

Dosagem de concreto pelo método ABCP

Este método de dosagem foi criado na década de 80 pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) por meio de experimentos. Como os materiais de construção mudaram muito daquela época para os dias de hoje, o método está desatualizado, não podendo ser utilizado para obter diretamente o traço. A idéia é utilizar o método a fim de que se obtenha um traço-base, molde-se corpos de prova e, com os resultados dos ensaios, sejam feitos os devidos ajustes nas dosagens.

O método exige o conhecimento das seguintes informações:

- Tipo, massa específica e nível de resistência aos 28 dias do cimento (ex.: CP II 32 - 32MPa aos 28 dias);
- Análise granulométrica e massa específica dos agregados;
- Dimensão máxima característica do agregado graúdo;
- Consistência desejada do concreto fresco;
- Resistência de dosagem do concreto (fcj).

Etapas do método:

- 1) Fixar a relação água/cimento (utilizando-se, para isso, o gráfico de resistência normal - requer o conhecimento do tipo de cimento utilizado e a resistência de dosagem requerida);
- 2) Determinar o consumo aproximado de água do concreto, **(Ca)** utilizando o quadro 2. (Necessita da dimensão máxima característica do agregado graúdo e da consistência desejada);
- 3) Determinar o consumo de cimento **(Cc)** - o consumo de cimento é a relação entre o consumo de água e a relação água cimento;
- 4) Determinar o consumo de agregados:

Consumo de agregado graúdo **(Cb)**

Depende do conhecimento da dimensão máxima característica do agregado graúdo e do módulo de finura do agregado miúdo.

O consumo é o produto entre o volume compactado **(Vc** - obtido pelo quadro 3), a massa unitária do agregado e a proporção do mesmo (quadro 4);

Consumo de agregado miúdo **(Cm)**

Obtém-se o volume de agregado **(Vm)** por meio de fórmula, a quantidade em massa é obtida por meio do produto entre o volume encontrado e a massa específica do agregado miúdo.

5) Obtém se o traço dividindo-se todas as massas obtidas pela massa de cimento.

Fórmulas:

$$C_c = \frac{C_a}{x}$$
$$C_b = V_c \cdot \delta_b$$
$$V_m = 1 - \left(\frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right)$$
$$C_m = \gamma_m \cdot V_m$$

Controle estatístico do concreto

Simbologia:

f - resistência; fc - resistência à compressão; ft - resistência à tração; fcj - resistência à compressão aos j dias; fck - resistência característica do concreto à compressão; fcd - resistência característica de cálculo

Lembrando que fcd = fck / 1,4 (coeficiente de minoração de 40% - NBR 6118

Tal medida de segurança reduz os efeitos de:

- Possibilidade de desvios nos valores característicos de materiais;
- Erros na avaliação dos pesos dos materiais e cargas acidentais;
- Inexatidão das fôrmas;
- Diferença entre as distribuições previstas das cargas e a real distribuição.

A dosagem do concreto é realizada utilizando-se a resistência de dosagem (é a resistência que deve ser adotada para se especificar a resistência à compressão desejada). É determinada por meio do controle estatístico do concreto.

A NBR 6118 estabelece que o limite máximo de corpos de prova com resistência inferior ao fck é 5%. Utilizando-se a tabela de gauss e métodos estatísticos, tem-se que a resistência de dosagem aos j dias é igual a:

$$fcj = fck + 1,65S_d$$

O Sd é determinado pelo sistema de controle adotado na produção do concreto

- Controle rigoroso (Sd = 4,0): profissional especializado em tecnologia do concreto, traço obtido inteiramente em massa, controle de medição de água e umidade. Ex.: concretos usinados;
- Controle razoável (Sd = 5,5): profissional habilitado permanente na obra, traço misto (cimento em massa e demais materiais em volume), bom controle de umidade;
- Controle regular (Sd = 7,0): execução da obra sob orientação de profissional habilitado, traço misto sem controle de massa e umidade. Ex.: concretos produzidos em canteiro de obra.

A amostragem do concreto
As amostras devem ser coletadas aleatoriamente durante a concretagem e representam dois corpos da mesma amassada moldados simultaneamente, tomando-se como resistência do exemplar o maior dos 2 obtidos no ensaio. Deve-se retirar uma amostra a cada 50 metros cúbicos de concreto produzido (por andar).

A amostragem do concreto pode ser:
PARCIAL - nem toda amassada possui amostras;
TOTAL - para toda amassada são retiradas amostras.

O cálculo é diferenciado por tipo de amostragem, e basicamente procede da seguinte maneira:
Controle estatístico por amostragem parcial

a) Entre 6 e 20 amostras:

$$f_{ck\text{ estimado}} = 2 \cdot \left(\frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{m-1}}{m-1} \right) - f_m \quad m = \frac{n}{2} \quad \text{Se ímpar, adota-se o menor valor}$$

$f_{ck\text{ estimado}} = \Psi_6 \cdot f_1$

Valores de Ψ_6											
Número de amostras											
Cond. Preparo	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16+
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02
B ou C	0,75	0,80	0,84	0,87	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00	1,02
A - Controle rigoroso	fn corresponde aos valores das resistências das amostras em ordem crescente.										
B - Controle razoável											
C - Controle regular											

Adotar o maior dos valores obtidos para o $f_{ck\text{ estimado}}$

Se o valor encontrado for menor que a resistência de projeto, re-analisar os valores obtidos.

b) para mais de 20 amostras

$$f_{ck\text{ estimado}} = f_{cm} - 1,65Sd^* \quad Sd^* = K_n \cdot S_n$$

Sd^* deve ser maior que 2

Onde:

f_{cm} - resistência média dos exemplares
 S_n - desvio padrão das amostras

K_n	n
1,35	20
1,30	25
1,25	30
1,20	50
1,10	200

Se o valor encontrado for menor que a resistência de projeto, re-analisar os valores obtidos.

Controle estatístico por amostragem total

- a) Quando o número de amostras é menor ou igual a 20, o f_{ck} estimado é igual ao f_{ck} da primeira amostra (em ordem crescente);
b) Quando o número de amostras é maior que 20, o f_{ck} estimado é igual ao f_{ck} da 0,05n amostra (por exemplo, para n=30, 0,05n = 1,5 -> 2)

O controle estatístico por amostragem total é mais fácil, porém requer um maior controle das amassadas e do concreto utilizado na obra.

Propriedades do concreto no estado endurecido

Porosidade (e)

Definida como a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos de um meio. É geralmente apresentada em porcentagem. Em todos os sólidos existe uma relação fundamental inversa entre ela e a resistência. O concreto é um material polifásico, e, portanto, a porosidade de cada fase torna-se um fator limitante de sua resistência mecânica.

Existem basicamente três tipos de poros no concreto:

- poros capilares;
- poros na zona de transição;
- poros da fase agregado.

Os primeiros são definidos como espaços não preenchidos da pasta de cimento, provocados especialmente pela perda de água de trabalhabilidade (cura inadequada ou por excesso de adensamento). A fase de agregado geralmente é composta por sólidos densos de baixa porosidade, mas podem apresentar espaços vazios entre eles. A zona de transição é a interface pasta-agregado graúdo, sua porosidade é causada principalmente pela formação de um filme de água ao redor da brita, a composição do cimento e também, por dilatação térmica.

A relação água-cimento, bem como o grau de hidratação do concreto também parecem interferir na porosidade do mesmo. Quanto maior a quantidade de água, maior a quantidade de espaços vazios e, portanto, maior a porosidade. Quando o grau de hidratação aumenta, a porosidade do concreto tende a diminuir (novamente, a cura se faz necessária, para manter a hidratação do concreto)

Os ensaios para determinação da porosidade são: microscopia eletrônica por varredura, intrusão de mercúrio e de absorção de água.

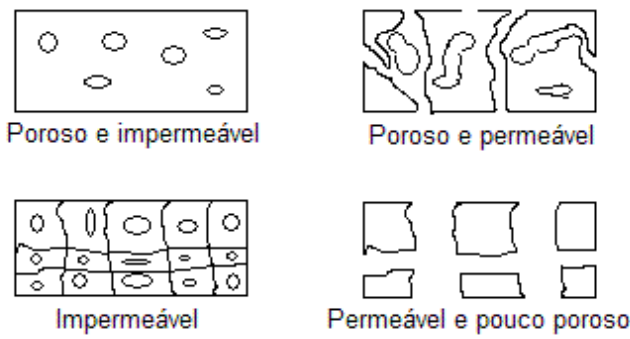
Permeabilidade

Definida como a maior ou menor facilidade que um fluido tem em movimentar-se em um material poroso. Exerce grande importância na durabilidade do concreto. Vários são os fatores que determinam a porosidade do concreto: a relação água/cimento, a composição do cimento, o preparo e lançamento do concreto, o grau de adensamento e a quantidade de ar aprisionado, a dimensão máxima característica dos agregados, a capilaridade (interconexão dos poros), a idade do material, as condições de cura e ensaio etc.

- Permeabilidade da pasta de cimento: refere-se ao tamanho e à continuidade dos poros durante o processo de hidratação (à medida que o último ocorre a permeabilidade diminui) e à relação água-cimento da pasta, embora em um concreto bem curado a permeabilidade da mesma tenha pouca ou nenhuma influência sob a permeabilidade do concreto.
- Permeabilidade dos agregados: a permeabilidade dos agregados é, em geral, muito menor que a da pasta de cimento em si, no entanto, o tamanho dos poros formados pelos agregados chega a ser maior que os poros da pasta.
- Permeabilidade do concreto: a colocação de agregados fracamente permeáveis deveria diminuir a permeabilidade do sistema, no entanto, a prática experimental mostra que este não é o caso. A adição de agregados aumenta a permeabilidade consideravelmente (pode aumentar ainda mais, quanto maior o agregado utilizado). Isto acontece devido à estrutura denominada zona de transição, que pode apresentar microfissuras, exsudar ou até mesmo segregar, aumentando a permeabilidade e, conseqüentemente, interferindo na durabilidade do concreto.

Durabilidade

Intimamente ligada aos processos de porosidade e permeabilidade, convém, antes, analisar as diferenças entre porosidade e permeabilidade. Observe o esquema abaixo:



Observe que permeabilidade está relacionada com a ligação entre os poros (impermeável -> sem ligação entre os poros, permeável -> com ligação entre os poros).

A durabilidade é definida pela capacidade do concreto em resistir a ações das intempéries e agentes agressivos. O cobrimento da armadura é definido pela NBR 6118/2003 e usa como parâmetro a agressividade do meio (tabela abaixo):

Agressividade do meio		
Agressividade	tipo de ambiente	risco de deterioração
Frac	rural	insignificante
	submerso	
Moderada	urbano	pequeno
Forte	marinho	grande
	industrial	
Muito forte	industrial	elevado
	maré	

Estrutura	Elemento Estrutural	Agressividade do meio			
		Frac	Moderada	Forte	Muito Forte
Armada	Laje	20 mm	25 mm	35 mm	45 mm
	Viga/Pilar	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm
Protendida	Todas	30 mm	35 mm	45 mm	55 mm

Os fatores que afetam a durabilidade do concreto são:

- 1 - Desgaste superficial:
- Abrasão - atrito seco (por exemplo, o contato de pavimentos industriais pelo tráfego de veículos);
 - Erosão - ação de fluidos em partículas sólidas (por exemplo, em tubulações de água e esgoto);
 - Cavitação - perda de massa pela formação de bolhas de vapor (em locais onde há mudança repentina de direção de fluxo).
- Para se evitar desgaste por abrasão ou erosão, deve-se optar pela utilização de CADs (fck>40MPa) e manter cura úmida por mais tempo, a contar do lançamento do concreto. Pode-se optar pela colocação de compostos de zinco, silício ou magnésio no concreto, que reduzem a porosidade da superfície do concreto. Os métodos de ensaio para avaliação de desgaste são subjetivos e opcionais, e geralmente se utilizam: teste à abrasão por bolas de aço, por rodas desbastadoras e por jatos de areia.

2 - Fissurações:

- Causada por variação volumétrica dos poros: cristalização de sais nos poros ocasionando o aumento de volume dos mesmos. Em especial, os cloretos e sulfatos, dentre eles o sulfato de cálcio (anidrita) etc.
- Causada por carregamentos estruturais: ocorre quando se excede a quantidade de carga recomendada para uma determinada estrutura.
- Causada pelo gelo: em climas frios, o concreto pode sofrer danos irreversíveis pela ação do congelamento (gelo-degelo), em especial a fissuração-destacamento da estrutura, ocasionada pela expansão progressiva da pasta. A utilização de aditivos incorporadores de ar parece ser a melhor forma de se combater tal efeito deletério. Para tal, devem ser escolhidos agregados de média-baixa permeabilidade (respeitando-se o tamanho crítico de agregado), que não armazenam quantidades grandes de água e minimizam o efeito expansivo. Da mesma forma, deve-se adotar uma política de baixas relações água/cimento. Observe que, este concreto, embora contenha pouca água, terá menor resistência mecânica, provocada pela utilização de aditivos incorporadores de ar à mistura.
- Causada pelo fogo: o concreto resiste bem a altas temperaturas sem produzir gases tóxicos. No entanto, outros materiais componentes do concreto acabam por não agüentar o calor: o aço, os agregados entre outros podem sofrer séria deterioração a partir de uma dada temperatura. O cimento pode suportar temperaturas da ordem dos 900°C, os agregados sofrem grande deterioração e expansão a partir dos 500°C, já o concreto, mantém sua resistência mecânica com pequenas reduções a essas temperaturas.

3 - Substâncias químicas:

Ácidos: em contato com o concreto, reduzem o pH da mistura e provocam um estado de desequilíbrio químico da mesma (qualquer meio com pH abaixo de 12,5 é considerado agressivo ao concreto, pois reduz a camada de passivação da armadura), ocasionando corrosões, formando sulfatos, cloretos que podem atingir a armadura.

Sais: atuam como ácidos ou bases, dependendo do íon atuante (cloreto, sulfato, carbonato), interferindo no equilíbrio da pasta de cimento.

Álcalis: cristalizam-se nos poros, produzindo sais expansivos que se encontram nos agregados.

4 - Carbonatação:

O pH do concreto, como já foi mencionado, é de aproximadamente 12,5, altamente alcalino. Esta alcalinidade garante a proteção e a passivação da armadura contra a corrosão.

A presença de gás carbônico (ou mesmo ácido carbônico - presente em efluentes químicos e até mesmo naturalmente) atmosférico faz com que aconteça uma reação com o sulfato de cálcio presente no concreto, produzindo-se carbonato de cálcio e água livre, que reduz o pH para valores abaixo de 9, tornando a armadura mais vulnerável a fissuras, manchas e corrosões (a armadura fica exposta). A carbonatação depende da umidade relativa do ar e ocorre principalmente entre 40% e 60%, onde os poros apresentam um filme de água, que possibilita a formação de bicarbonatos, que irão danificar a estrutura.

5 - Ataque por cloretos:

Causado especialmente pelo uso de aceleradores de pega (contém cloreto de cálcio) e pela maresia em cidades litorâneas. Os cloretos ligam-se ao aluminato tricálcico e são absorvidos na superfície dos poros, formando íons cloreto livres, provocando pontos de corrosão conhecidos como pites. São facilmente detectados utilizando soluções de nitrato de prata. O cloreto livre causa a corrosão da armadura (o cloreto férrico formado produz mais íons cloreto em uma reação em cadeia). Para se evitar o ataque com cloretos, deve-se controlar a porosidade do concreto, realizando-se uma cura adequada e controlando o adensamento da mistura, além de evitar o uso de aditivos contendo cloretos.

6 - Ataque por sulfatos:

São bastante agressivos, dependendo da forma que são encontrados. Os sulfatos de cálcio, encontrados no solo possuem baixa solubilidade e considerados inofensivos para estruturas de concreto, já os sulfatos encontrados em efluentes industriais e eliminados na forma de chuva ácida e produzidos naturalmente por bactérias ricos em ácido sulfúrico e em insumos agrícolas (sulfato de amônio) são mais preocupantes para o concreto. Os sulfatos, além de ocasionarem oxidação da armadura, produzem sais expansivos que provocam fissuração e deterioração da coesão da estrutura, que acarreta uma perda progressiva de resistência mecânica e de massa. São detectados utilizando-se soluções de fenolftaleína e podem ser evitados se observadas as seguintes características:

- Quantidade e natureza do sulfato presente no local da obra;
- O nível da água e sua variação sazonal;
- O fluxo de água subterrânea e porosidade do solo;
- A forma da construção e a qualidade do concreto utilizado.

O concreto fracamente permeável e com menos de 5% de aluminato tricálcico é o ideal para se evitar ataques com sulfato (utilizar cimento contendo mais de 70% de escória ou pelo menos 25% de material pozzolânico).

Tipos de patologias comumente encontradas no concreto:

Ninhos de concretagem: causados pela má adequação da relação água/cimento, problemas nas escolhas de materiais, no adensamento, na execução da obra e na forma da armadura.

Eflorescência: causada pela umidade, traço da argamassa, alta porosidade e espessura do revestimento mal planejada.

Manchas: causada pela umidade em concreto muito poroso.

Infiltração: falhas no cobrimento, presença excessiva de água e de fissuras contribuem para este tipo de patologia.

Para evitarmos patologias no concreto, deve-se optar por um material de boa qualidade (na quantidade correta), realizar a impermeabilização do concreto (cuidados no adensamento e cura melhoram este aspecto), observar melhor a aplicação e produção do concreto, treinando melhor a mão-de-obra que irá efetuar todo o processo. Sob ponto de vista técnico, foi observado que concretos que seguem as orientações da ABNT no que diz respeito ao cobrimento da armadura, utilizam resistência igual ou superior a 30MPa e relação água/cimento próxima de 0,55 sofrem menos com a corrosão dentre outras patologias que os demais tipos de concreto.

É sempre mais fácil prevenir do que remediar, pois qualquer remediação que não envolva a total reconstrução da estrutura será apenas paliativa e, não por isso, menos dispendiosa. Os métodos mais conhecidos de reparação de estruturas envolve o hidrojateamento com soluções limpadoras, o preenchimento com novas camadas de concreto, argamassa, dentre outros materiais, uma impermeabilização da região dentre outros procedimentos.

Resistência Mecânica

A resistência de um material é definida como a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura, por várias vezes identificada com o aparecimento de fissura. No concreto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar a fratura. Resistência é geralmente a propriedade mais importante para um projeto de estruturas, primeiramente por ser uma propriedade fácil de ser ensaiada e, não menos importante, também pelo fato de se relacionar com todas as demais características do concreto.

A resistência dos sólidos é a relação inversa entre a porosidade dos mesmos. No concreto, a resistência é uma propriedade que depende da porosidade de cada fase do mesmo. Em argamassas, é fácil determinar a resistência através de fórmulas, que em geral relacionam a porosidade do material. O concreto apresenta microfissuras na zona de transição (pasta-agregado) e, portanto, é mais complexo determinar a porosidade por meio de fórmulas matemáticas. (Note, no entanto, que a porosidade não deixa de ser um fator limitante na resistência mecânica do mesmo)

Formas de ruptura do concreto:

Compressão: apresenta uma ruptura menos frágil (conseqüentemente, mais energia é necessária para provocar fissuração) que na tração, apresenta fissuras que se iniciam com metade da tensão de ruptura, que unem as da matriz e da zona de transição, desenvolvendo-se uma superfície de ruptura de 20º a 30º da direção da carga. O acúmulo de energia é maior, portanto maiores cuidados devem ser tomados no decorrer do ensaio.

Fatores que afetam a resistência à compressão:

- relação água/cimento: como descrito pela lei de Abrams, a relação água/cimento é um importante fator que irá interferir na resistência a compressão do concreto. Quanto maior a relação água/cimento, maior a porosidade do material devido ao progressivo enfraquecimento da matriz. Um dos maiores desafios no canteiro de obra está em tentar manter uma trabalhabilidade adequada sem elevar a relação água/cimento, o que certamente comprometeria o desempenho do concreto utilizado e, por sua vez, colocaria a segurança da estrutura em risco. Em um concreto de baixa resistência, a matriz da zona de transição é fator determinante na resistência, já em CADs, os cristais de hidróxido de cálcio são menores, melhorando a zona de transição do concreto.

- ar incorporado: relaciona-se diretamente com o grau de adensamento realizado com a mistura ainda fresca e até mesmo a utilização de aditivos incorporadores de ar (aumentam a trabalhabilidade - comum em CADs). O ar incorporado aumenta a porosidade do material e reduz a resistência mecânica final do concreto. Aqui deve-se tomar mais cuidado com a trabalhabilidade e treinar a mão-de-obra para que seja efetuado um bom adensamento do concreto, que elevará a qualidade da zona de transição, elevando-se a resistência mecânica;

- tipo de cimento: dependendo do tipo de cimento, o grau de hidratação pode ser diferenciado (quanto maior o grau de hidratação, melhor a matriz e melhor a resistência inicial, como por exemplo, no CP V ARI). À temperatura normal, as velocidades de hidratação e de aumento de resistência dos cimentos depende do tipo de cimento utilizado, da finura do material, da massa específica do mesmo entre outros fatores. (A matriz só melhora a resistência nas primeiras idades, uma vez que um cimento tipo ARI apresenta mesma hidratação de um CP III nas idades avançadas).

- agregado: não é um fator determinante na resistência do concreto, mas deve ser levado em conta na hora de se realizar o proporcionamento da mistura. A maior parte dos agregados naturais não apresenta influência na resistência das misturas e a ruptura é determinada pelas demais fases. No entanto, o tamanho, a forma, a mineralogia, a textura e a granulometria podem afetar a resistência do concreto em outros níveis. Uma alteração na dimensão máxima característica do agregado gráudo pode reduzir a quantidade de água e produzir uma zona de transição mais suscetível a fissuras. Uma alteração na granulometria (sem alteração no DMC) pode alterar as características como slump e facilitar a exsudação da mistura, reduzindo a trabalhabilidade do concreto. A textura da superfície pode afetar a resistência em idades avançadas pela interação química pasta-agregado e a composição mineralógica pode provocar melhorias no desempenho da pasta, bem como de aditivos.

- água de amassamento: a água de amassamento não deve conter impurezas, excesso ou falta de sais minerais (evitar águas que contenham algas, sais, óleo, açúcares etc). De uma forma geral, nem sempre uma água imprópria ao consumo humano é imprópria à produção de concreto, para as mesmas, devem ser realizados ensaios comparativos para se checar a viabilidade na utilização das mesmas. Águas próprias para consumo humano podem ser utilizadas diretamente na produção e amassamento do concreto. A água do mar é prejudicial ao concreto armado e/ou protendido pelo alto índice de cloretos.

- aditivos: aditivos incorporadores de ar aumentam a porosidade e reduzem a resistência mecânica do concreto. Aditivos aceleradores e retardadores de pega, via de regra, aumentam ou diminuem a velocidade das reações, e não devem interferir na resistência mecânica final do concreto. Aditivos minerais e a utilização de material pozolânico elevam as resistências finais do concreto, bem como a resistência à tração do mesmo.

- condições de cura: cura é o conjunto de procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo do controle do tempo, temperatura e umidade no concreto. De forma geral, a resistência final do concreto é tão maior quanto for feita a cura na mistura. A umidade também é fator determinante para a manutenção da água na mistura, e, portanto, uma cura úmida chega a ser três vezes mais eficaz que uma cura ao ar livre (recomenda-se se no mínimo, 7 dias de cura úmida no concreto). A temperatura interfere no grau de hidratação da mistura e pode reduzir a resistência final do concreto (um concreto curado em um clima tropical apresenta maior resistência inicial, porém uma resistência final menor que a obtida em um clima frio). A cura a vapor é utilizada na indústria de

pré-moldados para agilizar o processo de desforma e acaba por produzir itens menos resistentes.

- parâmetros do corpo de prova e condições do carregamento: o tamanho do corpo de prova interfere diretamente na resistência final alcançada (quanto maior o corpo de prova, menor é a resistência obtida), bem como as condições do ensaio, como foi colocada a carga no corpo de prova, qual foi o método de ensaio adotado, qual o grau de perícia do operador no ensaio etc.

Tração: de forma geral, o concreto apresenta uma resistência à tração entre 7% a 11% da resistência à compressão. As fissuras propagam-se transversalmente à direção da aplicação da carga, com uma ruptura mais frágil que requer menos energia para gerar e aumentar as fissuras na matriz. É observada em especial na retração por temperatura, secagem e em esforços de flexão (comum em pavimentos rodoviários). Os métodos de ensaio mais comumente utilizados para determinação de resistência à tração são:

- tração por compressão diametral: as cargas de compressão são colocadas ao longo de duas linhas opostas;
- tração por flexão: uma viga de concreto é flexionada a uma taxa constante até a ruptura;
- tração direta.

O concreto armado e o protendido foi a forma encontrada pela indústria e a construção civil de elevar a resistência do concreto a esforços de tração, uma vez que o aço apresenta grande resistência à tração.

Existe uma relação entre as duas resistências do concreto: à medida que a resistência à compressão do concreto aumenta, a resistência à tração aumenta, a uma velocidade decrescente.

Módulo de Elasticidade (NBR 8522/2003)

O concreto apresenta deformações elásticas e inelásticas, além de deformações de retração na secagem. Tais deformações freqüentemente levam à fissuração, uma resposta do material à carga externa e ao meio. O termo elasticidade é definido como a maior ou menor dificuldade de deformação de um dado material e está relacionado com dois conceitos, o de fluência (aumento gradual da deformação ao longo do tempo) e o de relaxação (diminuição gradual da deformação ao longo do tempo). O concreto não é um material verdadeiramente elástico e as deformações não ocorrem uniformemente em sua estrutura. (O que provoca a divisão do concreto em sistemas: estáveis e instáveis, a medida que a tensão é aplicada sobre o material).

Existem 2 tipos principais de módulos de deformação (unidade: GPa) que podem ser obtidos da curva tensão/deformação:

- tangente (dado pela declividade de uma reta tangente à curva em qualquer ponto da mesma),
- secante (dado pela declividade de uma reta traçada da origem a um ponto da curva correspondendo a 40% da tensão da carga de ruptura).

Fatores que afetam o módulo de deformação:

- agregado: interferem diretamente na porosidade do material, e esta determina sua rigidez e por sua vez controla a capacidade do agregado em restringir deformações. Em geral, quanto maior a quantidade de agregado graúdo com alto módulo de deformação, maior o módulo de deformação do concreto. A resistência do concreto não é afetada pela porosidade do concreto. Outras características dos agregados podem influenciar a microfissuração na zona de transição e afetar o módulo de deformação.

- Matriz da pasta de cimento: assim como no agregado, o módulo de deformação da matriz é afetado por sua porosidade. É controlada pela relação água/cimento, grau de adensamento, aditivos e hidratação do cimento.

- Zona de transição: espaços vazios, microfissuras e cristais de hidróxido de cálcio interferem na qualidade da zona de transição, que por sua vez altera sua porosidade, e torna a região uma das principais componentes do módulo de deformação do concreto.

O módulo de deformação também depende dos parâmetros e das condições de ensaio, da idade do concreto, da cura, dentre outros fatores.

Retração por secagem

Tensões geradas pela diferença de umidade relativa entre o concreto e o ambiente ao qual ele está exposto ocasionada pela remoção de água do sistema.

Fatores que afetam a retração por secagem:

- tempo: a difusão da água para a atmosfera depende do tempo e da umidade do ar, que também provoca uma alteração no grau de hidratação do cimento, o que pode gerar retração. (É um ponto particularmente importante em países tropicais, onde a cura úmida se faz extremamente necessária, a fim de que não ocorra perda de água de hidratação do cimento e resulte em fissuras e alterações nas dimensões da estrutura)
- dosagem dos materiais: o grau de hidratação do cimento, o consumo e perda de água por exsudação, a quantidade de cimento no traço do concreto bem como a capacidade de adensamento da mistura são fatores da retração por secagem. A utilização de aditivos que interfiram diretamente na porosidade do concreto também pode elevar ou reduzir a retração do material.
- espessura das peças: uma maior espessura aumenta o contato com a atmosfera, o que facilita a troca de água e materiais para o meio, aumentando as chances de retração por secagem. É aqui que é introduzido o conceito de espessura teórica, que é a relação entre a área da seção dividida pelo semiperímetro, que encontra-se em contato com a atmosfera.

Ensaio não destrutivo

Os ensaios com corpos de prova são importantes para se analisar o desempenho de uma estrutura de concreto, porém nem sempre são viáveis, especialmente no tocante a peritagem de obras e realização de laudos pós-construção, onde torna-se trabalhoso e dispendioso retirar material para análise em laboratório. Os ensaios não destrutivos são realizados diretamente no elemento estrutural.

Alguns tipos de ensaios não destrutivos são:

-Dureza superficial: utiliza um equipamento denominado esclerômetro Schmidt, que relaciona a dureza (resistência ao risco) de um material com a sua resistência à compressão. Deve-se seguir as seguintes orientações para o uso do esclerômetro:

- 1) Polir a superfície com pedra carbureto;
- 2) Marcar na superfície a ser analisada um reticulado de 20x20cm;
- 3) Dividir o reticulado em 18 partes para leitura;
- 4) Aplicar o aparelho na vertical em cada um dos pontos;
- 5) Eliminar os resultados que apresentam erro igual ou superior a 10%;
- 6) Observar o índice esclerométrico obtido com o do gráfico do equipamento.

Obs.: A precisão desde ensaio é baixa, e os erros podem chegar a 40%.

-Dinâmicos: são modernos e utilizam-se de ressonância e propagação de ondas a fim de obter a resistência mecânica do concreto. São ensaios realizados com equipamentos caros e pouco acessíveis, requerem o uso de mão-de-obra qualificada e são usados principalmente em demandas judiciais e em monitoramento de barragens.

-Atômicos: não avaliam a resistência à compressão do concreto, são mais utilizados para estudo das propriedades e da estrutura do concreto e do aço. É análogo ao exame de raios-X realizado em seres humanos. Pode-se utilizá-lo para análise de trincas internas, falhas em juntas de concretagem, mal posicionamento da armadura, má aderência, corrosão, ruptura de cabos de protensão etc. Estes tipos de ensaios são caros e apresentam riscos à saúde (radiação) e requerem mão-de-obra qualificada.

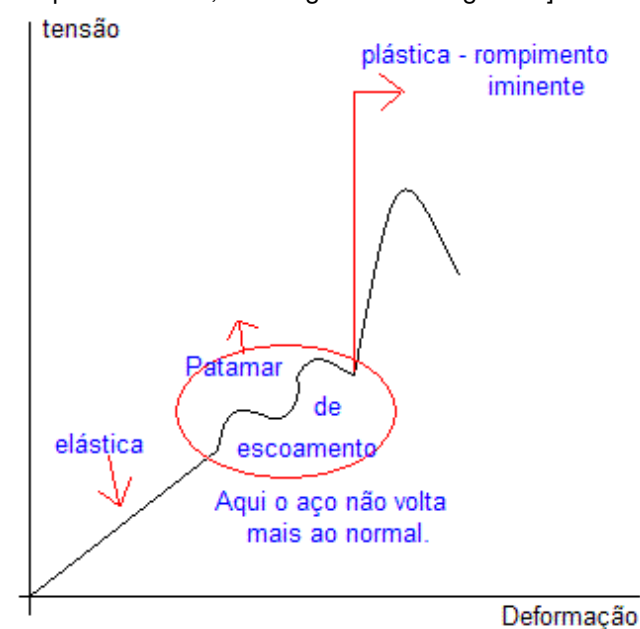
Aços para concreto armado e protendido (patenting)

O aço é um material diferente do ferro em sua composição química. O primeiro apresenta um teor de carbono que não ultrapassa os 2,4%, já o ferro, tem um teor de carbono sempre maior.

É fabricado em altos-fornos e são classificados de acordo com sua conformação mecânica:

- 1) Extrusão: Esfriados sob pressão por meio de refinação do lingote em orifícios.
- 2) Laminação: o metal aquecido é direcionado a cilindros giratórios com espaçamento cada vez menores e resfriado.
- 3) Trefilação (encruados): o aço é deformado a frio, em orifícios de moldagem, as fieiras.

Os aços laminados (tipo A), apresentam: nervuras, não sofrem tratamento após a laminação, são os mais antigos empregados, não perdem suas propriedades quando aquecidos, patamar de escoamento nítido e são bem dúcteis (até 15% de alongamento). CA25 e CA50 são as barras de aço encontradas no mercado [fyk (resistência característica de escoamento) = 250 e 500 MPa, respectivamente, ou 25kgf/mm² e 50kgf/mm²].



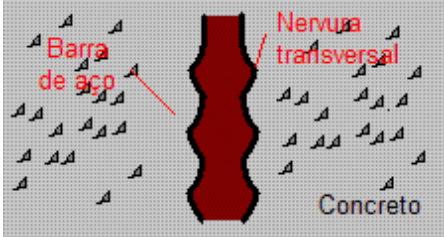
Os aços encruados (tipo B) apresentam uma resistência maior, no entanto, não apresentam patamar de escoamento, rompendo de forma frágil (diferentemente de rompimento dúctil), sendo mais inseguros que os aços laminados. CA60 é o fio de aço encontrado no mercado. (A resistência característica de escoamento, 600MPa, é obtida traçando-se uma paralela à curva a partir de 0,9% de deformação, o menor valor de até 0,5% é o patamar de escoamento)

A resistência característica de projeto, f_{yd} , é obtida utilizando-se um coeficiente de minoração de 15% para segurança da obra (de maneira semelhante ao concreto). Então $f_{yd} = f_{yk}/1,15$.

Alongamento é o percentual que o aço tem de se alongar, é medido com corpos de prova no qual o comprimento é dez vezes o seu diâmetro. $[A = 100(L_f - L_i)/L_i]$

Massa linear é a massa que uma determinada barra possui em 1m de comprimento, aceita-se 6% de variação neste valor.

As nervuras ou enalhes impedem o giro da barra e mantém a aderência aço-concreto atuando conjuntamente para controlar as cargas as quais é submetido.



Os aços devem seguir algumas exigências:

- Apresentar homogeneidade quanto às características geométricas;
- Apresentar configuração das saliências de modo a não permitir rotação da barra dentro do concreto nem concentrar tensões;
- Ser isento de defeitos prejudiciais de fabricação;
- Apresentar massa real igual a massa nominal;
- Ter comprimento normal de fabricação de 11m com tolerância de 9%;
- Apresentar marcas de laminação em relevo.

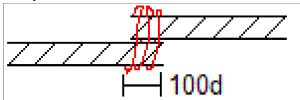
O aço deve ser transportado e armazenado de modo a não entrar em contato com a umidade nem agentes corrosivos e deve-se tomar cuidados em seu manejo e aplicação na obra, para evitar acidentes de trabalho sérios.

O dobramento do aço deve ser feito a 180° e não pode gerar ruptura nem fissuras de acordo com as características da barra e do aço. (São feitos ensaios em laboratórios, que variam de acordo com o tipo de aço a ser trabalhado).

Emendas

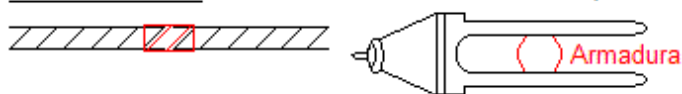
O uso de emendas nos aços para concreto armado se faz necessário pois as barras e os fios de aço não apresentam porte suficiente para cobrir inteiramente um elemento estrutural, então duas ou mais barras devem ser unidas para este fim, e tal união pode ser realizada, principalmente, das seguintes maneiras (NBR 6118):

- Por transpasse: é o tipo de emenda mais utilizado devido ao baixíssimo custo, seu uso é proibido para barras com diâmetro superior a 25mm (diminui o espaço para concretagem). Deve-se utilizar pelo menos 2 cordões longitudinais cada um deles com comprimento superior a 5 vezes o diâmetro.



- Por luvas rosqueadas: tem um custo mais elevado e deixam o local da rosca com menor resistência mecânica. Podem ser feitas de vários tipos:

Luvas hidráulicas: feitas com macacos hidráulicos (os macacos produzem as nervuras na luva para não haver descolamento da mesma)



Luva fixada por macacos hidráulicos:



Rosca criada na barra por ferramentas específicas:



Utilização de emendas com rosca:

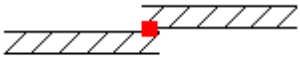


- Solda (eletrodo ou caldeamento): outro método bastante difundido de emenda, utilizado para diâmetros maiores que 20mm. O custo é relativamente baixo, a mão-de-obra é facilmente encontrada e permite a realização de emendas em locais de difícil acesso

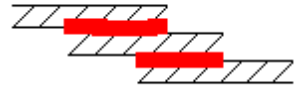
De topo com eletrodo:



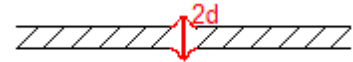
Com barra justaposta:



Com barras justapostas:



De topo por caldeamento:



A solda de topo por caldeamento pode ser utilizada com diâmetros superiores a 10mm, e é realizada a alta pressão e temperatura. A segurança desta emenda não é muito elevada, pois é facilmente interferida pelo desempenho do operador da solda, sem nenhum controle rigoroso dos resultados que se deseja obter.

Concreto protendido

É formado por fios e cordoalhas (conjunto de fios devidamente trançados) ativos no sistema estrutural, atuando carregados, com o objetivo de elevar a resistência mecânica da estrutura.

A protensão é obtida basicamente seguindo-se os passos abaixo:

- Pré-tração: o aço é esticado, é realizada a concretagem e o aço é liberado após a pega do concreto;
- Pós-tração: concretiza-se com bainhas, passam-se as cordoalhas e fixam-se na peça, a fim de que se realize esforços de compressão no concreto.

Exemplo de denominação de fios e cordoalhas :

Fio CP 150 RN 7

CP : Concreto protendido;

150 : Tensão nominal de ruptura em kgf/mm²;

RN: relaxação normal (ou baixa) - suporta ou não tensão, retornando ao estado normal lenta ou rapidamente;

7: diâmetro nominal em mm.

Cordoalha CP 180 RN n x 2,5

Todas as denominações iguais ao fio, n equivale ao número de fios da cordoalha.

Aditivos para concreto

Aditivos são substâncias químicas colocadas no concreto para um fim específico.

São bem antigos, utilizados desde o Império Romano (há documentos comprovando a utilização de clara de ovo como impermeabilizante, sangue como incorporador de ar, argila e açúcares como retardador de pega, sal como acelerador de pega etc).

Os avanços no segmento de aditivos vieram nos últimos 50 anos, com o advento dos CADs. O Brasil passou a usar aditivos de forma intensiva a partir da década de 1990.

A ABNT classifica os aditivos em 4 tipos principais:

- Plastificantes redutores de água;
- Retardadores (de pega);
- Aceleradores (de pega);
- Plastificantes retardadores (de pega);
- Plastificantes aceleradores (de pega);

Há ainda o conceito de superplastificantes, não descritos nas normas.

1) Incorporadores de ar:

Produzem micro-bolhas não unidas entre si, elevando a trabalhabilidade, aumentando a coesão e homogeneidade da mistura. Também melhoram a segregação e a impermeabilidade do concreto. Porém ocasionam uma perda de resistência mecânica.

Obs.: A utilização de material pozolânico em conjunto com estes aditivos inibe a incorporação de ar (ex.: CP II Z e CP IV)

2) Retardadores:

Aumentam o tempo de aplicação (aumentam o tempo para o início de pega).

Utilizados em elementos estruturais de seções pequenas, em temperaturas elevadas, pois retarda a elevação do calor de hidratação do cimento.

Eles apresentam desvantagens, tais como o aumento da retração e da exsudação do concreto.

3) Aceleradores:

Diminuem o tempo de pega. São pouco utilizados, uma vez que boa parte dos aceleradores contém cloretos em sua composição (NBR

6118 proíbe)

Reduzem um pouco a resistência mecânica em idades avançadas.

4) Plastificantes:

Diminuem no mínimo 6% da água de amassamento, melhorando a trabalhabilidade e aumentando o slump (consistência) do concreto. Pode-se utilizar menos cimento mantendo resistência mecânica e trabalhabilidade. A desvantagem é o retardamento da pega em dosagens excessivas e o risco de segregação.

5) Superplastificantes:

Utilizado em CADs (concretos de alto desempenho de uma forma geral, diferentes dos concretos de alta resistência, onde apenas a resistência mecânica é analisada), pois diminuem em 30% a água de amassamento.

São os mais recentes aditivos e estão em pesquisa para a produção de um concreto auto-adensável, muito fluído, onde são necessários finos para manter a coesão.

Os aditivos só podem ser utilizados para melhorar o concreto (nunca utilizar para correção das características), apresentam muitos efeitos colaterais (deve-se conhecer bem os materiais e ensaiar em laboratório antes de utilizar o concreto em canteiro de obra), sua aplicação só pode ser feita seguindo-se as orientações do fabricante e ele deve respeitar padrões de custo-benefício. Os efeitos que os aditivos provocam podem ser temporários ou permanentes, não alteram as demais propriedades do concreto, fazendo com que o mesmo resista às mesmas solicitações e ataques que o concreto resistiria sem nenhum aditivo.