

ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 1

Libânio M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo, Sandro P. Santos,

Thiago Catoia, Bruna Catoia

Março de 2010

1. INTRODUÇÃO

Este é o **capítulo inicial** de um curso cujos **objetivos** são:

- **fundamentos do concreto**;
- **bases para cálculo** de concreto armado;
- **rotina do projeto estrutural** para edifícios de pequeno porte.

É um trabalho dedicado a **alunos de graduação** e a **iniciantes** em Engenharia Estrutural. Os interessados em aprofundar conhecimentos deverão consultar bibliografia complementar adequada.

1.1 DEFINIÇÕES

Concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: **aglomerantes**, **agregados** e **água**. Também é frequente o emprego de **aditivos** e **adições**.

a) Aglomerantes

Os **aglomerantes** unem os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral se emprega **cimento Portland**, que por ser um aglomerante hidráulico, reage com a água e endurece com o tempo.

b) Aditivos

Os **aditivos** são produtos que, adicionados em pequena quantidade aos concretos de cimento Portland, modificam algumas propriedades, no sentido de melhorar esses concretos para determinadas condições.

Os principais tipos de aditivos são: plastificantes (P), retardadores de pega (R), aceleradores de pega (A), plastificantes retardadores (PR), plastificantes aceleradores (PA), incorporadores de ar (IAR), superplastificantes (SP), superplastificantes retardadores (SPR) e superplastificantes aceleradores (SPA).

c) Adições

As **adições** constituem materiais que, em dosagens adequadas, podem ser incorporados aos concretos ou inseridos nos cimentos ainda na fábrica, o que resulta na diversidade de cimentos comerciais.

Com a alteração da composição dos cimentos pela incorporação de adições, é comum eles passarem a ser denominados **aglomerantes**.

Os exemplos mais comuns de adições são: escória de alto forno, cinza volante, sílica ativa de ferro-silício e metacaulinita.

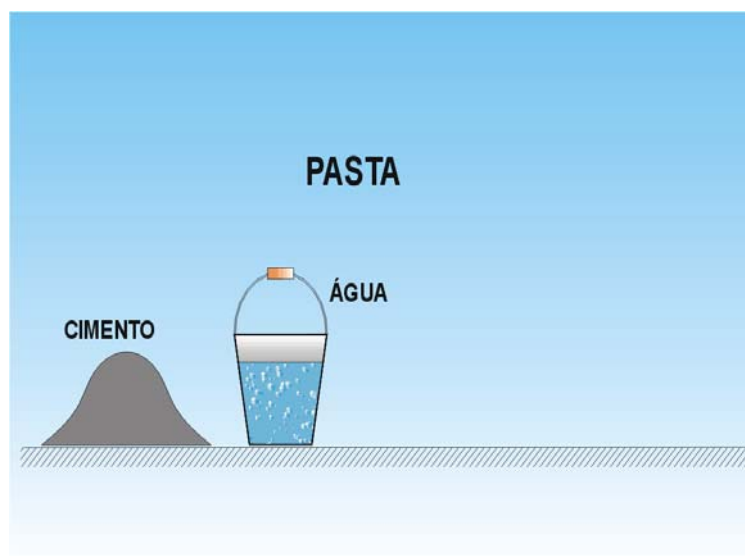
d) Agregados

Os **agregados** são **partículas minerais** que aumentam o volume da mistura, reduzindo seu custo, além de contribuir para a estabilidade volumétrica do produto final. Dependendo das dimensões características ϕ , dividem-se em dois grupos:

- Agregados **miúdos**: $0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$. Exemplo: areias.
- Agregados **graúdos**: $\phi \geq 4,8\text{mm}$. Exemplo: pedras.

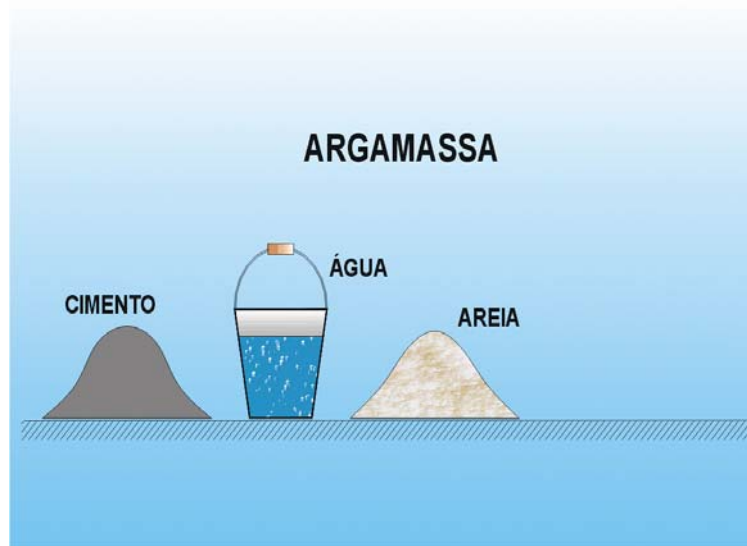
e) Pasta

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



f) Argamassa

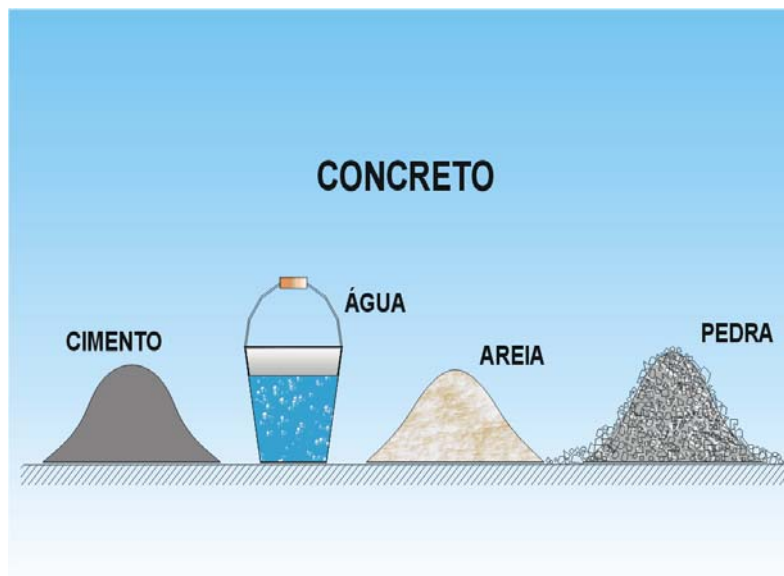
A **argamassa** provém da mistura de **cimento**, **água** e **agregado miúdo**, ou seja, **pasta com agregado miúdo**.



ARGAMASSA ↔ CIMENTO + ÁGUA + AREIA

g) Concreto simples

O **concreto simples** é formado por **cimento**, **água**, **agregado miúdo** e **agregado graúdo**, ou seja, **argamassa e agregado graúdo**.



CONCRETO SIMPLES ↔ CIMENTO + ÁGUA + AREIA + PEDRA

No estado endurecido, 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**.

h) Concreto armado

O **concreto armado** é a associação do concreto simples com uma **armadura**, usualmente constituída por **barras de aço**.

Os dois materiais devem resistir solidariamente aos esforços solicitantes. Essa **solidariedade** é garantida pela **aderência**.

CONCRETO ARMADO ↔ CONCRETO SIMPLES + ARMADURA + ADERÊNCIA

g) Concreto protendido

No **concreto armado**, a armadura não tem tensões iniciais. Por isso, é denominada **armadura frouxa** ou **armadura passiva**.

No **concreto protendido**, pelo menos uma parte da armadura tem tensões previamente aplicadas, denominada **armadura de protensão** ou **armadura ativa**.

CONCRETO PROTENDIDO ↔ CONCRETO + ARMADURA ATIVA

h) Argamassa armada

A **argamassa armada** é constituída por **agregado miúdo** e **pasta** de cimento, com armadura de **fios de aço de pequeno diâmetro**, formando uma **tela**.

No concreto, a armadura é localizada em regiões específicas, Na argamassa, ela é **distribuída** por toda a peça.

i) Concreto de alto desempenho

Um **concreto de alto desempenho** – **CAD** apresenta características diferenciadas do concreto tradicional, e deve ser entendido como um material que atende a expectativas para fins pré-determinados, relativos a comportamento estrutural, lançamento, adensamento, estética e durabilidade frente ao meio ambiente atual e futuro. Como exemplos podem ser citados: Concreto de Alta Resistência – CAR e Concreto Autoadensável – CAA.

1.2 VANTAGENS DO CONCRETO, RESTRIÇÕES E PROVIDÊNCIAS

Como material estrutural, o concreto apresenta várias vantagens em relação a outros materiais. Serão relacionadas também algumas de suas restrições e as providências que podem ser adotadas para contorná-las.

1.2.1 Vantagens do concreto armado

Suas grandes vantagens são:

- É **moldável**, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas.
- Apresenta boa **resistência** à maioria dos tipos de solicitação, desde que seja feito um cálculo correto e um adequado detalhamento das armaduras.
- A estrutura é **monolítica**, com trabalho conjunto, se uma peça é solicitada.
- Baixo custo dos **materiais** – água e agregados, grãos e miúdos.
- Baixo custo de **mão de obra**, pois, em geral, a produção de concreto convencional 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 as armaduras contra corrosão.
- Os gastos de **manutenção** são reduzidos, desde que a estrutura seja bem projetada e adequadamente construída.
- O concreto é **pouco permeável** à água, quando dosado corretamente e executado em boas condições de plasticidade, adensamento e cura.
- É um material com bom comportamento em situações de **incêndio**, desde que adequadamente projetado para essas situações.
- Possui resistência significativa a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos.

1.2.2 Restrições do concreto

Providências adequadas devem atenuar as consequências de algumas restrições do concreto. As principais restrições são:

- **Retração e fluência**,
- Baixa **resistência à tração**,
- **Pequena ductilidade**,
- **Fissuração**,
- **Peso próprio** elevado,
- Custo de **formas** para moldagem,
- **Corrosão** das armaduras.

1.2.3 Providências

Para suprir as deficiências do concreto, há várias alternativas.

Tanto a **retração** quanto a **fluência** dependem da **estrutura interna** do concreto. Portanto, para minimizar seus efeitos, adequada atenção deve ser dada a todas as fases de preparação, desde a escolha dos materiais e da dosagem até o adensamento e a cura do concreto colocado nas fôrmas.

A **fluência** depende também das **forças** que atuam na estrutura. Portanto, um programa adequado das **fases de carregamento**, tanto na fase de **projeto** quanto durante a **construção**, pode atenuar os efeitos da fluência.

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.

Em **peças comprimidas**, como nos pilares, os **estribos**, além de evitarem a flambagem localizada das barras, podem **confinar** o concreto, o que também aumenta sua **ductilidade**.

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 com pelo menos uma parte de **armadura ativa**, ou seja, com **tensões prévias**, 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**, diminuindo o peso próprio, sendo que também se obtém uma melhora do concreto com relação à fissuração.

O **concreto de alto desempenho – CAD** – 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 obras em que a **durabilidade** é condição indispensável. 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 padronização de dimensões, a **pré-moldagem** e o uso de sistemas construtivos adequados permitem a racionalização do uso de fôrmas, levando a economia neste quesito. Outro fator pode contribuir para maior reutilização de fôrmas é o uso de materiais alternativos, como o plástico.

A **argamassa armada** é adequada para **pré-moldados leves**, de pequena espessura.

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

1.3 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 são **imbatíveis**. Porém, suas aplicações são bem mais restritas.

Algumas aplicações do concreto são relacionadas a seguir.

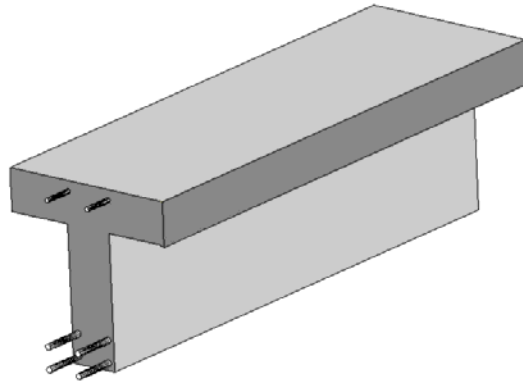
- **Edifícios:** mesmo que a estrutura principal não seja de concreto, alguns elementos, pelo menos, o serão;
- **Galpões e pisos industriais** ou para fins diversos;
- **Obras hidráulicas e de saneamento:** barragens, tubos, canais, reservatórios, estações de tratamento etc.;
- **Rodovias:** pavimentação 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.

1.4 ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS

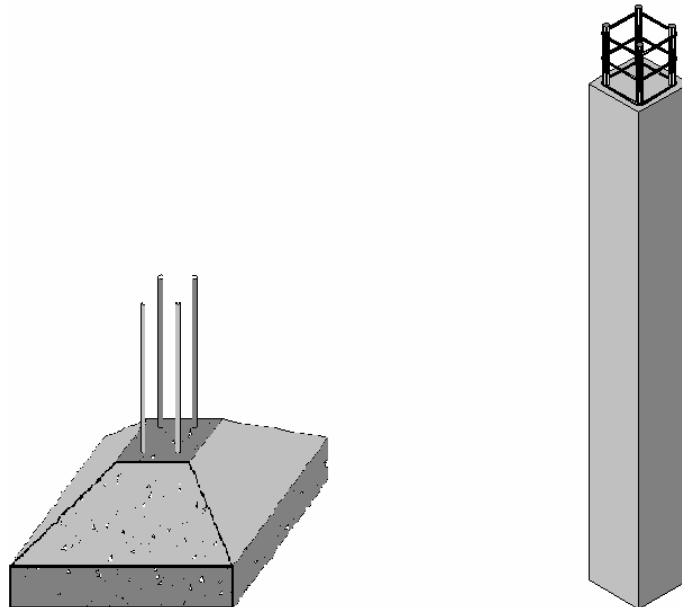
Estrutura é a **parte resistente** da construção e tem as funções de **suportar as ações** e as **transmitir para o solo**.

Em edifícios, os **elementos estruturais principais** são:

- **Lajes:** são **placas** que, além das **cargas permanentes**, recebem as **ações de uso** e as transmitem para os apoios; **travam os pilares** e distribuem as **ações horizontais** entre os elementos de contraventamento;
- **Vigas:** são **barras horizontais** que **delimitam as lajes**, suportam **paredes** e recebem **ações das lajes** ou **de outras vigas** e as transmitem para os apoios;



- **Pilares:** são **barras** em geral **verticais** que recebem as **ações das vigas** ou **das lajes** e **dos andares superiores** as transmitem para os elementos inferiores ou para a fundação;



- **Fundação:** são elementos como **blocos**, **lajes**, **sapatas**, **vigas**, **estacas** etc., que **transferem** os **esforços** para o **solo**.

Pilares alinhados ligados por vigas formam os **pórticos**, que devem resistir às **ações do vento** e às outras ações que atuam no edifício, sendo o mais utilizado sistema de **contraventamento**.

Em **edifícios esbeltos**, o travamento também pode ser feito por **pórticos treliçados**, **paredes estruturais** ou **núcleos**. Os **dois primeiros** situam-se, em geral, nas **extremidades**, e os **núcleos**, em volta da **escada** e dos **elevadores**.

Nos **andares** com **lajes e vigas**, a união desses elementos pode ser denominada **tabuleiro**, **andar**, **piso** ou **pavimento**. Os termos **piso** e **pavimento** devem ser **evitados**, quando puderem ser confundidos com **pavimentação**.

É crescente o emprego do concreto em **pisos industriais** e em **pavimentos de vias urbanas e rodoviárias**, principalmente nos casos de **tráfego intenso e pesado**.

Nos edifícios com **tabuleiros sem vigas**, as **lajes** se **apoiam diretamente nos pilares**, sendo denominadas **lajes lisas**.

Se nas ligações das lajes com os pilares houver **capitéis**, elas recebem o nome de **lajes-cogumelo**.

Os **capitéis** podem ser de dois tipos: aumento da espessura da laje, caso em que podem ser denominados **pastilhas** ou *drop panels*, ou aumento da seção transversal do pilar sob a laje, situação em que também podem ser chamados de **ábacos**.

Nas **lajes lisas**, há casos em que, nos **alinhamentos dos pilares**, uma determinada faixa é considerada como viga, sendo projetada como tal – são as denominadas **vigas chatas** ou **vigas-faixa**.

São muito comuns as **lajes nervuradas**. Se as **nervuras** e as **vigas** que as suportam têm a **mesma altura**, o uso de um forro de gesso, por exemplo, dão a elas a aparência de lajes lisas.

Nesses casos elas são denominadas **lajes lisas nervuradas**. Nessas lajes, também são comuns as **vigas-faixa** e os **capitéis embutidos**.

Nos edifícios, são considerados **elementos estruturais complementares**: **escadas, caixas d'água, muros de arrimo, consolos, marquises** etc.

1.5 EDIFÍCIOS DE PEQUENO PORTE

Como foi visto no início, este é o primeiro texto de uma série cujos objetivos são: apresentar os **fundamentos do concreto**, as **bases para cálculo** e a **rotina do projeto estrutural** para edifícios de pequeno porte.

Em **exemplos simples**, serão dimensionadas e detalhadas **lajes, vigas e pilares**. As fundações serão estudadas em uma fase posterior.

Serão considerados **edifícios de pequeno porte** aqueles com **estruturas regulares muito simples**, que apresentem:

- até quatro pavimentos;
- ausência de protensão;
- cargas de uso nunca superiores a 3kN/m^2 ;
- altura de pilares até 4m e vãos não excedendo 6m;
- vão máximo de lajes até 4m (menor vão) ou 2m, no caso de balanços.

O **efeito do vento** poderá ser **omitido**, desde que haja **contraventamento** em duas direções.

BIBLIOGRAFIA

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118:2003 - *Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211:1982 - *Agregados para concreto*. Rio de Janeiro.

IBRACON (2001). *Prática recomendada IBRACON para estruturas de pequeno porte*. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: Comitê Técnico CT-301 Concreto Estrutural. 39p.

PINHEIRO, L. M., GIONGO, J.S. (1986). *Concreto armado: propriedades dos materiais*. São Carlos, EESC-USP, Publicação 005 / 86. 79p.

PINHEIRO, L. M. (2010). *Notas de aula da disciplina Estruturas de Concreto Armado I*. São Carlos, EESC-USP.