaluminato tetracálcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ $(\text{C}_4\text{AF})^*$

Esses compostos formam-se no interior do forno quando a temperatura se eleva a ponto de transformar a mistura crua num líquido pastoso que, ao se resfriar, dá origem a substâncias cristalinas, como ocorre com os três primeiros produtos acima citados, e a um material intersticial amorfo contendo o C_4AF e outros.

Todos esses compostos têm a propriedade de reagir em presença da água, por hidrólise, dando origem, então, a compostos hidratados.

Composição Potencial

Os cimentos portland nacionais, segundo Ary F Torres tinham (1936-1938) a seguinte composição, dita potencial, calculada a partir do teor de óxidos do cimento, pela fórmula de BOGUE, abrangendo os 5 cimentos que eram fabricados naquela época :

C_3S - 42 a 60%

C_2S - 14 a 35%

C_3A - 6 a 13%

C_4AF - 5 a 10%

Em 1977, como resultado de centenas de ensaios realizados no laboratório da ABCP, em cimentos de produção brasileira, foram encontrados os seguintes valores para a composição potencial calculada pela fórmula de BOGUE:

C_3S - 18 a 66%

C_2S - 11 a 53%

C_3A - 2 a 20%

C_4AF - 4 a 14%

Em trabalho realizado pelo National Bureau of Standard (NBS)-EUA, com quase 200 amostras de cimento norte-americano, foram encontrados do mesmo modo os seguintes resultados:

C_3S - 20 a 70%

C_2S - 5 a 50%

C_3A - 1 a 15%

C_4AF - 1 a 17%

Constituintes Anidros do Clínquer

O C_3S , quando observado ao microscópio em superfícies polidas de clínquer, convenientemente tratadas, apresenta-se em cristais pseudo-hexagonais normalmente de contornos bem definidos.

O C_2S apresenta-se, no ensaio acima referido, sob a forma de cristais de forma arredondada e, às vezes, denteados.

O C_3A e o C_4AF apresentam-se como materiais intersticiais, preenchendo o espaço vazio deixado pelos cristais de C_3S e C_2S . O C_4AF apresenta-se como material intersticial claro.

O material intersticial escuro, quando de característica cristalina, identifica o C_3A . O material intersticial claro não cristalino é o vidro, material resultante do esfriamento brusco do clínquer e que se forma em lugar de uma cristalização total dos elementos presentes no clínquer (Ref. 4- pág.103 1º volume).

O vidro possuirá, total ou parcialmente, em dissolução, o MgO que não pode cristalizar-se sob a forma de periclásio, o que, entretanto, pode ocorrer se o esfriamento for lento.

O esfriamento brusco do clínquer se destina, sobretudo, a impedir a formação de periclásio, pois os cristais de periclásio do cimento portland poderão transformar-se em $Mg(OH)_2$ (hidróxido de magnésio ou brucita), quando o concreto que os contenha seja empregado em obras sujeitas à presença de umidade.

Composição Química do Cimento Portland

A análise química permite determinar a composição do cimento portland, dosando o teor de seus principais componentes químicos, que são os óxidos CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO e SO_3 .

Para a análise química prevista na especificação para cimento portland, existem métodos de ensaio aprovados em nosso País pela ABNT.

O Quadro 3, permite visualizar as variações de composição química dos cimentos brasileiros e americanos.

QUADRO 3

Composição química	Cimentos brasileiros		Cimentos americanos ⁽¹⁾ (%)
	em 1941 ⁽¹⁾ (%)	em 1977 ⁽²⁾ (%)	
CaO	61,0 a 67,0	58,9 a 66,8	60,0 a 67,5
SiO ₂	20,0 a 23,0	19,0 a 24,2	19,0 a 25,5
Al ₂ O ₃	4,5 a 7,0	3,9 a 7,3	2,5 a 8,0
Fe ₂ O ₃	2,0 a 3,5	1,8 a 5,0	0,0 a 5,5
MgO	0,8 a 6,0	0,5 a 6,3	0,0 a 5,0
SO ₃	1,0 a 2,3	0,9 a 3,0	1,2 a 3,0

Determinação da Composição Potencial do Cimento Portland

As principais propriedades do cimento portland decorrem da porcentagem dos seus constituintes cristalinos presentes, sendo, portanto, de alto interesse tecnológico o seu conhecimento.

A determinação daquelas porcentagens, ainda hoje, apesar dos grandes progressos técnicos, é uma operação que exige aparelhagem de alto preço (raio X) ou técnicos muito hábeis (microscópio mineralógico). R. H. Bogue, diretor de pesquisas da Portland Cement Association (PCA), introduziu na tecnologia dos cimentos (1929) um método baseado em leis estequiométricas da química, porém admitindo a cristalização integral dos componentes do clínquer portland. Pelo método de BOUGE, partindo-se da composição química do cimento, pode-se calcular a composição potencial, utilizando-se fórmulas* de fácil aplicação. Hoje essas fórmulas, com pequenas modificações, são apresentadas pela ASTM C – 150/77 da seguinte maneira:

quando:

$$\% C_3S = (4,071 \times \%CaO) - (7,600 \times \%SiO_2) - (6,718 \times \%Al_2O_3) - (1,430 \times \%Fe_2O_3) - (2,852 \times \%SO_3)$$

$$\% C_2S = (2,867 \times \%SiO_2) - (0,7544 \times \%C_3S)$$

$$\%C_3A = (2,650 \times \%Al_2O_3) - (1,692 \times \%Fe_2O_3)$$

$$\%C_4AF = 3,043 \times \%Fe_2O_3$$

Os cimentos portland nacionais de fabricação normal têm:

(fórmula)

Os cimentos portland de alta resistência a sulfatos (ARS) – NBR 5737 (EB-903) – podem apresentar:

(fórmula)

quando teoricamente o teor de C_3A for nulo.

No caso de clínquer que contenha muito vidro, em consequência de resfriamento brusco, as equações acima conduzem a erros às vezes superiores a 100%. Ary F. Torres assim se manifesta (ref. 2 – pag. 48):

“ Chega-se, assim à conclusão da presença de C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF nas proporções calculadas pelo método de BOGUE, no clínquer esfriado lentamente, sem material não cristalizado. O equilíbrio não é mantido durante o esfriamento, resultando que as proporções relativas dos diversos compostos presentes podem ser diferentes daquelas calculadas na base do equilíbrio completo e parte do líquido pode deixar de cristalizar-se, formando vidro. Dessa forma, a composição calculada pelo método de BOGUE não representará a realidade. Mesmo as fórmulas que levam em conta o vidro (LEA e PARKER em 1935, L. A. Dahb em 1938) não resolvem completamente o problema, por se desconhecer a quantidade exata de vidro formado e como se formou parte do líquido que cristalizou (com participação do sólido préexistente, em obediência ao diagrama de equilíbrio ou independentemente do sólido, devido à velocidade de esfriamento)”.

Cimento Portland

O cimento portland é um produto de características bem definidas em suas normas aprovadas, no Brasil, pela ABNT.

O clínquer de cimento portland, cujas propriedades já foram estudadas anteriormente, pode dar origem a vários tipos de cimento portland, alguns dos quais de fabricação corrente no Brasil, e que obedecem a normas técnicas específicas.

Cimentos Especiais

Esses tipos se diferenciam de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonáico e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentadas no processo de moagem. Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial, a cor branca etc. O próprio Cimento Portland Comum (CP I) pode conter adição (CP I-S), neste caso, de 1% a 5% de material pozolânico, escória ou fíler calcário e o restante de clínquer. O Cimento Portland Composto (CP II- E, CP II-Z e CP II-F) tem adições de escória, pozolana e filler, respectivamente, mas em proporções um pouco maiores que no CP I-S. Já o Cimento Portland de Alto-Forno (CP III) e o Cimento Portland Pozolânico (CP IV) contam com proporções maiores de adições: escória, de 35% a 70% (CP III), e pozolana de 15% a 50% (CP IV).

Aplicações dos tipos de cimento

1. Cimento Portland Comum CP I e CP I-S (NBR 5732)

Um tipo de cimento portland sem quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega) é muito adequado para o uso em construções de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. O Cimento Portland comum é usado em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Também é oferecido ao mercado o Cimento Portland Comum com Adições CP I-S, com 5% de material pozolânico em massa, recomendado para construções em geral, com as mesmas características.

2. Cimento Portland CP II (NBR 11578)

O Cimento Portland Composto é modificado. Gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento Portland Comum. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. Veja as recomendações de cada tipo de CP II:

a. Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozolânico)

- Empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. E para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável.

b. Cimento Portland Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno)

- Composição intermediária entre o cimento portland comum e o cimento portland com adições (alto-forno e pozolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland

Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos.

c. Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático - fíler)

- Para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.

3. Cimento Portland de Alto Forno CP III – (com escória - NBR 5735)

Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Mas é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundações de máquinas, pilares, obras em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

4. Cimento Portland CP IV – 32 (com pozolana - NBR 5736)

Para obras correntes, sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum, a

idades avançadas. Apresenta características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de concreto devido ao baixo calor de hidratação.

5. Cimento Portland CP V ARI - (Alta Resistência Inicial - NBR 5733)

Com valores aproximados de resistência à compressão de 26 MPa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria, blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade.

6. Cimento Portland CP (RS) - (Resistente a sulfatos - NBR 5737)

O CP-RS oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Pode ser usado em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, obras de recuperação estrutural e industriais, concretos projetado, armado e protendido, elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. De acordo com a norma NBR 5737, cinco tipos básicos de cimento - CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI - podem ser resistentes aos sulfatos, desde que se enquadrem em pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C_3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânico, em massa;
- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

7. Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) - (NBR 13116)

O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento.

8. Cimento Portland Branco (CPB) – (NBR 12989)

O Cimento Portland Branco se diferencia por coloração, e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-

primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos.

Exigências das Normas

As principais exigências, particularmente da NBR 5732 (EB-1/77), que interessam sobretudo ao consumidor de cimento, são a seguir indicadas:

Quanto à composição química

Perda de fogo

O ensaio de perda de fogo – NBR 5743 (MB-510) – se faz por diferença de pesagens de amostra de cimento portland elevada à temperatura de 900°C a 1000°C em cadinho de platina. Dessa forma mede-se:

- a) perda de água de cristalização – o que constitui uma indicação sobre o eventual início de hidratação do cimento;
- b) perda de CO₂ – se houve início de carbonatação (reação com o CO₂ do ar) ou se existir, misturado no cimento, pó de CaCO₃; e,
- c) a perda ao fogo é de, no máximo, 4,0% de acordo com a NBR 5732 (EB-1/77).

Resíduo Insolúvel

Com exceção dos cimentos pozolânicos, todos os outros tipos de cimento têm o resíduo insolúvel fixado em 1% nas respectivas normas – NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735 e NBR 5737 (EB-1, EB-2, EB-208 e EB-903). A determinação do resíduo insolúvel é feita pela NBR 5744 (método ABNT MB-511), mediante ataque pelo ácido clorídrico (HCl) diluído. Ora, os silicatos e aluminatos do clínquer portland e, também, das escórias de alto forno, são todos solúveis e, assim sendo, o resíduo insolúvel deve provir de outras fontes.

Trióxido de enxofre (SO₃)

O teor admitido varia de 3 a 4% conforme o tipo de cimento e sua determinação é feita pelo ensaio realizado de acordo com NBR 5745 (método ABNT MB-512). O clínquer portland, na fabricação dos diversos tipos de cimento portland, por ocasião da moagem final, recebe certa quantidade de gesso (CaSO₄ . 2H₂O), com o objetivo de regular o tempo de início de pega. O gesso, entretanto, influi poderosamente em outros característicos do cimento, como a retratação, resistência à compressão etc., tornando a operação de dosagem do gesso bastante delicada (Ref. 4 – págs. 316, 329 e 331 – 1º volume).

Óxido de magnésio (MgO)

Especificações para os diversos tipos de cimento portland fixam entre 6 e 6,5% o teor máximo admissível no cimento, quando ensaiado pela NBR 5749 (método ABNT MB-516). O MgO no cimento pode apresentar-se sob forma cristalina, denominada periclásio, ou dissolvida no vidro. O periclásio, quando presente em quantidade elevada (acima de 6%), segundo a opinião de alguns autores e quando o cimento for empregado em obras em contato frequente ou permanentemente com a água, pode transforma-se em brucita (Mg (OH)₂) com aumento de volume e possibilitando, em certos casos, a formação de fissuras no concreto. Estudos recentes parecem evidenciar que a pressão proveniente da formação de cristal hidratado de MgO é muito baixa e, portanto, tais cristais não podem se formar em peças de concreto sujeitas a tensões de compressão apreciáveis.

Quanto aos característicos físicos

Finura

As dimensões dos grãos do cimento portland podem ser avaliadas por meio de vários ensaios, porém, praticamente, só se utilizam os seguintes:

a) por peneiramento – NBR 7215 (ABNT MB-1): a peneira empregada no ensaio é a ABNT 0,075mm (nº 200) e deve satisfazer à norma NBR 5734 (EM-22). A norma indica para o CPC um resíduo máximo de 15% para os tipos 250 e 320, e máximo de 10% para o tipo 400;

b) pela superfície específica Blaine medida de acordo com a NBR 7224 (método ABNT MB-348), são os seguintes valores mínimos:

CPC tipo 250	2400 cm ² /g
POZ tipo 250	2500 cm ² /g
CPC tipos 320 e 400, AF tipo 250, MRS e ARS	2600 cm ² /g
AF tipo 320	2800 cm ² /g
POZ tipo 320	3000 cm ² /g
ARI	3000 cm ² /g

Início de pega

O tempo de início de pega determinado de acordo com a NBR 7215 (MB-1) deve ser, no mínimo, de 1 hora. Esse dado permite avaliar o tempo em que as reações que provocam o início do endurecimento do concreto, devido ao cimento empregado, não são perturbadas pelas operações de transporte, colocação nas formas e adensamento. Em obras especiais, como em barragens, cujo adensamento entre duas camadas contíguas toma mais tempo, usa-se, na fabricação do concreto, aditivo retardador de início de pega.

Fim de pega

O tempo de fim de pega determinado de acordo com a NBR 7215 (MB-1) deve ser, no máximo, de 10 horas. Esse ensaio é facultativo.

Expansibilidade – NBR 7215 (MB-1)

A presença de teor elevado de MgO no cimento poderá, em certos casos, provocar efeitos expansivos no concreto, o mesmo podendo ocorrer com a presença de cal livre (CaO) no clínquer.

Os efeitos eventualmente nocivos, devidos à presença anormal de MgO, CaO livre e, às vezes, CaSO₄ em excesso, são detectados de um modo global por meio de ensaios acelerados, dentre os quais, o das agulhas de Le Chatelier, previsto nas normas: NBR 5732, NBR 5733, NBR 5735, NBR 5736 e NBR 5737 (EB-1/77, EB-2/74, EB-208/74, EB-758/74, EB-903/77).

O ensaio é feito a frio e a quente, com pasta preparada com o cimento em exame, e o afastamento medido nas extremidades das agulhas deve ser inferior a 5 mm.

O ensaio a frio não é exigido pela NBR 5732 (EB-1/77). Trata-se de um ensaio simples (Ref. 5 – pág. 202):

- a) quando realizado a frio evidencia a presença de quantidade excessiva de cal livre, e/ou sulfato de cálcio; e,
- b) quando realizado a quente, indica presença anormal de cal livre e/ou magnésio, em forma de periclásio.

Resistência à compressão

A resistência à compressão é uma das características mais importantes do cimento portland e é determinada em ensaio normal descrito na NBR 7215 (MB-1).

Os cimentos CPC, AF, POZ, ARS, MRS e ARI devem apresentar, no mínimo, as seguintes resistências, Quadros 4 a 8:

Quadro 4 – Cimento portland comum (CPC)

	Tipo 250 Mpa (Kgf/cm ²)	Tipo 320 Mpa (Kgf/cm ²)	Tipo 400 Mpa (Kgf/cm ²)
a 3 dias	8 (80)	10 (100)	14 (140)
a 7 dias	15 (150)	20 (200)	24 (240)
a 28 dias	25 (250)	32 (320)	40 (400)

Quadro 5 – Cimento portland de alto forno (AF)

	Tipo 250 Mpa (Kgf/cm ²)	Tipo 320 Mpa (Kgf/cm ²)
a 3 dias	8 (80)	10 (100)
a 7 dias	15 (150)	18 (180)
a 28 dias	25 (250)	32 (320)

Quadro 6 – Cimento portland pozolânico (POZ)

	Tipo 250 Mpa (Kgf/cm ²)	Tipo 320 Mpa (Kgf/cm ²)
a 3 dias	7 (70)	10 (100)
a 7 dias	15 (150)	18 (180)
a 28 dias	25 (250)	32 (320)
a 90 dias	32 (320)	40 (400) (ensaio facultativo)

Quadro 7 - Cimento portland de alta resistência a sulfatos (ARS) e cimento portland de moderada resistência a sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS).

	ARS Mpa (Kgf/cm ²)	MRS Mpa (Kgf/cm ²)
a 3 dias	-	7 (70)
a 7 dias	10 (100)	13 (130)
a 28 dias	20 (200)	25 (250)

Quadro 8 – Cimento portland de alta resistência inicial (ARI)

	ARI MPa (Kgf/cm ²)
a 3 dias	11 (110)
a 7 dias	12 (120)
a 28 dias	31 (310)

O ensaio de resistência à compressão é feito em nosso País de modo diferente do adotado em outros países, pois o corpo de prova adotado é o cilindro de 5 cm x 10 cm, enquanto, na maioria dos países, se adota o cubo ou a metade de um pequeno prisma após ruptura por flexão (RILEN-CEMBUREAU, Ref. 5 – págs. 245 e 261).

O ensaio é feito com argamassa normal, de traço 1:3, com emprego de areia normal produzida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que deve satisfazer à norma ABNT 18:00-001. Hoje, estuda-se a substituição, em nosso

País, dessa areia pela areia normal (RILEM, Ref. 5 – pág. 244), que apresenta algumas vantagens.

A NBR 7215 (MB-1/78) fixa o fator água/cimento em 0,48 para o ensaio normal. Os resultados do ensaio de resistência realizado em cilindros apresentam o notável interesse de conduzirem a valores de resistência à compressão muito próximos dos obtidos em cilindros de concreto, em igualdades de condições: idade, fator água/cimento e qualidade dos agregados.

Hidratação do Cimento Portland

As questões técnicas relacionadas com a hidratação do cimento portland são extremamente complexas. Há, entretanto, alguns aspectos gerais que permitem que se forme uma idéia global da questão, encarada do ponto de vista de cristalização e das reações químicas.

Cristalização

Os compostos anidros do cimento portland reagem com a água (hidrólise), dando origem a compostos hidratados de duas categorias:

- a) compostos cristalinos hidratados; e,
- b) gel.

Em síntese, um grão de cimento que tenha cerca de 50 μ de diâmetro médio, entrando em contato com a água, começa, no fim de algum tempo, a apresentar, em sua superfície, sinais de atividade química, pelo aparecimento de cristais que vão crescendo lentamente e pela formação de uma substância gelatinosa que o envolve, ou seja o gel. O gel que se forma inicialmente possui uma porcentagem muito elevada de água e é designada por gel instável (o gel é uma gelatina, sendo o gel instável uma gelatina muito mole).

Os compostos cristalinos, para se desenvolverem, necessitam de água, que ao cabo de pouco tempo é inteiramente transformada em gel. O processo de desenvolvimento dos cristais se faz retirando a água do gel instável, que à medida que vai perdendo água, transforma-se em gel estável e torna-se responsável, em grande parte, pelas propriedades mecânicas de resistência das pastas hidratadas – endurecidas (Ref. 1 – Pág. 224).

Analisando com mais detalhe, constata-se que os principais compostos, silicatos tricálcicos e dicálcicos, durante a reação com água, liberam hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Os cristais que se formam apresentam-se com formas alongadas, prismáticas, ou em agulhas de monossilicatos de cálcio hidratados e de aluminatos hidratados.

Esses cristais aciculares acabam se entrelaçando à medida que avança o processo de hidratação, criando a estrutura que vai assegurar a resistência típica das pastas, argamassas e concretos. Os espaços vazios são preenchidos principalmente pelo gel, hidróxido de cálcio e água.

Inicialmente o aluminato entra em atividade e, logo a seguir, o C_3S ; esses dois elementos, para se hidratarem, retiram a água que necessitam do gel instável e a formação de cristais hidratados se inicia.

A medida que o tempo passa, o gel vai cedendo cada vez mais água até transformar-se, como já foi dito, em gel estável, com uma estrutura sub-cristalina que impede a saída de novas quantidades de água.

E o que é *gel*? Ainda há 30 anos, mais ou menos, suponha-se que o gel fosse um produto amorfo resultante da hidratação do cimento. Os ensaios de determinação de superfície específica BET por absorção de nitrogênio, e pela sua observação ao microscópio eletrônico, acabaram revelando ter o gel uma estrutura descontínua, possuindo pequenos cristais, talvez de C_3S_2 . aq., de dimensões da ordem de 15 Å e separados uns dos outros em média em 9 Å; esse espaço está cheio de água, dita não evaporável (tensão superficial da ordem de 250 MPa – 2500 Kgf/cm²). Na massa do gel há, entretanto, descontinuidades submicroscópicas, formando canalículos do gel, apresentando maiores dimensões que, entretanto, são ainda da ordem de 0,1 µm. Para se ter uma idéia da atividade dos vários compostos ao se hidratarem, é interessante observar o *Quadro 9* relativo à profundidade alcançada pela hidratação em microns com o tempo (Ref. 1 – pág. 210).

QUADRO 9 – Hidratação dos principais compostos do cimento

Tempo	C ₃ A	C ₂ S	C ₃ S
3 horas	4,35	1,68	-
1 dia	-	2,25	0,28
3 dias	5,68	-	-
7 dias	-	4,32	0,62
28 dias	5,68	4,44	0,83
5 meses	-	-	3,5

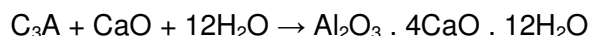
A inspeção do Quadro 9 acima evidencia que a resistência do cimento portland:

- até os 3 dias – é assegurada pela hidratação dos aluminatos e silicatos tricálcicos;
- até os 7 dias – praticamente pelo aumento da hidratação de C₃S;
- até os 28 dias – continua a hidratação do C₃S responsável pelo aumento de resistência, com pequena contribuição do C₂S; e,
- acima de 28 dias – o aumento de resistência passa a ser devido à hidratação de C₂S.

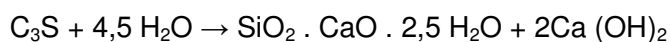
Reações químicas

Os compostos anidros do cimento portland reagem com a água, por hidrólise, dando origem a numerosos compostos hidratados. Em forma abreviada são indicadas algumas das principais reações de hidratação dos compostos do cimento:

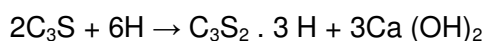
- O C₃A é o primeiro a reagir, da seguinte forma:



- O C₃S reage a seguir:



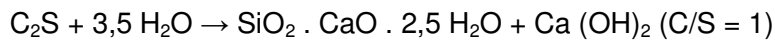
(228) (148)



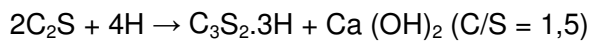
(100) (49)

dando origem ao silicatos monocálcicos hidratados.

c) O C_2S reage muito mais tarde, do seguinte modo:



(172) (74)



(100) (21)

Os silicatos de cálcio anidros dão, pois, origem a silicatos monocálcicos hidratados e ao hidróxido de cálcio, que cristaliza em escamas exagonais, dando origem à portlandita.

O silicato de cálcio hidratado apresenta-se com semelhança ao mineral natural denominado tobermorita e como se parece com um gel é denominado gel de tobermorita.

Porém, a composição do silicato hidratado depende da concentração em cal da solução em que ele está em contato. Em presença de uma solução saturada de cal, o silicato de cálcio hidratado passa a ser $1,7 CaO \cdot SiO_2 \cdot Ag$ (Ref. 8 – Pág. 20).

CIMENTOS PORTLAND COM ADIÇÕES ATIVAS

Como já foi indicado anteriormente, o clínquer portland pode ser moído com adição de, além de gesso, um material que possua propriedades hidráulicas, por si só ou quando em contato com o hidróxido de cálcio formado na hidratação do cimento.

As adições ativas mais comumente empregadas são as seguintes:

a) Escórias granuladas de alto forno

A escória granulada de alto forno “é o subproduto do tratamento de minério de ferro em alto forno, obtido sob forma granulada por esfriamento brusco e constituído em sua maior parte de silicatos e alumínio-silicatos de cálcio”. A sua composição química deve obedecer à relação, fixada na norma NBR 5735 (EB – 208) da ABNT (seção 2.3.1):



Isto significa que as escórias destinadas à fabricação de cimento devem ser alcalinas e não ácidas. Somente as escórias alcalinas possuem por si só características de hidráulidade e isto acontece pelo fato de terem uma composição química que permite a formação de componentes capazes de produzirem, por resfriamento brusco, um estado

vítreo com propriedade hidráulicas latentes. A natureza do processo no alto forno e o estado físico da escória são fatores decisivos para o desenvolvimento das propriedades hidráulicas da escória granulada (ref. 10 – pag. 1).

Exemplos de análise química de escória granulada de alto forno (Ref. 10 – pág. 5).

SiO₂ 35,54 36,10

Al₂O₃ 12,46 11,18

Fe₂O₃ 0,40 0,41

CaO 41,64 43,19

MgO 6,01 5,59

MnO 1,94 1,62

S 1,42 1,33

99,41 99,42

Índice 1,27 1,22

hidráulico

b) Pozolanas

A norma NBR 5736 (EB-758) – Cimento Portland Pozolânico define na seção 2.3.1:

Pozolana “é o material silicoso ou sílico-aluminoso, que por si só possui pouco ou nenhum valor aglomerante, porém, quando finamente dividido e em presença de umidade reage quimicamente com hidróxido de cálcio, à temperatura normal, formando compostos com propriedades aglomerantes”.

E na seção 2.3.2: “os materiais pozolânicos empregados na fabricação do cimento portland pozolânico são os seguintes:

- pozolanas naturais – como algumas terras diatomáceas, rochas contendo minerais de opala, tufo e cinzas vulcânicas;
- pozolanas artificiais – obtidas pela calcinação conveniente de argilas e xistos argilosos;
- Cinzas volantes – resultantes da combustão de carvão mineral, usualmente das usinas termelétricas”.

Os métodos brasileiros para a determinação da atividade pozolânica são:

- NBR 5751 (MB-960/72) - método de determinação de atividade pozolânica em pozolanas;

- NBR 5752 9 MB-1153/77) – determinação do índice de atividade pozolânica em cimento portland; e,
- NBR 5753 (MB – 1154/77) - método de determinação de atividade pozolânica em cimento portland pozolânico.

Cimento Portland de Alto Forno – NBR 5735 (EB-208/74)

O cimento portland de alto forno, de acordo com a NBR 5735 (EB-208), é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem de *clínquer portland e escória granulada de alto forno*, com adição eventual de sulfato de cálcio.

O conteúdo de escória granulada de alto forno deve estar compreendido entre 25% e 65% da massa total.

Como já vimos anteriormente, as residências obtidas em ensaio normal dos cimentos portland de alto forno são semelhantes às do cimento portland comum, nas idades de 3, 7 e 28 dias ocorrendo, entretanto, maior incremento de resistência de 28 dias para 90 dias.

Devido à adição de apreciável quantidade de escória de alto forno, o cimento portland resultante é obtido com um consumo de combustível proporcionalmente menor, o que representa uma grande economia de combustível.

O cimento portland de alto forno é de emprego generalizado em obras de concreto simples, concreto armado e protendido. Além disso, considera-se indicado o seu emprego em concreto exposto a águas agressivas com água do mar e sulfatadas, dentro de certos limites.

“E emprego de cimento portland de alto forno em obras marítimas, sobretudo em países tropicais ou sub-tropicais, e em terrenos com águas sulfatadas, é justificado pelo fato de possuírem pequena proporção de aluminato tricálcico e maior proporção de silicatos de cálcio de menor basicidade, que produzem na hidratação menor quantidade de hidróxido de cálcio”.

6.2 Hidratação dos Cimentos Portland de Alto Forno

O mecanismo de hidratação dos CP-AF é muito mais complexo do que o do CP-C, devido à presença de componentes na escória de alto forno, diferentes dos existentes no clínquer portland.

Na escória de alto forno (Ref. 11 – pag. 6) são encontrados cristais de silicatos duplos de cálcio e alumínio (gehlenita) e de cálcio e magnésio, que se apresentam como monticellita, akermanita, merwinita, além dos silicatos monocálcicos e dicálcicos. O poder hidráulico da escória (Ref. 10 – pág. 6), estando em estado latente, exige a presença de pequena quantidade de um componente químico, que possa atuar como catalizador, para despertar toda a sua atividade hidráulica e transformá-la em energia dinâmica.

O componente que atua neste caso é o hidróxido de cálcio, libertando durante a hidratação dos silicatos componentes do clínquer.

É importante esclarecer que a escória utilizada na fabricação de cimento é alcalina e, portanto, não em ação pozolânica, isto é, não tem condições de combinar com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do clínquer; o hidróxido de cálcio age apenas como catalizador básico, para despertar a ação hidráulica dos componentes da escória que se encontram em estado latente.

6.3 Cimento Portland Pozolânico - NBR 5736 (EB – 758/74)

O cimento portland pozolânica, de acordo com a NBR 5736 (EB – 758/74), é o aglomerante hidráulico obtido pela moagem da mistura de clínquer portland e pozolana, em adição durante a moagem de outra substância a não ser uma ou mais formas do sulfato de cálcio.

De acordo com a seção 3.1 da norma acima citada, o teor de pozolana é de 10% a 40% da massa total do cimento portland pozolânico para o tipo 250 e 10% a 30% da massa total do cimento pozolânico para o tipo 320.

As pozolanas ativas, quando adicionadas dentro dos limites acima indicados, dão origem a cimentos portland pozolânicos de resistências comparáveis aos demais tipos de cimento portland comum e conduzem, também, a cimentos com aumento de resistência muito maior, de 28 dias para 90 dias.

Devido à adição de pozolana, o cimento portland pozolânico também conduz, em sua produção, apreciável economia de combustível.

O cimento portland pozolânico é de emprego generalizado no concreto não havendo contra-indicação quanto ao seu uso, desde que respeitadas as suas peculiaridades, principalmente quanto às menores resistências nos primeiros dias e a necessidade consequente de cuidadosa cura.

O seu emprego é aconselhável quando se emprega agregados alcalireativos, pois as reações expansivas possíveis são inibidas.

Hidratação do Cimento Portland Pozolânico

As pozolanas (Ref. 11 – Pág. 2) são materiais que, não possuam por si só propriedades hidráulicas, são capazes de se combinar com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente e em presença d'água, dando origem à compostos que possuem propriedades hidráulicas.

Assim, o hidróxido de cálcio liberado por ocasião da hidratação dos silicatos de cálcio do clínquer portland, em grande quantidade (cerca de metade da massa dos silicatos existentes no clínquer) nos cimentos portland pozolânicos, reage com a pozolana, dando origem a compostos hidratados estáveis, do mesmo tipo dos que se formam na hidratação dos silicatos do clínquer (silicatos de cálcio hidratados – CSH), porém distintos, pois têm menor relação CaO/Si_2 , portanto, menos básicos e por essa razão quimicamente mais estáveis aos meios agressivos.

7. Cimento Portland Branco

O cimento portland branco é um cimento portland comum, produzido com matéria-prima que não apresente coloração prejudicial à sua brancura característica.

Assim, reduz-se ao mínimo o teor de ferro, sendo evitado o emprego de argilas que contenham ferro e outros elementos como manganês, magnésio, titânio etc.

Os óxidos de ferro usados na fabricação do cimento são fundentes e, portanto, reduzem a temperatura de clinquerização. No caso dos cimentos brancos, devido a ausência de fundente, a clinquerização se dá a temperaturas mais elevadas, da ordem de

1500 °C, acarretando o emprego, no forno, de refratários de maior custo, além de exigir maior consumo de combustível.

O cimento portland branco apresenta resistência à compressão elevada, mais seu emprego geralmente visa fins estéticos e como matéria-prima na fabricação de tintas. Guias e sarjetas revestidas de argamassa de cimento branco têm o seu uso indicado no interior de túneis, sub-solo de edifícios etc.

8. CONCLUSÃO

O Brasil já produz os principais tipos de cimento portland que foram estudados nas páginas anteriores. Outros tipos de cimento são fabricados e utilizados em outros países, cabendo destacar principalmente:

- a) o cimento aluminoso; e ,
- b) o cimento portland de expansão controlada.

O cimento aluminoso dá origem a um concreto de muito alta resistência inicial e de alta resistência à temperaturas elevadas.

O cimento portland de expansão controlada, como o nome indica, é um cimento que permite a produção de concreto sem retração, podendo mesmo apresentar pequena expansão. O uso desses cimentos, por enquanto, está restrito aos Estados Unidos, Rússia e Japão.

4 ARGAMASSA

4.2 DEFINIÇÕES

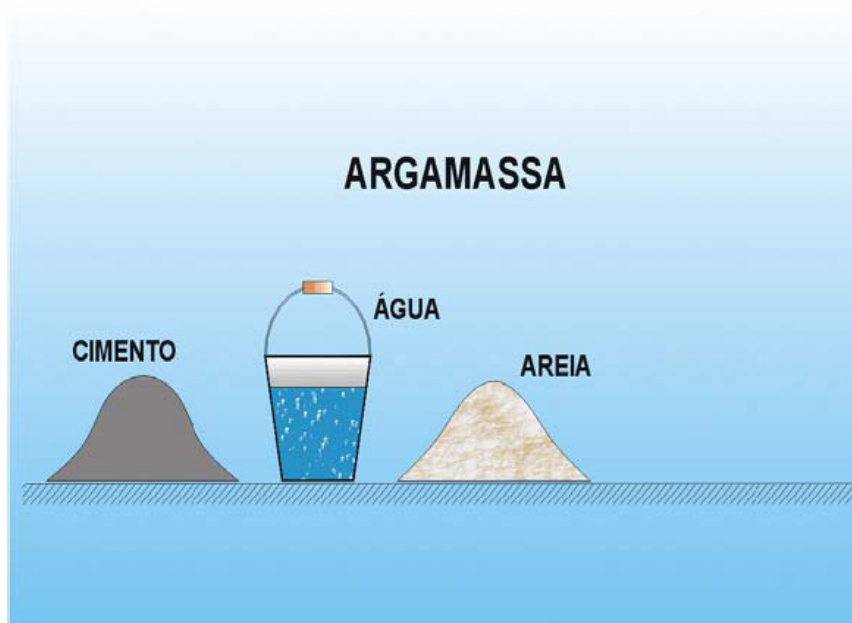
Na construção civil conceitua-se argamassa como um material complexo, constituído essencialmente de materiais inertes de baixa granulometria – agregado miúdo – e de uma pasta com propriedade aglomerantes. Esta pasta é composta de aglomerantes minerais e água. Eventualmente, fazem parte de sua composição produtos especiais, denominados aditivos.

As argamassas distinguem-se por apresentarem características plásticas, e adesivas quando de sua aplicação e por tornarem-se rígidas e resistentes após um certo período de tempo. Estes fatos determinam seus principais empregos na construção civil. Assim, as argamassas se prestam para a moldagem de elementos, para a aderência de outros elementos, para a proteção física e mecânica de componentes, etc.

No Brasil, tradicionalmente são utilizados como agregados inertes: areia silicosa e quartzosa (lavada, lavadinha, de rio); areia siltosa e argilosa (de caca, de mina, de barranco); pedriscos (“areia artificial” originária de rochas britadas) e em argamassas especiais, diversos outros (carbetos de sílico, micas, pó de pedra, pó de mármore, argilas refratárias, etc).

Os aglomerantes mais empregados são: a cal aérea (cal hidratada ou então a cal extinta em obra), o cimento Portland (comum, branco) e o gesso. Está sendo introduzido no mercado o cimento para alvenaria (“masonry cement”) de larga utilização em outros países como aglomerante específico para argamassas.

A utilização de aditivos ainda não se generalizou. De uso corrente destacamos os impermeabilizantes de massa (Vedacit, Sika 1, etc.) e os que melhoram a adesividade (Bianco, Sika-Flex, etc.). As argamassas especiais – classificadas em 1.2.1. como outras – geralmente empregam aditivos dos mais diversos tipos.



Argamassa = Cimento + Água + Agregado muido

FIGURA 5.2 – Pasta de Cimento

4.3 PASTAS

Resulta das **reações químicas** do **cimento com a água**. Quando há água em excesso, denomina-se **nata**.

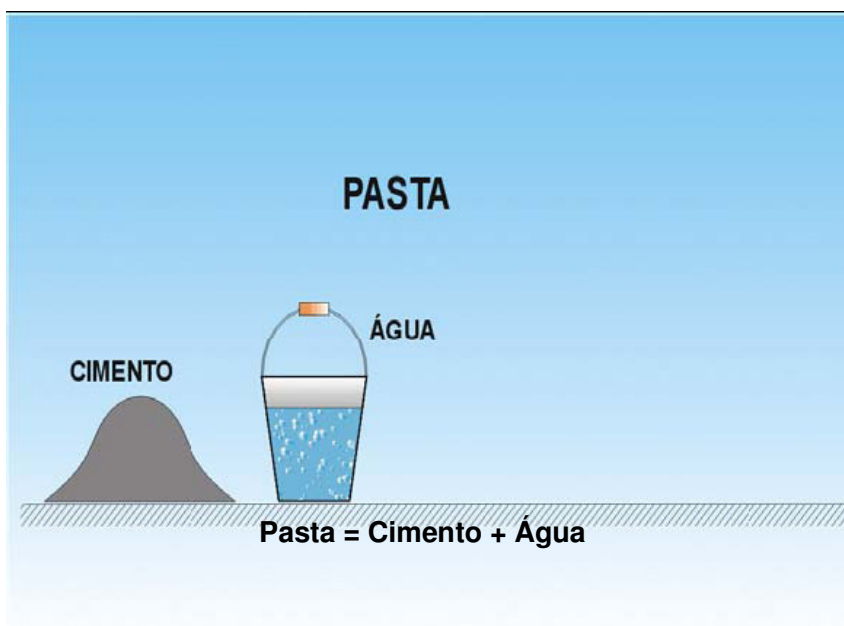


FIGURA 5.1 – Pasta de Cimento

ARGAMASSAS:

São misturas íntimas de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água. Além dos componentes essenciais da argamassa, podem vir adicionados outros, com o fim de conferir ou melhorar determinadas propriedades.

PASTAS: São misturas de aglomerantes mais água. As pastas são pouco usadas, devido ao seu preço elevado, e aos efeitos secundários causados pela retração. As pastas são pouco usadas devido ao seu alto custo e aos efeitos secundários causados pela retração.

NATAS: São pastas preparadas com excesso de água.

Os aglomerantes podem ser utilizados isolados ou adicionados a materiais inertes. Quando misturamos a uma pasta um agregado miúdo, obtemos o que se chama de argamassa. As argamassas são assim constituídas por um material ativo - o aglomerante – e um material inerte - o agregado.

A adição do agregado miúdo à pasta, no caso das argamassas de cimento, barateia o produto e elimina em parte as modificações de volume; no caso das argamassas de cal, a presença da areia, além de oferecer as vantagens acima apontadas, ainda facilita a passagem de anidrido carbônico do ar, que produz a recarbonatação do hidróxido de cálcio.

As argamassas são empregadas para assentamento de tijolos, blocos, azulejos, etc. Servem ainda para revestimento das paredes e tetos, e nos reparos de peças de concreto. A escolha de um determinado tipo de argamassa está condicionada às exigências da obra.

De um modo geral, as argamassas devem satisfazer as seguintes condições, dependendo de sua finalidade;

- Resistência mecânica;
- Compacidade;
- Impermeabilidade;
- Constância de volume;

- Aderência;
- Durabilidade.

Para a obtenção de um produto de boa qualidade, é necessário que todos os grãos do material inerte sejam completamente envolvidos pela pasta como também a ela estejam perfeitamente aderidos; além disso, os vazios entre os grãos do agregado devem ser inteiramente cheios pela pasta.

2.2 - Classificação das argamassas:

Dependendo do ponto de vista considerado, podemos apontar várias classificações para as argamassas. Algumas estão citadas a seguir.

2.2.1 - Classificação segundo o emprego:

Comuns quando se destinam as obras correntes, podendo ser:

- Argamassas para rejuntamento nas alvenarias.
- Argamassas para revestimentos;
- Argamassas para pisos;
- Argamassas para injeções.

2.2.2 - Classificação segundo o tipo de aglomerante:

- **Argamassas aéreas:** Cal aérea, gesso, etc.
- **Argamassas hidráulicas:** Cal Hidráulica e cimento;
- **Argamassas mistas:** Argamassa com um aglomerante aéreo e um hidráulico.

2.2.3 - Classificação segundo a dosagem.

- **Pobres ou magras:** Quando o volume de aglomerante é insuficiente para encher os vazios do agregado.
- **Cheias:** Quando os vazios do agregado são preenchidos exatamente pela pasta.
- **Ricas ou gordas:** Quando houver excesso de pasta.

Argamassas refratárias, quando devem resistir a elevadas temperaturas.

PREPARO DAS ARGAMASSAS:

1. Coeficiente de Rendimento: volume de pasta obtido com uma unidade de volume deste aglomerante.

♦ **Densidades Aparentes (d):**

Cimento solto: 1,22

Cimento compacto: 2,70

Cimento na obra: 1,42

Cal Aérea em pedras: 1,00

Gesso: 0,85

♦ **Densidades Absolutas (D):**

Cimento: 3,05

Cal Aérea: 2,20

Gesso: 2,50

♦ **Quantidades Unitárias de Água (a):**

Para o Cimento: 0,43

Para a Cal: 1,20

Para o Gesso: 0,52

♦ *Coefficientes de Rendimento (Cr):*

Para o Cimento:

$$Cr = \frac{d}{D} + a = \frac{1,42}{3,05} + 0,43$$

$$Cr = 0,89$$

Para a Cal :

$$Cr = \frac{d}{D} + a = \frac{1,00}{2,20} + 1,20$$

$$Cr = 1,65$$

Para o Gesso:

$$Cr = \frac{d}{D} + a = \frac{0,85}{2,50} + 0,52$$

$$Cr = 0,86$$

Isto quer dizer, que:

- 1 m³ de Cimento em pó, fornece 0,89 m³ de pasta de Cimento, quando se junta 430 ml de água;
- 1 m³ de Cal em pedras, fornece 1,65 m³ de pasta de Cal, (Nata), quando se junta 1200 ml de água;
- 1 m³ de pó de Gesso fornece 0,86 m³ de pasta de Gesso, quando se junta 520 ml de água.

Ou seja, que quantidade de aglomerante é necessária para se gerar 1 m³ de pasta:

a. **Cimento:**

$$\frac{1}{0,89} = 1,123 \text{ m}^3 \text{ de Cimento}$$

b. **Cal:**

$$\frac{1}{1,65} = 0,606 \text{ m}^3 \text{ de Cal}$$

c. **Gesso:**

$$\frac{1}{0,86} = 1,163 \text{ m}^3 \text{ de Gesso}$$

Multiplicando-se esses volumes pela Densidade Aparente, obtém-se os pesos necessários para formação de 1 m³ de Pasta:

Argamassa para fundação			
Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Camada de nivelamento (regularização)	1 lata de cimento 3 latas de areia	Variável	A argamassa não deve ser muito mole
Assentamento dos blocos de concreto do baldrame (sapata corrida)	1 lata de cimento ½ lata de cal 6 latas de areia	30 m ²	O bloco-canaleta é o mais indicado para esse tipo de fundação
Argamassa com impermeabilizante	1 lata de cimento 3 latas de areia 1 kg de impermeabilizante	10 m lineares de fundação	Siga as instruções que vêm na lata do impermeabilizante. Use a mesma argamassa para assentar as duas primeiras fiadas da parede

3) Aglomerantes:

a) Argamassas de cal:

Podem ser usadas no traço 1:3 ou 1:4 de cal e areia para assentar tijolos e no primeiro revestimento de paredes (emboço), devendo nestes casos a areia ser média. Para o revestimento fino (reboco) usa-se o traço 1:1, sobre o emboço. Neste caso a areia deve ser fina e peneirada, assim como a cal.

Para melhorar a impermeabilidade e a resistência destas, pode-se acrescentar 50 a 100 kg de cimento por m³ de argamassa.

Argamassas de cal podem ser preparadas em grandes quantidades, utilizando-se durante toda obra (pega lenta).

b) Argamassas de gesso:

Obtem-se adicionando água ao gesso, aceitando-se também pequena porcentagem de areia. A principal utilização é em interiores, na confecção de ornamentos ou estuque. Assim seu uso em construção rural é muito reduzido.

c) Argamassas de cimento:

Podem ser usadas em estado de pasta (cimento e água) para vedações ou acabamentos ("nata") de revestimentos, ou com adição de areia.

A adição de areia torna-as mais econômicas e trabalháveis, retardando a pega e reduzindo à retração.

Devido à pega rápida do cimento (em torno de 30 minutos) as argamassas com esse aglomerante devem ser feitas em pequenas quantidades, devendo ser consumidas neste período.

4) Utilização:

Para assentar tijolos e mesmo para o emboço pode-se usar argamassa 1:8 de cimento e areia ou cimento e saibro. A argamassa de cimento e areia 1:8 costuma ficar muito árida, com pouca plasticidade. Isso pode ser melhorado com a adição de cal (argamassa composta) ou mesmo adicionando 10 % de terra vermelha peneirada. Tacos de cerâmica podem ser assentados com argamassa 1:4 de cimento e areia. Tijolos laminado ou concreto armado (superfície lisa) devem ser chapiscados com argamassa "branda" de cimento e areia 1:6, melhorando a aderência da superfície. Argamassas 1:3 de cimento e areia são utilizadas para revestimentos de pisos.

5) Mistura ou preparo:

Sobre um estrado de madeira coloca-se o material inerte (areia ou saibro) em formato de cone e sobre este coloca-se o aglomerante. Misturar com auxílio de uma enxada até haver uniformidade de cor. Refazer o cone, abrindo-se a seguir um buraco no topo, onde se adiciona a água em porções. Mistura-se com a enxada, sem deixar escorrer a água até a homogeneidade da mistura.

Em argamassas compostas de cimento, cal e areia, o cimento é colocado na hora da utilização, à argamassa previamente misturada de cal e areia.

Máquinas podem ser utilizadas no preparo de argamassa, porém só compensam economicamente, em grandes obras.

Quantidade de tijolos e blocos (Parede de Meia)

Tipo	Quantidade por m ² de parede	Dica
Blocos de concreto (10 cm x 20 cm x 40 cm)	13 blocos	Para saber o total de m ² de parede, some o comprimento de todas as paredes e multiplique pela altura (pé-direito). Compre um pouco a mais por causa das quebras
Tijolos de barro maciço (5 cm x 10 cm x 20 cm)	92 tijolos	
Tijolos cerâmicos com 6 ou 8 furos (10 cm x 20 cm x 20 cm)	23 tijolos	

Argamassa para assentamento

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Paredes de blocos de concreto	1 lata de cimento ½ lata de cal 6 latas de areia	30 m ²	As duas primeiras fiadas devem ser assentadas com argamassa com impermeabilizante (veja na tabela de Argamassa para fundação da pág. 8). Os devem estar secos para o assentamento
blocos			
Paredes de tijolos de barro maciço	1 lata de cimento 2 latas de cal 8 latas de areia	10 m ²	
Paredes de tijolos cerâmicos com 6 ou 8 furos		16 m ²	

Argamassas para revestimento

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Chapisco	1 lata de cimento 3 latas de areia	30 m ²	O chapisco é a base do revestimento. Sem ele, as outras camadas de acabamento podem descolar da parede ou do teto. Em alguns casos, como em muros, pode ser o único revestimento. A camada de chapisco deve ser a mais fina possível
Emboço grossa)	1 lata de cimento 2 latas de cal 8 latas de areia	17 m ²	O emboço serve para (massa regularizar a superfície da parede ou do teto. Sua espessura deve ser de 1 cm a 2,5 cm
Reboco (massa fina) peneirada	1 lata de cimento 2 latas de cal 9 latas de areia	35 m ²	Esta camada de acabamento final da parede ou do teto deve ser a mais fina possível
Assentamento de azulejos	1 lata de cimento 1 ½ lata de cal 4 latas de areia	7 m ²	Os azulejos são assentados sobre o emboço (massa grossa). Eles devem ficar mergulhados na água, no mínimo, de um dia para o outro, antes de serem assentados. Para o rejuntamento dos azulejos, utilize uma pasta de cimento branco com alvaiade, mas aguarde três dias para a argamassa de assentamento secar

Argamassas para pisos

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Cimentado	1 lata de cimento 3 latas de areia	4 m ² (com espessura de 2,5 cm)	O cimentado liso é o acabamento de piso mais econômico. Pode ser queimado com pó de cimento e colorido com pó corante. Alise a superfície com uma desempenadeira metálica
Tacos	1 lata de cimento 3 latas de areia	4 m ²	Para rejuntar ladrilhos e cerâmica, utilize uma pasta de cimento, mas aguarde um dia para a argamassa de assentamento secar. Ladrilhos e cerâmica devem ficar na água, no mínimo, de um dia para o outro, antes de serem assentados
Ladrilhos e cerâmica	1 lata de cimento 1 ½ lata de cal 4 latas de areia	7 m ²	

Obs.: Argamassas podem ser encontradas prontas e ensacadas, bastando adicioná-lhes água.

Exemplos comerciais: Super Reboquit, Super Rebotex, com SH, Quartzolit, Rebodur, etc.

2.3 - Propriedades das argamassas.

Trabalhabilidade: - A determinação do traço e conseqüentemente da quantidade de cal que deve entrar na composição de uma argamassa deve estar orientada tendo em vista o aspecto da mistura. As argamassas para revestimentos deverão apresentar-se como uma massa coesa que possui uma trabalhabilidade apropriada. As argamassas de cal são muito mais coesas do que as de cimento de mesmo traço, pois elas necessitam de menos aglomerantes que as de cimento tornam-se mais trabalháveis pela adição de cal. As argamassas de cal retêm por mais tempo a água de amassamento.

Resistência mecânica - as argamassas de cal são pouco resistentes, sua resistência à compressão aos vinte e oito dias varia de 0,2 a 0,6 Mpa podendo-se tomar um valor médio de 0,4 Mpa.

Retração - As argamassa de cal apresentam redução de volume que será maior se as porcentagens de água e cal forem elevadas. A ocorrência de fissura nas argamassas de cal recém-colocadas é devido à secagem muito rápida pela ação do sol e do vento. As fissuras surgirão também quando a retração da argamassa endurecida for impedida.

Estabilidade de volume - Os defeitos que podem ocorrer no reboco são devido à ação do intemperismo ou devidos à falta de estabilidade de volume.

Resistência ao intemperismo - as argamassas de cal aérea não resistem à água, por isso nos revestimentos externos deve-se empregar argamassas de cal hidráulica ou de cimento.

Resistência à ação do fogo: As argamassas de cal resistem a elevadas temperaturas, servindo como proteção dos elementos construtivos de madeira, aço, concreto, etc.

Revestimento de gesso puro: A pasta de gesso na proporção de dez quilos de gesso para 6 a 7 litros de água serve para revestimento interno a execução de placas e blocos para divisões internas. As argamassas de gesso também servem para revestimento internos.

Argamassas hidráulicas - as argamassas hidráulicas resistem à ação da água e resistem satisfatoriamente quando imersas na água. As argamassas hidráulicas mais comuns entre nós são preparadas com cimento portland.

Argamassa de revestimento - Patologias

Diversos fatores podem afetar o desempenho das argamassas de revestimento e provocar patologias, trazendo prejuízos às edificações. Quando isso ocorre, as argamassas deixam de cumprir suas funções, entre elas a de proteção das alvenarias contra intempéries, resistência à umidade e isolamento térmico e acústico. As causas de patologias vão desde a qualidade dos agregados e aglomerantes utilizados até problemas com o traço, má execução do revestimento e agentes externos como umidade, movimentação higrotérmica do revestimento, tintas e outros.

As 10 patologias mais comuns nas argamassas de revestimento

1. Eflorescência
2. Bolor
3. Vesículas
4. Descolamento com empolamento
5. Descolamento em placas duras

6. Descolamento em placas quebradiças
7. Descolamento com pulverulência
8. Fissuras horizontais
9. Fissuras mapeadas
10. Fissuras geométricas

Eflorescência – Manchas de umidade, pó branco acumulado sobre a superfície.

- **Causas prováveis:** umidade constante ou infiltração, sais solúveis presentes no componente da alvenaria, sais solúveis presentes na água de amassamento, cal não carbonatada.
- **Reparo:** eliminação da infiltração de umidade, secagem do revestimento, escovamento da superfície, reparo do revestimento se estiver pulverulento.

Bolor – Manchas esverdeadas ou escuras, revestimento em desagregação.

- **Causas prováveis:** umidade constante, área não exposta ao sol.
- **Reparo:** eliminação da infiltração da umidade, lavagem com solução de hipoclorito, reparo do revestimento se estiver pulverulento.

Vesículas – Empolamento da pintura com parte interna branca, preta ou vermelho castanho.

- **Causas prováveis:** hidratação retardada do óxido de cálcio da cal, presença de pirita ou de matéria orgânica na areia, presença de concreções ferruginosas na areia.
- **Reparo:** renovação da camada de reboco.

Descolamento com empolamento – A superfície do reboco descola do emboço formando bolhas.

- **Causas prováveis:** hidratação retardada do óxido de magnésio da cal.
- **Reparo:** renovação da camada de reboco.

Descolamento em placas duras – Placas endurecidas que quebram com dificuldade. Sob percussão, o revestimento apresenta som cavo.

- **Causas prováveis:** superfície de contato com a camada inferior apresenta placas de mica, argamassa muito rica em cimento ou aplicada em camada muito espessa, corrosão da armadura do concreto de base. Em outros casos, a superfície da base é muito lisa ou está impregnada com substância hidrófuga, ou ainda a camada de chapisco está ausente.
- **Reparo:** renovação do revestimento para o primeiro conjunto de causas. Apicoamento da base, aplicação de chapisco ou outro artifício para melhorar a aderência, antes da renovação do revestimento, no segundo caso.

Descolamento em placas quebradiças – Placas endurecidas, mas quebradiças, desagregando-se com facilidade e som cavo.

- **Causas prováveis:** argamassa magra, ausência da camada de chapisco.
- **Reparo:** renovação do revestimento.

Descolamento com pulverulência – Película de tinta se descola arrastando o reboco que se desagrega com facilidade, revestimento monocamada se desagrega com facilidade, reboco apresenta som cavo.

- **Causas prováveis:** excesso de finos no agregado, argamassa magra, argamassa rica em cal, reboco aplicado em camada muito espessa.
- **Reparo:** renovação da camada de reboco.

Fissuras horizontais – Aparecem ao longo de toda a parede, descoldamento do revestimento em placas, com som cavo.

- **Causas prováveis:** expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal, expansão da argamassa de assentamento pela reação cimento/sulfatos ou devido à presença de argilo-minerais expansivos no agregado.
- **Reparo:** no primeiro caso, renovação do revestimento após a hidratação completa da cal na argamassa. No segundo, a solução deve ser pensada de acordo com a intensidade da reação expansiva.

Fissuras mapeadas – Distribuem-se por toda a superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer descolamento do revestimento em placas (fácil desagregação).

- **Causas prováveis:** retração da argamassa por excesso de finos de agregado, de água de amassamento, cimento como único aglomerante.
- **Reparo:** reparo das fissuras e renovação da pintura, renovação do revestimento em caso de descolamento.

Fissuras geométricas – Acompanham o contorno do componente da alvenaria.

- **Causas prováveis:** argamassa de assentamento com excesso de cimento ou finos no agregado, movimentação higrotérmica do componente.
- **Reparo:** reparo das fissuras e renovação da pintura.

CONCRETO

5.1 DEFINIÇÃO

Concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: **aglomerantes, agregados e água.**

5.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO

a) PESO ESPECÍFICO

Varia com o peso específico dos componentes, com o traço e com o próprio adensamento. Assim os traços mais fortes (1:2:4 cimento, areia e brita) serão de maior peso específico que os magros (1:4:8 cimento, areia e brita) para o mesmo adensamento.

O uso de um agregado como a brita basáltica fará que um concreto tenha maior peso específico que o similar de brita calcária, mantidas as demais condições de traço e adensamento.

O peso varia de 1.800 a 2.600 kg/m³ com exceção dos concretos leves, nos quais a brita pode ser substituída por argila expandida e outros.

b) DILATAÇÃO TÉRMICA

Com o aumento da temperatura ambiente o concreto se dilata, acontecendo o inverso com as baixas temperaturas.

Alguns autores citam que em condições entre -15 °C a +50 °C, a dilatação é 0,01 mm por metro linear para cada grau centígrado.

Por este motivo lajes expostas ao tempo (sem cobertura) sofrem violentos movimentos de dilatação-contração durante mudanças bruscas de temperatura, o que causa trincas e como consequência a penetração de água (infiltração).

c) POROSIDADE E PERMEABILIDADE

Dependem da dosagem (traço), do adensamento, da porcentagem de água e do uso ou não de aditivos. Dificilmente consegue-se obter um concreto que não seja poroso.

A impermeabilidade completa só é conseguida com aditivos ou pinturas especiais. Quanto maior a porosidade menor será a resistência e a durabilidade do concreto.

d) DESGASTE

Varia com a resistência, sendo menor o desgaste para uma maior resistência. A resistência dependerá dos fatores: adensamento, fator água-cimento, traço, componentes, cura e idade.

A resistência aos diversos esforços pode ser medida em laboratório de materiais, através de corpos de provas e máquinas especiais.

5.2.1 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Outro aspecto fundamental no projeto de estruturas de concreto consiste na relação entre as tensões e as deformações.

Sabe-se da **Resistência dos Materiais** que a relação entre tensão e deformação, para determinados intervalos, pode ser considerada linear, **Lei de Hooke**, ou seja, $\sigma = E \cdot \epsilon$ sendo σ a tensão, ϵ a deformação específica e **E** o **Módulo de Elasticidade** ou **Módulo de Deformação Longitudinal**, Figura 5.1.

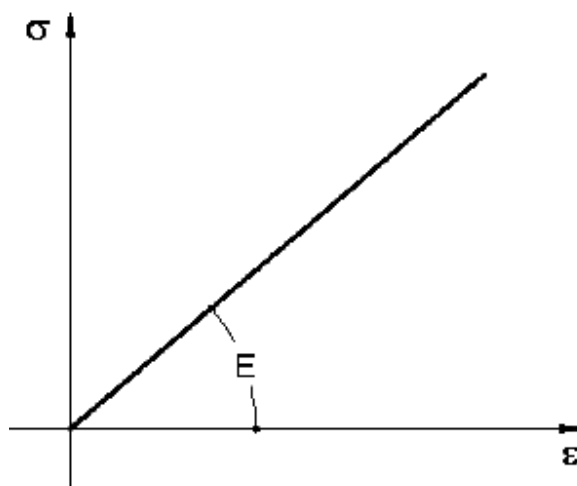


FIGURA 5.1 – Lei de Hooke

Para o concreto a expressão do Módulo de Elasticidade é aplicada somente à parte retilínea da curva tensão-deformação ou, quando não existir uma parte retilínea, a expressão é aplicada à tangente da curva na origem. Neste caso, tem-se o **Módulo de Deformação Tangente Inicial, E_{ci}** , Figura 5.2.

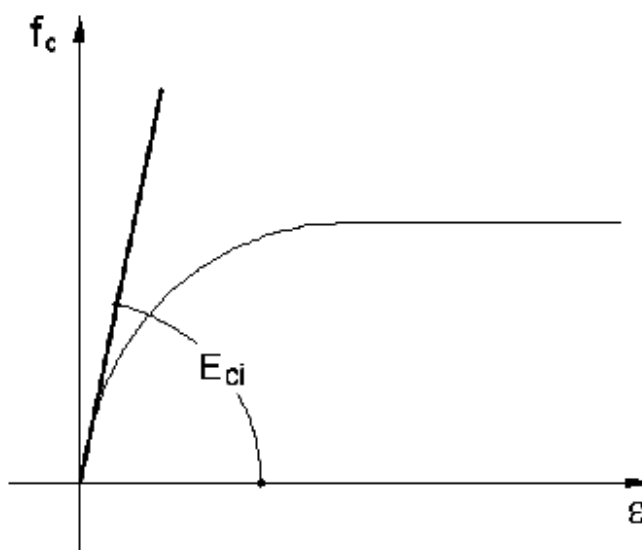


Figura 5.2 - Módulo de deformação tangente inicial (E_{ci})

O módulo de deformação tangente inicial é obtido segundo ensaio descrito na **NBR 8522 – Concreto – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação**.

Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto, para a idade de referência de 28 dias, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando a expressão:

$$E_{ci} = 5600 f_{ck}^{1/2}$$

E_{ci} e f_{ck} são dados em MPa.

O **Módulo de Elasticidade Secante, E_{cs}** , a ser utilizado nas análises elásticas do projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de limites de serviço, deve ser calculado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou de uma seção transversal, pode ser adotado um módulo de elasticidade único, à tração e à compressão, igual ao módulo de elasticidade secante (E_{cs}).

5.2.2 Coeficiente de Poisson

Quando uma força uniaxial é aplicada sobre uma peça de concreto, resulta uma deformação longitudinal na direção da carga e, simultaneamente, uma deformação transversal com sinal contrário, **Figura 5.3**.

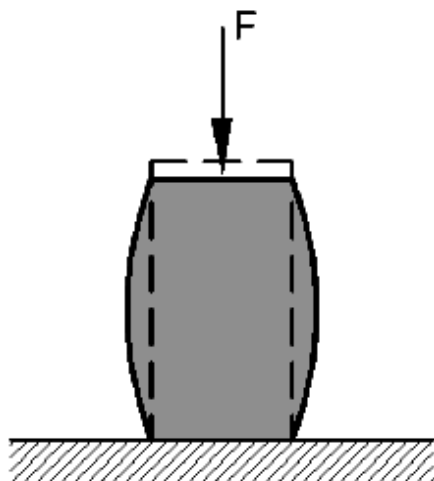


Figura 5.3 – Deformações longitudinais e transversais

A relação entre a deformação transversal e a longitudinal é denominada **coeficiente de Poisson** e indicada pela letra ν . Para tensões de compressão menores que $0,5 f_c$ e de tração menores que f_{ct} , pode ser adotado $\nu = 0,2$.

5.2.3 Módulo de elasticidade transversal

O módulo de elasticidade transversal pode ser considerado $G_c = 0,4 E_{cs}$.

5.2.4 Estados múltiplos de tensão

Na **compressão associada a confinamento lateral**, como ocorre em **pilares cintados**, por exemplo, a resistência do concreto é maior do que o valor relativo à compressão simples. O cintamento pode ser feito com estribos, que impedem a expansão lateral do pilar, criando um estado múltiplo de tensões. O cintamento também aumenta a utilidade do elemento estrutural.

Na região dos apoios das vigas, pode ocorrer fissuração por causa da força cortante. Essas fissuras, com inclinação aproximada de 45°, delimitam as chamadas bielas de compressão. Portanto, as bielas são regiões comprimidas com tensões de tração na direção perpendicular, caracterizando um estado biaxial de tensões.

Nesse caso tem-se uma resistência à compressão menor que a da compressão simples. Portanto, a resistência do concreto depende do estado de tensão a que ele se encontra submetido.

5.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As principais propriedades mecânicas do concreto são: **resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade**. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios, executados em condições específicas.

Geralmente, os ensaios são realizados para **controle da qualidade e atendimento às especificações**.

5.3.1 Resistência à compressão

A **resistência à compressão simples**, denominada f_c , é a característica mecânica mais importante. Para estimá-la em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos-de-prova para ensaio segundo a **NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**, os quais são ensaiados segundo a **NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**.

O corpo-de-prova padrão brasileiro é o **cilíndrico**, com **15cm de diâmetro e 30cm de altura**, e a idade de referência para o ensaio é **28 dias**. Após ensaio de um **número muito grande** de corpos-de-prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c

versus a quantidade de corpos-de-prova relativos a determinado valor de f_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se **Curva Estatística de Gauss** ou **Curva de Distribuição Normal** para a resistência do concreto à compressão, **Figura 5.4**.

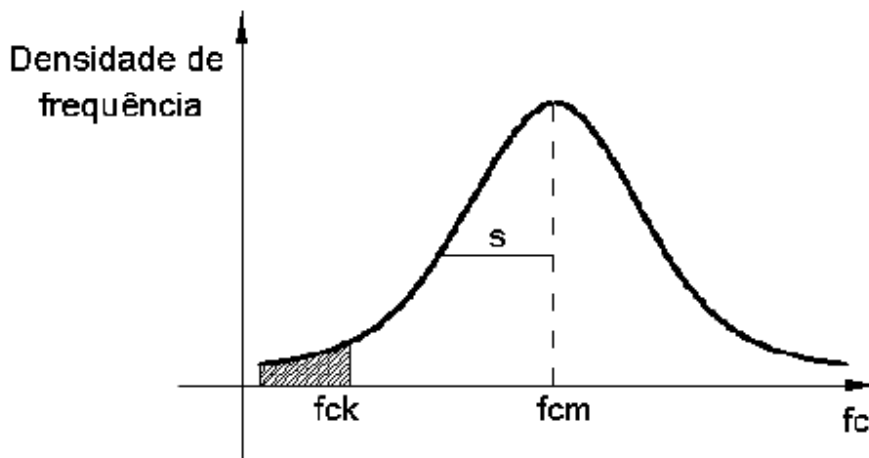


Figura 5.4 – Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão

Na curva de Gauss encontram-se dois valores de fundamental importância:

- **Resistência média do concreto à compressão, f_{cm} ;**
- **Resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} .**

O valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos-de-prova ensaiados, e é utilizado na determinação da resistência característica, f_{ck} , por meio da fórmula:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s$$

O desvio-padrão s corresponde à distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (ponto em que ela muda de concavidade).

O valor **1,65** corresponde ao **quantil de 5%**, ou seja, apenas 5% dos corpos-de-

prova possuem $f_c < f_{ck}$, ou, ainda, 95% dos corpos-de-prova possuem $f_c \geq f_{ck}$.

Portanto, pode-se definir f_{ck} como sendo o **valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado**, em ensaios de corpos-de-prova de um determinado lote de concreto.

A NBR 8953 define as classes de resistência em função de f_{ck} . Concreto classe C30, por exemplo, corresponde a um concreto com $f_{ck} = 30\text{MPa}$.

Nas obras, devido ao pequeno número de corpos-de-prova ensaiados, calcula-se $f_{ck,est}$, **valor estimado** da resistência característica do concreto à compressão.

5.3.2 Resistência à tração

Os conceitos relativos à **resistência do concreto à tração direta**, f_{ct} , são análogos aos expostos no item anterior, para a resistência à compressão. Portanto, tem-se a **resistência média do concreto à tração**, f_{ctm} , valor obtido da média aritmética dos resultados, e a **resistência característica do concreto à tração**, f_{ctk} ou simplesmente f_{tk} , valor da resistência que tem 5% de probabilidade de não ser alcançado pelos resultados de um lote de concreto.

A diferença no estudo da tração encontra-se nos tipos de ensaio. Há três normalizados: tração direta, compressão diametral e tração na flexão.

a) Ensaio de tração direta

Neste ensaio, considerado o de referência, a **resistência à tração direta**, f_{ct} , é determinada aplicando-se tração axial, até a ruptura, em corpos-de-prova de concreto simples, **Figura 5.5**. A seção central é retangular, medindo 9cm por 15cm, e as extremidades são quadradas, com 15cm de lado.

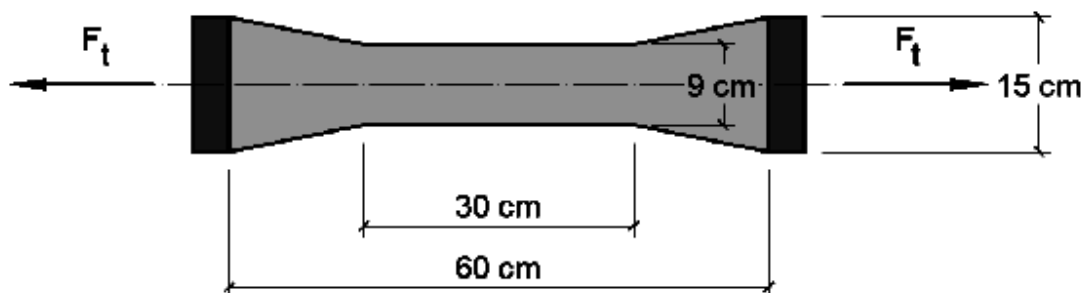


Figura 5.5 – Ensaio de tração direta

b) Ensaio de tração na compressão diametral (splitting test)

É o ensaio mais utilizado. Também é conhecido internacionalmente como **Ensaio Brasileiro**. Foi desenvolvido por **Lobo Carneiro**, em 1943. Para a sua realização, um corpo-de-prova cilíndrico de 15cm por 30 cm é colocado com o eixo horizontal entre os pratos da prensa, **Figura 5.6**, sendo aplicada uma força até a sua ruptura por tração indireta (ruptura por fendilhamento).

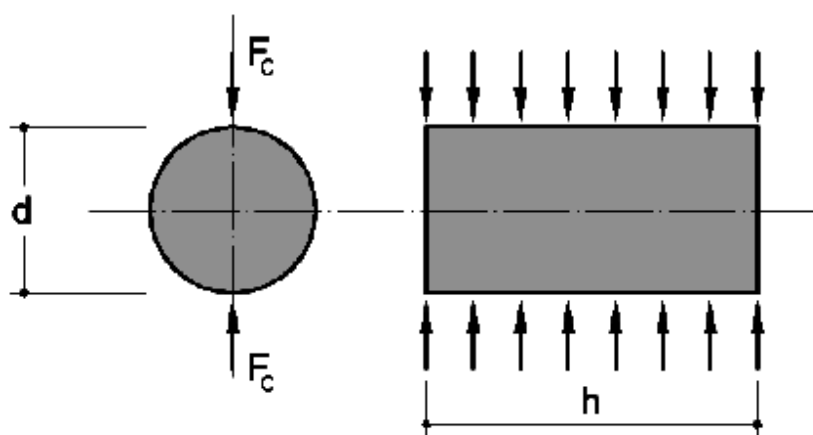


Figura 5.6 – Ensaio de tração por compressão diametral

O valor da **resistência à tração por compressão diametral**, $f_{ct,sp}$, encontrado neste ensaio, é um pouco maior que o obtido no ensaio de tração direta. O ensaio de compressão diametral é simples de ser executado e fornece resultados mais uniformes do que os da tração direta.

c) Ensaio de tração na flexão

Para a realização deste ensaio, um corpo-de-prova de seção prismática é submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura, **Figura 5.7**. O ensaio também é conhecido por “carregamento nos terços”, pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão.

Analisando os diagramas de esforços solicitantes, **Figura 5.8**, pode-se notar que na região de momento máximo tem-se cortante nula. Portanto, nesse trecho central ocorre flexão pura.

Os valores encontrados para a **resistência à tração na flexão**, $f_{ct,f}$, são maiores que os encontrados nos ensaios descritos anteriormente.

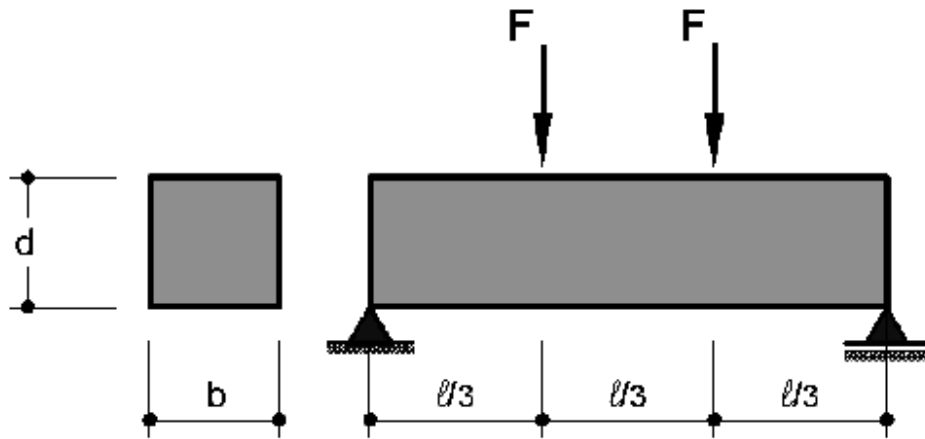


Figura 5.7 – Ensaio de tração na flexão

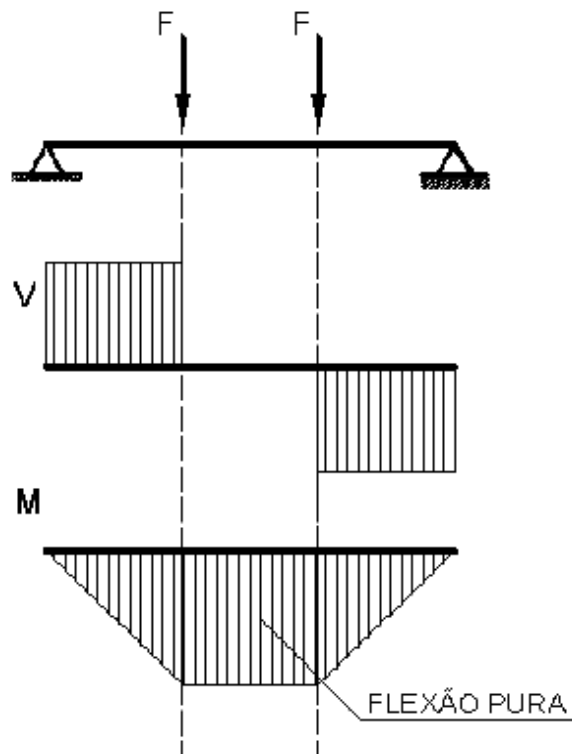


Figura 5.8 – Diagramas de esforços solicitantes (ensaio de tração na flexão)

d) Relações entre os resultados dos ensaios

Como os resultados obtidos nos dois últimos ensaios são diferentes dos relativos ao ensaio de referência, de tração direta, há coeficientes de conversão.

Considera-se a resistência à tração direta, f_{ct} , igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou $0,7 f_{ct,f}$, ou seja, coeficientes de conversão 0,9 e 0,7, para os resultados de compressão diametral e de flexão, respectivamente.

Na falta de ensaios, as resistências à tração direta podem ser obtidas a partir da resistência à compressão f_{ck} :

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm}$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ctm}$$

Nessas equações, as resistências são expressas em MPa. Será visto oportunamente que cada um desses valores é utilizado em situações específicas.

5.4 ESTRUTURA INTERNA DO CONCRETO

Na **preparação do concreto**, com a mistura dos agregados graúdos e miúdos com cimento e água, tem início a **reação química** do cimento com a água, resultando **gel de cimento**, que constitui a massa coesiva de cimento hidratado.

A reação química de hidratação do cimento ocorre com **redução de volume**, dando origem a **poros**, cujo volume é da ordem de 28% do volume total do gel. Durante o amassamento do concreto, o **gel envolve os agregados e endurece com o tempo**, formando cristais. Ao endurecer, o gel liga os agregados, resultando um **material resistente e monolítico – o concreto**.

A estrutura interna do concreto resulta bastante heterogênea: adquire forma de retículos espaciais de gel endurecido, de grãos de agregados graúdo e miúdo de várias formas e dimensões, envoltos por grande quantidade de poros e capilares, portadores de água que não entrou na reação química e, ainda, vapor d'água e ar.

Fisicamente, o concreto representa um **material capilar pouco poroso**, sem continuidade da massa, no qual se acham presentes os **três estados da agregação – sólido, líquido e gasoso**.

5.5 DEFORMAÇÕES

As deformações do concreto dependem essencialmente de sua estrutura interna.

5.5.1 Retração

Denomina-se retração à redução de volume que ocorre no concreto, mesmo na ausência de tensões mecânicas e de variações de temperatura.

As causas da retração são:

- **Retração química:** contração da água não evaporável, durante o endurecimento do concreto.
- **Retração capilar:** ocorre por evaporação parcial da água capilar e perda da água adsorvida. O tensão superficial e o fluxo de água nos capilares provocam retração.
- **Retração por carbonatação:** $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (ocorre com diminuição de volume).

5.5.2 Expansão

Expansão é o aumento de volume do concreto, que ocorre em peças submersas. Nessas peças, no início tem-se retração química. Porém, o fluxo de água é de fora para dentro. As decorrentes tensões capilares anulam a retração química e, em seguida, provocam a expansão da peça.

5.5.3 Deformação imediata

A deformação imediata se observa por ocasião do carregamento. Corresponde ao comportamento do concreto como sólido verdadeiro, e é causada por uma acomodação dos cristais que formam o material.

5.5.4 Fluência

Fluência é uma deformação diferida, causada por uma força aplicada. Corresponde a um acréscimo de deformação com o tempo, se a carga permanecer.

Ao ser aplicada uma força no concreto, ocorre deformação imediata, com uma acomodação dos cristais. Essa acomodação diminui o diâmetro dos capilares e aumenta a pressão na água capilar, favorecendo o fluxo em direção à superfície.

Tanto a diminuição do diâmetro dos capilares quanto o acréscimo do fluxo aumentam a tensão superficial nos capilares, provocando a fluência. No caso de muitas estruturas reais, a fluência e a retração ocorrem ao mesmo tempo e, do ponto de vista prático, é conveniente o tratamento conjunto das duas deformações.

5.5.5 Deformações térmicas

Define-se coeficiente de variação térmica α_t como sendo a deformação correspondente a uma variação de temperatura de 1 °C. Para o concreto armado, para variações normais de temperatura, a NBR 6118/2003 permite adotar $\alpha_t = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.

5.6 FATORES QUE INFLUEM

Os principais fatores que influem nas propriedades do concreto são:

- Tipo e quantidade de cimento;
- Qualidade da água e relação água-cimento;
- Tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento;
- Presença de aditivos e adições;
- Procedimento e duração da mistura;
- Condições e duração de transporte e de lançamento;
- Condições de adensamento e de cura;
- Forma e dimensões dos corpos-de-prova;
- Tipo e duração do carregamento;
- Idade do concreto; umidade; temperatura etc.

5.7 TRAÇO

É a proporção entre os componentes, normalmente expressa em volume. Por exemplo: **1 : 4 : 8**, uma parte de cimento, **4** de areia e **8** de brita. Quanto maior a proporção de cimento na mistura, maior a resistência do concreto, mantidas as demais condições.

5.7.1 MISTURA DO TRAÇO DO CONCRETO

a) MISTURA MANUAL

A areia é colocada sobre um estrado ou lastro de concreto, formando um cone. Sobre ela colocar o cimento, misturando-os cuidadosamente (normalmente com o auxílio de uma enxada) até que apresentem coloração uniforme. Refazer o cone no centro do estrado e sobre o mesmo lançar a brita, misturar novamente. Torna-se a refazer o cone, abrindo uma cratera no topo, a qual se adiciona a água pouco a pouco, misturando e refazendo o cone a cada vez. Nenhuma água deve escorrer, sob pena de perder-se o cimento e diminuir a resistência final do concreto. Mistura-se até atingir uniformidade de cor e umidade.

Evidentemente é difícil misturar 1 m³ de concreto por vez. Assim divide-se a quantidade de cimento de modo que cada mistura se faça com 1 ou ½ saco de cimento.

c) MISTURA MECÂNICA

Determinadas obras, pelo volume de concreto e rapidez exigida na mistura, podem justificar a compra ou o aluguel de uma betoneira (misturadora mecânica) de concreto.

As betoneiras são encontradas em volume de 180 a 360 litros de concreto pronto. São reversíveis, o que com movimento manual facilita para abastecer com os materiais e para despejar o concreto pronto. Estas são de tambor móvel, que gira em torno de um eixo com o auxílio de um motor elétrico. Os componentes são lançados dentro do tambor, com o movimento de rotação são arrastados e caem repetidas vezes sobre si mesmos, o que ocasiona a mistura.

O tempo de mistura varia de um a dois minutos, suficientes para uma boa homogeneidade. A ordem de colocação dos componentes deve ser primeiramente a brita, o cimento, a metade da água, a areia e por fim o restante da água (aos poucos).

5.8 LANÇAMENTO

Uma vez pronta à mistura o concreto deve ser usado rapidamente (antes de ocorrer), sob pena de endurecer na masseira.

O transporte em pequenas obras é feito em baldes ou carrinhos de mão. Grandes obras podem exigir o transporte a vácuo ou em esteiras.

Nas fôrmas, deve ser convenientemente apilado com ponteiros de ferro, colher de pedreiro ou mesmo vibrador mecânico de modo a possibilitar um bom adensamento e um concreto menos poroso. Em qualquer caso não deixa subir a superfície da peça concretada excesso de água ou pasta, a qual deixaria o interior poroso.

Em lajes, a superfície é acertada com régua ou sarrafos apoiados em guias, retirando-se os excessos. A superfície a concretada não deve ser "acabada" ou alisada com colher metálica, o que traria a superfície dessa uma película fina com muita água, facilitando a evaporação rápida e originando trincas.

5.9 CURA DO CONCRETO

A cura é caracterizada pelo endurecimento do concreto com o conseqüente aumento da sua resistência, o que ocorre durante longo período de tempo. Manter a umidade da peça concretada é importante no início do processo de endurecimento.

O concreto exposto ao sol e ventos perde água por evaporação muito rapidamente antes que o endurecimento tenha ocorrido em bom termo. Tornando-se neste caso menos resistente e mais permeável.

A fim de que a cura se faça em ambiente úmido, pode-se lançar mão de alguns artifícios:

- Molhar a superfície durante três dias, várias vezes ao dia, dependendo da umidade relativa do ar, ventos, etc.
- Cobrir a superfície com sacos vazios de cimento ou com serragem, areia molhada - esses devem ser colocados após início de pega (em torno de 1 hora) para evitar que fique a superfície marcada.

5.10 TIPOS DE CONCRETO

5.10.1 CONCRETO SIMPLES

É formado por **cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo**, ou seja, **argamassa e agregado graúdo**.



FIGURA 5.3 – Pasta de Cimento

Empregado em estado plástico endurece com o tempo, fato este acompanhado de um aumento gradativo da resistência (a resistência de cálculo é obtida aos 28 dias de idade).

Seu uso, nas construções em geral, é bastante amplo, podendo as peças serem moldadas no local ou serem pré-moldadas.

Como exemplo de utilização podemos citar os pisos em geral, as estruturas (com adição de ferro) como lajes, pilares, vigas, escadas, consoles e sapatas. Cada um desses segue traços específicos e técnicas especiais de fabricação.

Para todos os casos, no entanto, os materiais componentes (cimento, areia, brita e água) devem ser bem selecionados. Além desta escolha, cuidados especiais devem ser lembrados na mistura e no lançamento do concreto.

Depois de endurecer, o concreto apresenta:

- **boa resistência à compressão;**
- **baixa resistência à tração;**
- comportamento **frágil**, isto é, rompe com **pequenas deformações**.

Na maior parte das **aplicações** estruturais, para melhorar as características do concreto, ele é usado **junto** com **outros materiais**.

5.10.2 CONCRETO DE CASCALHO TIPO CICLÓPICO

Usado no caso de lastro de piso sobre terrapleno, em obras de pouca importância e sujeitas a cargas pequenas como terreiros de café, currais, passeios, piso para residências térreas, etc.

O cascalho vem misturado à areia em proporções variadas e à porcentagem também variada de terra.

O traço em volume pode ser 1:10 ou 1:8 ou 1:4 (cimento e cascalho) conforme a natureza do serviço, a unidade sendo representada pelo aglomerante.

5.10.3 CONCRETO CICLÓPICO

É o produto proveniente do concreto simples ao qual se incorpora pedras-de-mão, dispostas regularmente em camadas convenientemente afastadas de modo a serem envolvidas pela massa.

É utilizado em alicerces diretos contínuos (alicerces corridos), pequenas sapatas e muros de arrimo.

Exemplo de traços - 1 :4:8 (cimento, areia e brita) com 40% de pedra-de-mão.

As pedras de mão podem representar no máximo 40% do volume.

5.10.4 CONCRETO ARMADO

É a união de concreto simples às armaduras de aço. Sabe-se que o concreto simples resiste bem aos esforços de compressão e muito pouco aos demais esforços. No entanto, elementos estruturais como lajes, vigas, pilares, são solicitados por outros

esforços (tração, flexão, compressão e cisalhamento), ultrapassando as características do concreto simples. Por isso torna-se necessário a adição ao concreto de um material que resiste bem a estes esforços, o aço por exemplo.

A união dos dois materiais é possível e realizada com pleno êxito devido a uma série de características comuns, dentre elas:

- Coeficientes de dilatação térmica praticamente iguais ($0,000001$ e $0,0000012 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- Boa aderência entre ambos;
- Preservação do ferro contra a ferrugem.

5.10.4.1 Vantagens do Concreto Armado

- É **moldável**, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas.
 - Apresenta boa **resistência mecânica** à maioria dos tipos de solicitação, mecânica, a vibrações e ao fogo, desde que seja feito um correto dimensionamento e um adequado detalhamento das armaduras.
 - A estrutura é **monolítica**, fazendo com que todo o conjunto trabalhe quando a peça é solicitada.
 - Baixo custo dos **materiais** - água e agregados graúdos e miúdos.
 - Baixo custo de **mão-de-obra**, pois em geral não exige profissionais com elevado nível de qualificação.
 - **Processos construtivos** conhecidos e bem difundidos em quase todo o país.
 - Facilidade e rapidez de **execução**, principalmente se forem utilizadas peças pré-moldadas.
 - O concreto é **durável** e protege a armação contra a corrosão.
 - Os gastos de **manutenção** são reduzidos, desde que a estrutura seja bem projetada e adequadamente construída.
 - Resistência aos esforços aumenta com o tempo;
 - O concreto é **pouco permeável** à água, quando executado em boas condições de plasticidade, adensamento e cura.

- • É um material seguro contra **fogo**, desde que a armadura seja convenientemente protegida pelo revestimento.
- • É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos.

5.10.4.2 Desvantagens do Concreto Armado

- Impossibilidade de sofrer modificações;
- Demolição de custo elevado e sem aproveitamento do material demolido;
- Necessidade de formas e ferragem, o que aumenta a necessidade de mão-de-obra;
- Dificuldade de moldagem de peças com seções reduzidas.
- Baixa **resistência à tração**;
- **Fragilidade**;
- **Fissuração**;
- **Peso próprio** elevado;
- Custo de **formas** para moldagem;
- **Corrosão** das armaduras.

5.10.4.3 Providências Para Melhorar o Desempenho do Concreto

Para suprir as deficiências do concreto, há várias alternativas. A baixa resistência à tração pode ser contornada com o uso de adequada armadura, em geral constituída de **barras de aço**, obtendo-se o **concreto armado**.

Além de resistência à tração, o aço garante **ductilidade** e aumenta a **resistência à compressão**, em relação ao concreto simples.

A fissuração pode ser contornada ainda na fase de projeto, com armação adequada e limitação do diâmetro das barras e da tensão na armadura.

Também é usual a associação do concreto simples com **armadura ativa**, formando o **concreto protendido**. A utilização de armadura ativa tem como principal finalidade aumentar a resistência da peça, o que possibilita a execução de **grandes vãos**

ou o uso de **seções menores**, sendo que também se obtém uma melhora do concreto com relação à fissuração.

5.10.5 CONCRETO PROTENDIDO

No **concreto armado**, a armadura não tem tensões iniciais. Por isso, é denominada **armadura passiva**. No **concreto protendido**, pelo menos uma parte da armadura tem tensões previamente aplicadas, denominada **armadura de protensão** ou **armadura ativa**.

Dessa forma a protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sobre ação de diversas solicitações. Devido a sua importância esse tipo de concreto será visto com maiores detalhes posteriormente.

5.10.6 CONCRETOS ESPECIAIS

Existem uma infinidade de concretos especiais obtidos a partir da adição de aditivos na mistura e/ou pela substituição dos materiais tradicionais, a fim de proporcionar a essas características diferenciadas.

Entre eles ressaltam-se os concretos cujo peso pode ser reduzido de 40 a 60% do concreto simples, diminuindo-se também a resistência, obtidos a partir da substituição da brita por um material leve (argila expandida ou isopor); concreto de características variadas (alta resistência, impermeabilidade, etc.) obtidos a partir da utilização de aditivos.

O concreto esponjoso, por exemplo, é conseguido adicionando-se na massa um aditivo a base de alumínio sob a forma de pó finíssimo, que na presença da pasta reage, desenvolvendo gases que tornam a massa porosa. Neste caso as placas conseguidas têm características de isolantes termo acústicas.

5.10.7 CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO – CAD

Pode ser obtido, por exemplo, pela mistura de cimento e agregados convencionais com **sílica ativa** e **aditivos plastificantes**. Apresenta características melhores do que o concreto tradicional. Em vez de sílica ativa, pode-se também utilizar **cinza volante** ou **resíduo de alto forno**.

Apresenta características melhores do que o concreto tradicional – como resistência mecânica inicial e final elevada, baixa permeabilidade, alta durabilidade, baixa segregação, boa trabalhabilidade, alta aderência, reduzida exsudação, menor deformabilidade por retração e fluência, entre outras.

O **CAD** é especialmente apropriado para projetos em que a durabilidade é condição indispensável para sua execução. A alta resistência é uma das maneiras de se conseguir peças de menores dimensões, aliviando o peso próprio das estruturas.

Ao concreto também podem ser adicionadas **fibras**, principalmente de aço, que aumentam a ductilidade, a absorção de energia, a durabilidade etc.

A corrosão da armadura é prevenida com controle da fissuração e com o uso de adequado de revestimento, cujo valor depende do grau de agressividade do ambiente em que a estrutura for construída.

A padronização de dimensões, a pré-moldagem e o uso de sistemas construtivos adequados permite a racionalização do uso de formas, permitindo economia neste quesito.

5.11 APLICAÇÕES DO CONCRETO

É o material estrutural **mais utilizado no mundo**. Seu **consumo anual** é da ordem de **uma tonelada por habitante**.

Entre os materiais utilizados pelo homem, o **concreto perde apenas para a água**. Outros materiais como **madeira, alvenaria e aço** também são de uso comum e há situações em que eles são **imbatíveis**. Porém, suas aplicações são bem mais restritas.

Algumas aplicações do concreto são relacionadas a seguir.

- **Edifícios:** mesmo que a estrutura principal não seja de concreto, alguns elementos, pelo menos, o serão;
- **Galpões e pisos industriais** ou para fins diversos;
- **Obras hidráulicas e de saneamento:** barragens, tubos, canais, reservatórios, estações de tratamento etc.;
- **Rodovias:** pavimentação de concreto, pontes, viadutos, passarelas, túneis, galerias, obras de contenção etc.;
- **Estruturas diversas:** elementos de cobertura, chaminés, torres, postes, mourões, dormentes, muros de arrimo, piscinas, silos, cais, fundações de máquinas etc.

Serão fornecidas abaixo algumas tabelas de traços de concreto com sua devidas finalidades.

Concreto para fundação			
Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Base de concreto magro	1 saco de cimento de 50 kg 8 ½ latas de areia 11½ latas de pedra 2 latas de água	14 latas ou 0,25 m ³	O solo deve ser nivelado e socado antes do lançamento do concreto magro
Concreto do baldrame (sapata corrida), broca (estaca) e do radier	1 saco de cimento de 50 kg 5 latas de areia 6 ½ latas de pedra 1 ½ lata de água	9 latas ou 0,16 m ³	Procure fazer a concretagem de uma vez só para evitar emendas de da concretagem na fundação. O concreto deve ser bem adensado (vibrado)

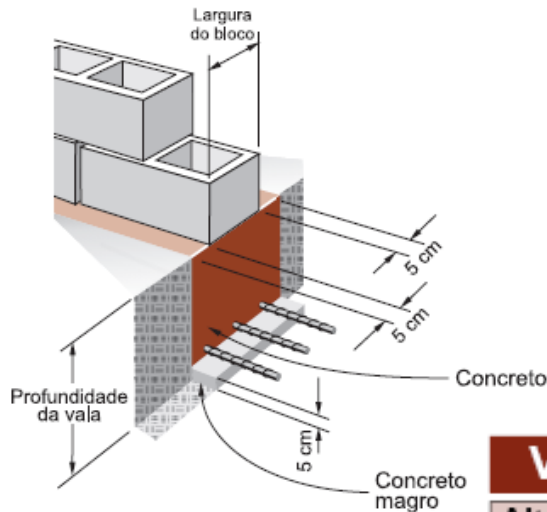
- ATENÇÃO:**
1. Para as medidas, use latas de 18 litros. Evite latas amassadas.
 2. Mantenha o concreto molhado durante uma semana após a concretagem. Depois do terceiro dia já é possível executar outros serviços sobre esse concreto.

Concreto para lajes

Uso	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Lajes maciças (armadas) e capas de lajes pré-fabricadas	1 saco de cimento de 50 kg 4 latas de areia 5 ½ latas de pedra 1 ¼ lata de água	8 latas ou 0,14m ³	Espalhe o concreto por toda a laje, evitando a formação de grandes montes, para não sobrecarregar o escoramento em alguns pontos. O escoramento e as fôrmas das lajes só devem ser retirados três semanas após a concretagem. Mantenha o concreto sempre umedecido pelo menos durante a primeira semana. Isso se chama cura do concreto. Durante esse tempo é possível fazer outros serviços sobre a laje, que continua escorada

Concreto para contrapiso

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Concreto magro	1 saco de cimento de 50 kg 8 ½ latas de areia 11 ½ latas de pedra 2 latas de água	14 latas ou 0,25 m ³	O concreto magro serve como base para pisos em geral. Antes de receber o concreto magro, o solo deve ser umedecido



Vala para fundação do muro	
Altura do muro	Profundidade da vala
até 1,00 m	20 cm
até 1,50 m	30 cm
até 2,50 m	40 cm

Concreto para muros

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Pilaretes e cintas de muros de blocos de concreto	1 saco de cimento de 50 kg 4 latas de areia 6 latas de pedra 1 ½ lata de água	8 latas ou 0,15 m ³ ou 12 m de muro de 1,50 m de altura	Lance o concreto dos pilaretes em camadas de 50 cm. Compacte com uma barra de ferro. Os ferros não devem encostar nas laterais. Só retire as tábuas 24 horas após a concretagem

Concreto para calçadas

Aplicação	Traço	Rendimento por saco de cimento de 50 kg	Dica
Contrapiso de concreto magro	1 saco de cimento de 50 kg 8 ½ latas de areia 11 ½ latas de pedra 2 latas de água	14 latas ou 0,25 m ³ ou 8 m ² de contrapiso	Antes de receber o concreto magro, o solo deve ser umedecido
Piso de concreto	1 saco de cimento de 50 kg 4 latas de areia 6 latas de pedra 1 ½ lata de água	8 latas ou 0,15 m ³ ou 5 m ² de piso	Espalhe o concreto com uma enxada. O adensamento e a regularização (nivelamento) são feitos com uma régua de madeira. O acabamento se faz com uma desempenadeira. Não é necessário alisar a superfície. Mantenha a calçada sempre úmida nos primeiros sete dias após a execução