

INSTITUTO DE ENGENHARIA - SÃO PAULO

- PALESTRA -

NOVAS TÉCNICAS PARA AS CONSTRUÇÕES  
DE CONCRETO, OBJETIVANDO A REDUÇÃO  
DE CUSTOS

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO

- CONSULTOR -

AGOSTO/1988

INSTITUTO DE ENGENHARIA - SÃO PAULO

- PALESTRA -

NOVAS TÉCNICAS PARA AS CONSTRUÇÕES  
DE CONCRETO, OBJETIVANDO A REDUÇÃO  
DE CUSTOS

ENGº FRANCISCO RODRIGUES ANDRIOLO

- CONSULTOR -

AGOSTO/1988

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, entre as Décadas de 60 e 80 teve um crescimento vertiginoso, na área da Construção Civil.

Um exemplo disso é o da Construção das Hidroelétricas.

O Brasil constroi Barragens desde o início do Século, mas foi a partir dos anos 60, com os grandes aproveitamentos hidroelétricos que essas obras foram intensificadas.

Com isso as Empresas - Estatais - de Projeto e - de Construção - foram obrigadas a reciclar conhecimentos, procurando absorver as técnicas mais modernas.

Como consequência, o País, começou a montar suas próprias equipes e laboratórios especializados, que desenvolveram tecnologias e técnicas apropriadas às nossas condições e as disseminaram entre os demais profissionais.

Esse processo até o momento, foi coroado com a construção da Barragem de Itaipu, onde não houve qualquer dependência tecnológica externa.

No que se refere à capacidade técnica o Brasil, está hoje, perfeitamente qualificado.

A seguir são apresentadas algumas técnicas e tecnologias que se desenvolveram, com intuito de reduzir prazos e/ou custos.

## 2.1 Material Pozolânico

É provável que os romanos adquiriram parte dos conhecimentos sobre argamassas, dos gregos, devido à grande semelhança de suas construções.

As, denominadas, argamassas romanas mantiveram a reputação através dos tempos modernos devido ao desempenho das suas construções até os dias atuais, tais como os aquedutos, o Coliseu, as Termas.

A melhor argamassa, elaborada pelos romanos, parece ter sido composta com cal misturada com uma rocha ou pó vulcânica, denominado pozolana, devido ter sido encontrada em Pozzuoli nas proximidades de Vesúvio (Vesúvius).

Embora a utilização da Pozolana anteceda ao aparecimento de Cristo, o emprego de material pozolânico com fins inibidores da reação álcalis-agregado foi objeto de atenção, pela primeira vez, como uma tentativa, na barragem de Big Dalton, construída antes de 1930, nos Estados Unidos. Nessa oportunidade usou-se a pumicita. Durante a construção da barragem de Bonneville, construída pelo Corps of Engineers, e completada em 1938, foi usado um cimento Portland Pozolânico. Esse cimento foi produzido pela moagem conjunta de clínquer com uma pozolana processada por calcinação (a 815°C) de um material vulcânico alterado.

No Brasil, o emprego de material pozolânico foi amplamente estudado pela CESP, durante a construção da Barragem de Jupiaá (Rio Paraná), na década de 60, com intuito de elemento inibidor da reação alcalis-silica. Posteriormente os estudos avançaram com intuito de aproveitamento econmico do material.

Nessa etapa, outras entidades e empresas também procuraram usar dessas vantagens. Assim é que a demanda do cimento Pozolânico, tem sido crescente como se ilustra no quadro abaixo:

Ano	Produção de Cimentos no Brasil		
	Total	Cimento Comum	Cimento Pozolânico
1971	9.802.639t	8.630.164t $\cong$ 88%	321.192t $\cong$ 3,3%
1980	27.192.803t	22.006.212t $\cong$ 80%	2.027.287t $\cong$ 7,5%

No ano de 1985 o percentual de cimento Pozolânico atingiu  $\cong$  19%.

## 2.2 Emendas

As barras laminadas normalmente são fornecidas em comprimentos ao redor de 11 m. Um comprimento maior das barras, estaria condicionado a um sistema de transporte para a obra, e dentro da obra, mais especializado, e indubitavelmente mais caro.

Observa-se que a utilização das emendas permite manter os esquemas normais de laminação e transporte e também possibilita o aproveitamento de pontas, reduzindo as perdas. O aproveitamento das pontas possibilita a união de pequenos seguimentos, sendo aproveitados para escoramentos de formas, suportes de armadura de menor importância. Pontas em comprimento adequado podem ser usadas, após emendadas e dentro das limitações adotadas, como armadura comum.

As emendas têm por finalidade dar continuidade na transmissão dos esforços nas armaduras, dando-se, desta forma, condições de considerar a estrutura como monolítica.

Há vários processos para emendas de barras de aço para concreto, e que estão a seguir.

#### 2.2.1 Emendas por Traspasse (Justaposição)

Com esse tipo de emenda os esforços nas barras são transmitidos pela aderência concreto-aço. Prevê-se, então, um determinado comprimento da barra de modo que a mesma fique ancorada no concreto.

#### 2.2.2 Emendas por Sobreposição, com Deposição de Eletrodos

Essa emenda é um dos vários tipos utilizados através da soldagem, depositando-se material de eletrodos.

Essa emenda é semelhante àquela feita por traspasse sendo somente que a transmissão dos esforços é feita pelo material depositado na soldagem, e não por aderência concreto-aço.

Dentre as emendas soldadas, essa é a menos indicada, pois quando a emenda é solicitada a excentricidade das barras pode causar um encurvamento. Esse tipo de emenda torna-se ainda mais inadequado quando se utilizam barras de grandes bitolas. No caso em que tais emendas são necessárias, para barras de grandes diâmetros, é conveniente colocar armadura transversal à barra, a fim de minimizar a possibilidade do cisalhamento.

#### 2.2.3 Emendas por Dupla Sobreposição ou Cobrejunta

Esse tipo de emenda também é feito por deposição de eletrodos.

Dentre as opções apresentadas a mais prática e mais econômica é a que utiliza tarugos de barras. Isto pois

pode-se aproveitar as pontas de barras, que seriam perdas, não havendo necessidade da introdução de um outro material, como o perfilado.

É prudente que sejam tomados cuidados especiais não só quando da emenda de barras encruadas mas também quando o aço é de categoria que possua teores mais elevados de carbono e manganês, como os da categoria CA-50-A, por exemplo.

Para tanto, poderão ser adotados os procedimentos recomendados pela AWS através das "Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel".

#### 2.2.4 Emendas por Soldagem de Pontos

É a conexão de barras sobrepostas, através de pequenos arcos de solda, chamados pontos de solda. Embora sejam feitas com os procedimentos normalmente recomendados, são muitas empregadas na produção de malhas soldadas.

#### 2.2.5 Emenda Topo a Topo através de Deposição de Metal de Eletrodos

É a conexão de barras topo a topo, por meio da deposição de metal de solda.

Com esse tipo de emenda os esforços são transferidos direta e concentricamente através da solda, constituindo uma emenda que é compacta e eficiente.

O detalhamento dos chanfros a serem empregados depende, principalmente, do diâmetro da barra. Para barras com diâmetro menor que 25 mm pode-se utilizar de bisel simples. Para barras com bitola maior que 25 mm utiliza-se o duplo bisel.

### 2.2.6 Emendas Topo a Topo por Fusão

Esse é o sistema chamado "Thermit Welding Process, Ther  
mex Metallurgical".

É um processo de emenda topo a topo no qual as extremi  
dades são soldadas por fusão. As barras são alinhadas  
por um sistema de presilhas colocadas entre elas. Na  
junção das barras coloca-se um molde refratário com ve  
dação, geralmente de asbesto. Através de cavidade são  
colocados pós exotérmicos, e através de ignição ini-  
cia-se uma fundição dos materiais colocados, dando-se  
origem a certa quantidade de aço fundido e, por conse-  
quinte, a realização da emenda.

Esse sistema é muito empregado na emenda de barras de  
grande diâmetro.

### 2.2.7 Emenda Topo a Topo com Luva

Nesse sistema a emenda é feita por meios mecânicos.

É utilizada nesse caso a rugosidade das barras a serem  
emendadas. Em termos básicos seria como a ação da ros-  
ca dos parafusos e porcas.

Para realização desse tipo de emenda várias opções e  
processos se apresentam, como se segue:

- Processo por preenchimento do espaço entre a luva e  
a barra com metal fundido (Cadweld-Erico).

Para a execução dessa emenda, as barras são coloca-  
das topo a topo dentro de uma luva. As extremidades  
da luva são vedadas com asbestos. Através de um reci-  
piente com cadinho refratário, funde-se uma mistura

que posteriormente preenche os vazios entre as nervuras das barras e da luva.

- Processo com luva prensada contra as nervuras das barras (CCL)

Nesse tipo de emenda um tubo-luva é comprimido diametralmente através de uma prensa hidráulica que o deforma contra as nervuras das barras a serem emendadas.

- Processo com luva rosqueada e prensada (CCL). Nesse processo a emenda é executada pela compressão de dois tubos-luva (um em cada barra a ser emendada) através de prensagem contra as nervuras das barras, sendo que apenas metade do tubo é prensada ficando a outra metade livre com rosca internamente.

Após a prensagem, as barras são unidas pela colocação de uma união rosqueada nas partes livres das luvas.

- Processo com luva rosqueada (Lenton). Para a execução desse tipo de emenda, faz-se o acerto das extremidades das barras, faz-se rosca cônica nas barras, através de equipamento adequado, e une-se as barras com a luva com rosca interna.

#### 2.2.8 Emendas Topo a Topo por Caldeamento

Nesse processo de emenda as barras são colocadas topo a topo em cabeçotes móveis de uma máquina. Através da passagem de corrente elétrica, aquece-se o material e por intermédio de uma alavanca move-se um dos cabeçotes dando origem ao boleto.

### 2.2.9 Emendas de Barras submetidas somente a Esforços de Compressão

As emendas para essas situações podem ser feitas por um dos processos descritos anteriormente ou por fixadores mecânicos tipo meias-canas.

### 2.3 Pré-Moldados

O concreto pré-moldado é, atualmente, o resultado da associação das evoluções apresentadas pelos arquitetos, engenheiros, fornecedores e construtores. E a otimização da mão-de-obra, da inovação dos equipamentos, da reutilização das peças e formas. É, enfim, uma atividade industrial.

Por ser uma atividade industrial, a técnica de construção de pré-moldados envolve uma série de providências a respeito da organização do local de produção (pátio) das peças pré-moldadas, bem como as previsões e detalhamento das peças, aos estudos de tempos e minimização das operações.

Da mesma maneira que para o lançamento do concreto convencional, a fabricação de pré-moldados deve obedecer a uma sequência de operações.

As bases para fabricação devem ser preparadas adequadamente.

Ao se idealizar a base da peça pré-moldada deve-se prever também as deformações que o pré-moldado pode apresentar ao ser feito o saque (operação de retirada da peça da sua forma), pois não se levando em conta esse fenômeno, podem ocorrer regiões com atrito entre faces da peça e da base. As partes que durante a desforma,sa

que, transporte ou colocação, possam sofrer danos, devem ser revestidas com chapas ou perfis metálicos.

Com o intuito de facilitar a desforma as bases não de vem ter faces paralelas à direção do saque.

O projeto das bases deve ser adequadamente detalhado, contendo todos os elementos embutidos que auxiliem na fixação e fabricação dos pré-moldados. As ancoragens dos esticadores e articulações, aranhas e porcas devem ser posicionadas de forma a serem de fácil acesso. Ao se fundir as bases devem ser posicionadas cantoneiras de alinhamento, batentes ou pontos de apoio para as formas.

#### 2.4 Concreto com Agregado Pré-Colocado

A confecção de concretos com agregados pré-colocados consiste em se colocar, por injeção, argamassa nos vazios de uma massa de agregado graúdo, limpo e com certa granulometria formando um corpo único, resistente e durável. A argamassa fluída é quase sempre bombeada a par tir da cota inferior da massa de agregados.

O concreto com agregado pré-colocado tem sido aplicado em grande escala onde o lançamento do concreto, de maneira convencional, é difícil. Entretanto, é mais frequentemente utilizado na construção de estruturas submersas.

#### 2.5 Concretos Expansivos

Durante a fase de planejamento construtivo de uma obra, entre os problemas que devem ser resolvidos encontram-se os relativos à concretagem de diversos locais com os chamados concretos secundários. Em geral, em virtude de sedimentação, exsudação e às vezes retração volumétrica, ocorrem vazios, no contato, que devem ser devidamente preenchidos para garantir o monolitismo das estru

turas ou a estanqueidade e a durabilidade daquela parte da obra.

Entre esses locais encontram-se tampões de túneis de desvio, adufas ou galerias de desvio, concretos envoltórios de caixa espiral e blindagens em geral.

Nesses casos torna-se necessário prever, durante o detalhamento dos projetos, dispositivos constituídos basicamente por tubulações e peças de aço que, convenientemente posicionadas permitam injeção posterior de argamassas e caldas de cimento. Quando não se prevê a ocorrência desses vazios ou restam dúvidas sobre a eficácia da ligação entre concretos primário e secundário ou concreto e elementos embutidos faz-se necessária a execução de perfurações, a partir das galerias, ou outros pontos adequados, que facilitam o acesso da injeção ao local duvidoso. Ambas as soluções implicam custos às vezes elevados que podem ser evitados.

Vêm de longa data as tentativas para o desenvolvimento de concretos que, de alguma forma, conseguissem minimizadas sua exsudação e retração. A retração por secagem variáveis, na quase totalidade das obras e entre as consequências por ela provocada está a fissuração do material. A sedimentação e a exsudação muitas vezes elevadas decorrem principalmente da necessidade de se lançar, em determinados locais, concretos de maior plasticidade.

Procedimentos utilizados para minorar o problema têm consistido na criteriosa escolha e proporcionamento dos materiais além da utilização de métodos construtivos adequados. Entre as várias medidas que se tomam, sobressaem as que dizem respeito à relação água-cimento, tipo de cimento utilizado, quantidade de cimento no concreto, tempo de cura, natureza e granulometria dos

agregados.

A busca de respostas para esse problema levou os pesquisadores, entre outras soluções, aos concretos expansivos.

A intenção fundamental na utilização deste último é a de eliminar os problemas ocasionados pela contração mediante uma expansão controlada.

## 2.6 Concreto Fibroso

São muito frequentes problemas devidos à cavitação e abrasão em estruturas hidráulicas submetidas ao fluxo de água em altas velocidades. Se um escoamento rápido e alterado localmente por alguma irregularidade do contorno, o aceleração localizado do fluxo é acompanhado por uma redução de pressão que pode atingir a tensão do vapor e provocar a formação de bolhas de água vaporizada. Arrastadas pelo escoamento para regiões de maior pressão, imediatamente a jusante, as bolhas são destruídas. O súbito colapso das cavidades é acompanhado de intensa elevação de pressão constituindo verdadeiros choques que se sucedem ininterruptamente. Quando o fenômeno se verifica nas proximidades do contorno sólido a energia do impacto pode provocar a erosão do revestimento.

No caso de paredes ou pisos de concreto, a ação destrutiva se faz sentir principalmente sobre o constituinte menos resistente, isto é, o ligante. A erosão em torno das partículas de agregado aumenta a rugosidade da parede e as condições para cavitação podem se tornar mais críticas. As partículas acabam por se soltar e o fenômeno erosivo tem a tendência de progredir para jusante. Encontrando situações favoráveis pode atingir proporções muito importantes e causar a destruição completa do re

vestimento.

O combate à cavitação tem sido baseado em geral em dois princípios básicos: aumentar a resistência da superfície atacada ou reduzir as irregularidades do contorno. No primeiro caso, a blindagem metálica é a solução construtiva ideal. Naturalmente, a sua extensão torna-se rapidamente um problema econômico importante. Quanto regularização da superfície, faz-se referência a normas, frequentemente especificadas em projetos, de restringir as variações de altura das irregularidades a declividades variáveis em função da velocidade. Por exemplo, as variações de inclinação ao longo das superfícies devem ser inferiores a 20:1, 50:1 e 100:1 para velocidades, respectivamente de 12 m/s a 28 m/s, 20 m/s a 37 m/s e maiores que 37 m/s.

Uma das medidas para minimizar os efeitos de abrasão e cavitação, além de otimizar a geometria da superfície, é aumentar a resistência da superfície. Uma das possibilidades é o uso de concreto fibroso. Outros tipos de concreto serão vistos mais adiante.

## 2.7 Concreto com Acabamento por Processo a Vácuo

O concreto processado a vácuo é resultante da aplicação de vácuo nas superfícies do concreto fresco, enformado ou não. O processo permite extrair parte da água (de trabalhabilidade) até algumas dezenas de milímetros de profundidade do concreto dando um efeito de adensamento. Isto é devido à densificação da pasta pela retirada da água e do ar da massa de concreto. Esta densificação e redução da relação água/cimento acarretam sensíveis aumentos na resistência à compressão. A durabilidade e a resistência à abrasão e erosão são aumentadas. O concreto processado a vácuo, possibilita também uma solidificação rápida, da região próxima à superfície, per

mitindo a rápida desforma.

## 2.8 Concreto Curado a Vapor

Concreto curado a vapor é um concreto submetido à cura em vapor de água a pressão determinada e temperatura geralmente estabelecida entre 40°C e 200°C, aproximadamente.

O principal objetivo da cura a vapor é o de acelerar o desenvolvimento da resistência de tal maneira que as formas possam ser retiradas e reusadas em curtos intervalos e as peças moldadas possam ser usadas ou estocadas em baixas idades.

A técnica da cura a vapor é bastante usada na fabricação de peças pré-moldadas com intuito de possibilitar a redução da área de moldagem e estocagem, além de possibilitar a reutilização de formas e berços de moldagem. Muitas centrais de pré-moldados trabalham 24 horas por dia, com peças pré-moldadas com resistências especificadas para saque, manuseio e uso, entre 15,0 MPa e 28,0 MPa. Esses valores são, normalmente, atingidos com ciclos entre 12 horas e 18 horas com cura a pressão atmosférica.

A cura a vapor pode ser feita basicamente por dois processos:

- alta pressão;
- baixa pressão.

## 2.9 Refrigeração do Concreto

A refrigeração do concreto é frequentemente usada para

procurar minimizar os efeitos maléficos causados pelos climas quentes e/ou geração excessiva de calor.

Para uma compreensão global deve-se entender clima quente como sendo uma combinação de: elevada temperatura do ar, baixa umidade relativa e ventos em velocidades tais que prejudiquem o concreto. Essas condições podem ocorrer em qualquer época do ano em regiões de clima tropical, ou clima árido, e geralmente ocorrem durante a época de verão em outros climas.

Os climas quentes podem introduzir problemas durante a produção, transporte, colocação e cura dos concretos, de tal forma que afetem as propriedades do concreto. Os efeitos de concretagem em climas quentes podem incluir:

- aumento de teor de água, para uma determinada trabalhabilidade;
- dificuldades no controle de ar incorporado;
- evaporação rápida da água de mistura;
- rápida perda de trabalhabilidade;
- aceleração da pega;
- dificuldades para o manuseio, acabamento e cura;
- aumento da retração plástica;
- aumento da tendência ao fissuramento;
- redução da resistência;
- variação no aspecto superficial do concreto;

- redução da aderência concreto-aço;
- possibilidade de ocorrência de junta-fria;
- aumento de permeabilidade;
- aumento de risco de corrosão da armadura devido à possibilidade de trincas.

Com o objetivo de combater ou minimizar os problemas acima citados podem ser tomadas certas precauções tais como:

- utilização de aditivos retardadores e plastificantes;
- utilização de cimentos com pega retardada;
- utilização de pré-resfriamento do concreto.

A fissuração da estrutura de concreto é indesejável na medida em que ela afeta a estanqueidade, durabilidade, aspecto e a distribuição interna dos esforços da estrutura.

A fissuração no concreto-massa normalmente ocorre quando as tensões de tração desenvolvidas superam a resistência à tração do concreto. Essas tensões de tração podem ocorrer também em decorrência do carregamento imposto à estrutura, mas geralmente ocorrem devido à restrição à variação volumétrica. As maiores variações volumétricas no concreto-massa são resultantes da variação de temperatura.

Antes de atingir determinada temperatura de equilí-  
brio, o desenvolvimento da temperatura do concreto es  
tá associado a vários fatores, tais como temperatura e  
velocidade de lançamento; as condições de exposição du

rante o lançamento, teor e tipo de aglomerante, material pozolânico e aditivos, e dos processos de controle da evolução das temperaturas.

A elevação da temperatura de um concreto será tanto maior quanto menos favoráveis as condições para dissipação da energia térmica.

Em obras de menor volume, como pontes, viadutos e edifícios, esse problema passa despercebido, pois os seus membros constituintes (vigas, pilares e lajes) envolvidos pelo ambiente apresentam grande facilidade de dissipação dessa energia, e o calor gerado flui imediatamente para o ambiente não ocasionando elevações acentuadas de temperatura e nem efeitos paralelos.

Em estruturas do tipo das barragens de gravidade, devido às grandes massas envolvidas e das grandes dimensões dos blocos são consideráveis as quantidades de calor geradas.

Nessas estruturas o calor não pode fluir livremente para o ambiente em direção horizontal, com exceção das regiões limites (paramentos). O fluxo de calor é então predominantemente vertical e em consequência a temperatura atinge valores elevados nas regiões centrais do maciço com excessivas quedas até a estabilização.

No processo de construção incremental de uma barragem, lançando-se uma camada de concreto, a temperatura de cada um de seus pontos eleva-se diferentemente dependendo do tipo de concreto, das condições do lançamento e da geometria da estrutura. Estas elevações são ainda afetadas pelos lançamentos das camadas sucessivas que além de alterar o fluxo do calor de camadas subjacentes para o ambiente, ainda fornecem a estas

parte de seu próprio calor gerado.

Como as características físicas do concreto evoluem à medida que se processa a reação, simultaneamente desenvolvem-se tensões decorrentes das evoluções das temperaturas.

#### 2.10 Concreto Adensado com Rolo Vibratório

A construção de obras de grande porte, principalmente hidrelétricas, tem levado os tecnologistas à pesquisa de materiais e processos de construção que permitam o lançamento de grandes volumes de concreto em curtos espaços de tempo.

São, porém, notórias as limitações de volumes e velocidades de aplicação de grandes massas de concreto, em função, principalmente, dos problemas decorrentes das reações exotérmicas de hidratação do cimento.

A fim de minimizar ou contornar os efeitos desse fenômeno foram feitas pesquisas para desenvolvimento de materiais tais como cimentos de baixo calor de hidratação, uso de agregados de grande bitola, com intuito de diminuir o consumo de cimento, uso de material po<sub>z</sub>olânico, bem como técnicas de pré e pós-resfriamento do concreto. Recentemente foi dada grande atenção às pesquisas e algumas aplicações de uma nova técnica de proporcionamento de misturas, de tal forma a adaptar o processo executivo de construção de barragens de enrocamento e terra à construção de obras de caráter massivo de concreto.

A este conjunto (proporcionamento e lançamento) chamou-se de "Concreto Adensado com Rolo Vibratório", ou simplesmente concreto rolado, do inglês Roller Compac

ted Concrete - "Rollcrete".

Esta técnica, onde é usada uma mistura sem trabalhabilidade com aspecto arenoso, permite, com o uso de equipamentos de construção de enrocamentos, um lançamento contínuo e pode possibilitar economia de tempo e custo, na construção de barragens de concreto, do tipo gravidade, e ainda, em pavimentos.

*Handwritten signature*  
19-88